MEMORIAS

DIVERSIFICACIÓN 2013

Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados

STAATSOLIE
Staatsolie Maatschappij Suriname NV
COI COMPANHIA DE OBRAS E INFRA-ESTRUCTURA
Elof Hansson
LABIOFAM Grupo Empresarial
Ugaõ COOPERACION EN CUBA
SUCROMER, s.a. de c.v.
INGENIERIA QUE PRODUCE RESULTADOS
GRUPO UKER
BAYER
syngenta
Bioenergíacaribe s.a.
CALDERAS Y EQUIPOS TERMOENERGETICOS
farmaVenda S.A

NOTA
DE LA CASA EDITORIAL:

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

ISBN: 978-959-7165-39-2

La Habana, octubre de 2013

Editorial ICIDCA

Conferencias

Diver 2013

"Sugar industry diversification crucial – but why often so slow?"

Havana, Cuba

14-16 October 2013

Dr. Peter Baron, Executive Director, International Sugar Organization

Estimados amigos, damas y caballeros,

Es un gran honor para mí ser invitado nuevamente a exponer en una de las famosas conferencias cubanas de Diversificación. Estoy orgulloso de haber estado participando en todas ellas y las considero como eventos de extrema importancia para esta región y más allá.

Mi viejo amigo, Luis Galvez Taupier, apareció recientemente en la prensa, resaltando la importancia de la diversificación para la economía mundial del Azúcar. Él está absolutamente en lo correcto y yo comparto esa opinión completamente.

Slide 1: Sugar Crop Diversification Possibilities

The need for considerably more sugar over the coming decade to satisfy growing global demand, together with the need for a low carbon economy, creates new strategic drivers for the world sugar economy in the longer term. In particular the world's need for more renewable energy, including from sugar crop feedstocks, creates strong diversification options for sugar industry diversification.

Besides ethanol and electricity production, the recovery of many other value-added products can contribute significantly to an economically and sustainable sugar cane agro-industry.

Although the technologies are available to produce literally hundreds of products from sugar cane and its co-products, key factors such as market access, returns on investments, volumes of production, availability of alternative resources and specific local conditions will dictate the pace of investments and the development of new products.

Slide 2: Brazil: the diversification template

Brazil's sugar industry – accounting for over 50% of world sugar exports - boasts extensive diversification into fuel ethanol, cogeneration and more recently into

biochemicals and bioplastics. Therefore, the Brazilian model is increasingly seen as the future face of the global sugar industry.

Many sugar cane producing countries can become cost-competitive ethanol producers, due to the lower cost of cane compared to other ethanol feedstocks *and* the fact that two-thirds of ethanol production cost is for the feedstock alone. Sugarcane is widely recognized as the best alternative among first-generation biofuel feedstocks, because of its high productivity, high yield per hectare, potential for expansion, a very positive energy balance, the large potential for producing surplus electricity and the reduction of GHG emissions.

Slide 3: There is sometimes a……

The challenge is now for other cane-producing countries to tap Brazil's wealth of experience and replicate, expand or adapt similar systems.

Even so, whilst the Brazilian model proves that a broader product portfolio can improve profitability and competitiveness, there is sometimes a surprisingly slow rate of diversification in other countries.
Why is that so, and what are the reasons?

Slide 4: Reason 1

The first is that technical-economic justification for sugar industry diversification is not always straightforward.

Sugar industries around the globe embrace a wide range of production systems over a large spectrum of agro-climatic and socio-economic conditions as well as ownership structures.

Slide 5: Diversity in Sugar Markets

Sugar is sold into growing domestic markets. Some countries also enjoy sales into high-priced regional markets. There are also important export markets, including sales to the EU and the United States, which offer under preferential trading arrangements higher prices than the world market.

For some countries there's also a multiplicity of over lapping trade agreements which impact sugar producers presenting significant challenges and opportunities for the future.

This diversity means the technical-economic justification for diversification is not always straightforward.

Slide 6: Reason 1 cont'd

The economics of ethanol production is heterogeneous and location-specific: feedstock availability and cost are the most important drivers.

These factors in turn hinge on land availability and quality, agricultural productivity, labour costs and so on. Operating costs depend on plant location, size and technology. Investment in storage infrastructure may also be needed.

Another key determinant of viability is ethanol's competitiveness with rival fuels. This is a function of the cost, demand and availability of these other fuels, which fluctuate around global petroleum prices, foreign exchange rates and domestic refining capacity.

An overriding consideration for fuel ethanol is opportunity cost – the value of the sugar foregone. For countries that are net exporters of sugar to regional and preferential markets, in some cases the opportunity cost of producing ethanol would be higher than for sugar production, meaning it would be unlikely that those industries would divert sucrose to ethanol.

Therefore, ethanol production will be largely limited in the near term to production from molasses for local fuel consumption and some regional export markets.

Slide 7: Reason 2

Secondly, the most contentious issue is the absence of enabling policies and regulatory frameworks that need to be provided by government.

Let's look at diversification option number one: fuel ethanol

Slide 8: Global Fuel Ethanol Production

As we all know the United States from corn and Brazil from sugar cane, are the globe's dominant fuel ethanol producers by far, together accounting for 80% of world output. But most dynamic markets are today in smaller producers.

Slide 9: Fuel Ethanol in Latin and Central America

Over the last years a host of governments around the globe have adopted policies to assist the production and use of biofuels and embarked on fuel ethanol programmes.

Global production of fuel ethanol in 2012 was 82.6 bln litres - all intended to support domestic consumption of fuel ethanol under government biofuel programmes. Our production forecast for 2020 is 167 bln litres.

- Region's fuel ethanol production in 2012 reached 21.8 bln litres – 26% of global output.
- Brazil accounts for 95% of regional output.
- Other key producers are Argentina, Colombia, and Guatemala.
- Smaller industries and use in Costa Rica, Dominican Republic, Ecuador, Peru, Paraguay and Uruguay.

In short, fuel ethanol is considered as a serious option since years ago. However, the highly volatile nature of the sugar market has meant that a large number of

these schemes have seen many ups and downs. Nevertheless in several Latin and Central American countries they have formed an integral part of the energy mix.

National circumstances vary widely around the globe, but in every case biofuel production has required government assistance. A key conclusion is that to a significant extent, growth will only take place when supportive government policies are in place.

Slide 10: Gasoline Consumption in Selected Countries in Asia to 2020

Looking ahead, Asia stands out as the region of great potential growth in fuel ethanol consumption – at 20.6 bln litres in 2020. This is on the back of strong growth in gasoline demand projected for the region *(slide 10)*. China, India and Indonesia have large and strongly growing gasoline consumption in particular which underpins the considerable ethanol consumption projected in 2020.

Slide 11: Asia

Ethanol would be increasingly blended in these three countries on a discretionary basis, based upon ethanol's value as an octane enhancer in fuel blends. Apart from the mature economies of Japan and South Korea, other countries in Asia show low levels of car ownership. With economic growth over time, road fuel consumption will rise strongly. Whilst many governments in Asia have already mandated biofuel inclusion or have expressed aspirations to do so, there may also be discretional blending of ethanol as an octane enhancer in these expanding gasoline markets.

Slide 12: Biofuels Policy Instruments

Higher production costs of biofuels compared to petroleum fuels means that growth in production and consumption requires continuous policy pressure. There are a variety of policy approaches for both the demand creation and the supply side.
Demand creation instruments include:

- Mandates/Targets;
- Fuel tax incentives;
- Vehicle taxes, purchase incentives; and
- Vehicle technology standards.

Supply side and investment incentives typically include:

- Direct subsidies; tax credits to manufacturers and distributors; and
- Tariff/Quota protection.

Often, stronger policy incentives would be needed for national and regional markets to move towards a scale that is economically sustainable.

Slide 13: Case Study – Southern Africa

The crucial importance of supportive government policy can be illustrated by turning to *Southern Africa*. Here, the SADC region has a similar market and agricultural potential for sugarcane-based ethanol as Brazil and is one of few regions in the world that can implement large-scale fuel ethanol production from sugarcane as part of the transport sector's fuel mix.

As South Africa represents about 70% of the SADC transport fuel market, the establishment of a fuel ethanol market by South Africa is key to unlocking the potential.

Slide 14: Case Study-South Africa

In 1998 a "White Paper on Energy" was released by the National Biofuels Strategy (NSB). In December 2007 the government recognised that support is essential to establish a biofuels industry in South Africa, and that a biofuels industry, particularly as an infant industry, is at the mercy of volatile crude oil prices, crop prices and exchange rates. The strategy also identified sugar cane as feedstocks for the production of bioet

Then for unknown reasons, the NBS excluded feedstocks produced by commercial farmers, or by existing sugarcane farmers, from participating in the biofuels industry.

The South African Sugar Association pointed out that participation of the existing sugar value chain would assist in quick start-up of a local ethanol industry and create an alternative market to the world market for sugar.

Furthermore the NBS did not propose any of the traditional support measures employed in other ethanol-producing countries to establish their domestic ethanol industries. No provision was made for mandatory offtake by fuel companies. It was not until late 2012 that the government agreed to mandate minimum inclusion of 2% bio-ethanol in gasoline. After the release of the first "White Paper on Energy Policy" it took 14 years to come to this minimalistic solution! Note however that whilst the announcement of mandatory blends was made late in 2012, the pricing framework has still not been published by government.

A lesson we have to learn is that major expansion in fuel ethanol requires very large capital expenditure, longtime scales and planning certainty, a pricing mechanism and mandatory blending.

The experience of several countries in implementing fuel ethanol programmes also reveal policy constraints which can impact the success of any diversification effort.

Slide 15: Policy "glitches" in fuel ethanol: Thailand

In Thailand fuel ethanol consumption remains far below the government's medium-term goals in part because there is no mandate for inclusion. The government has tried to encourage consumption through relative pricing incentives at the pump. Because consumption never lived up to expectations, much of the local capacity is lying idle. Producers are therefore increasingly turning to export markets for fuel ethanol. Only this year we are finally seeing a boost in ethanol consumption with the government having ended sales of regular gasoline and to replace it with E-10.

Slide 16: Policy "glitches" in fuel ethanol: India

In India fuel ethanol production has long remained well below the required level for a national-wide E5 blending programme. Sugar millers use molasses to produce fuel

ethanol. Whilst the value of molasses can change significantly according to supply and demand fundamentals, the government has until only recently declared a fixed price for fuel ethanol that Oil Marketing Companies must pay. The government's target of a 5-percent blend of ethanol in gasoline has therefore only been partially successful in years of surplus sugar production and below target when sugar production has declined. This year, on the basis of the government's new ethanol policy, it is mandatory for oil marketing companies (OMCs) to blend 5% ethanol nation-wide since June 2013. At the same time, the Committee scrapped the long-standing regulated procurement price for ethanol of INR27 per litre ex-distillery - which in most years was insufficient to cover the cost of production. Instead, the price will be determined by the market. Even so, state oil firms and sugar millers are still having difficulties in agreeing a price and bids from overseas suppliers were much higher than expected;

Slide 17: Policy "glitches" in fuel ethanol: Philippines

Despite a blending mandate the local sugar industry in the Philippines has been reluctant to diversify because of inadequate incentives for investment. The bulk of the mandate is met from imports although the government is currently drafting new legislation under which preference will be given to local distillers over foreign suppliers.

There have also been significant apparent glitches in implementing an ethanol programme in *Vietnam.* Furthermore, the sugar industry here faces strong competition from cassava as an ethanol feedstock. In 2007, the government approved a biofuel plan which triggered considerable investment in the sector. However local fuel ethanol consumption failed to gain traction and producers increasingly turned to the international market.

Motorists have been reluctant to switch to E-5 which will become mandatory throughout the country by 2015.

Meanwhile, gasoline blended with 10% bio-ethanol (E10 petrol) will go on sale across the country from December 1, 2017.

According to PetroVietnam when E5 petrol is brought into mandatory use bio-petrol producers will have a better chance of good sales in the local market. At present, they mainly export ethanol given poor consumption at home.

Before leaving ethanol, a word on food security and sustainability.

Slide 18: Global Fuel Ethanol Production (Food Security)

These food security concerns were reignited last year in the United States where 35-40% of the nation's corn crop is used to produce fuel ethanol to meet the mandated fuel ethanol requirement under the Renewable Fuels Standard. Starting in July there were calls for the government to relax the biofuels mandate. Jose Graziano da Silva, Director General of the FAO, called for a suspension of U.S. government-mandated

ethanol production to allow more of the crop to be used for food and livestock feed. 25 U.S. senators and 156 members of the House of Representatives called on the Environmental Protection Agency to halt or lower the RFS mandate on how much ethanol the country must use in 2012 and in 2013.

Whilst the food vs fuel debate has not really tainted the credentials of sugarcane based ethanol there remains of course a need to ensure this remains the case in the future. Agro-ecological zoning, an innovative approach to promote both food and fuel productions in synergy with the environment, could be used to develop bioenergy programmes in developing countries. Key lessons from countries where agro-ecological zoning has been successfully applied, such as Brazil, could be adapted to suit other countries.

In addition, bioenergy trade is increasingly impacted by sustainability criteria, established almost exclusively by organizations based in developed countries – the EU being the obvious case-in-point. In this respect, a strategy based only on exports could be risky for biofuels producers in some least developed countries. It seems more prudent to start the production of ethanol in small to mid-scale, taking advantage of existing experience and establishing domestic markets for blending ethanol with gasoline; the benefits of such a strategy are especially clear in countries with high oil import dependency.

Slide 19: Diversification Option Number 2

Diversification option number two: Cane bagasse cogeneration

Although not new – in Mauritius it has existed for many decades – the world sugar industry has clearly begun to embrace cogeneration as an effective and profitable option of diversification as you can see on the slide.

Slide 20: Cogeneration: Economic Drivers

We know that there are many benefits associated with cane bagasse cogeneration:
Direct benefits:

- Very low or no fuel cost and increased energy efficiency.
- Decreasing production cost.
- Diversification of revenue streams.
- Application of CDM resulting in a monetary value of CO2 emissions.

Broader benefits:

- More diverse and reliable supply of electricity in rural areas.
- Increased supply of electricity during the dry season.
- Lower emission of CO2
- Lower expenses on fossil fuel imports or higher earnings from fuel exports.

Furthermore environmental regulations together with the increasing importance of cane fibre for electricity generation suggests that reduced burning and more gathering and use of crop residues will become increasingly common in the coming decades. Such trends are already observed in Brazil, Mauritius and India, where

bagasse cogeneration is now viewed as a strategic energy asset. Harvesting of cane residues also requires major changes to harvesting and transport systems, thus requiring cost assessments that include the economic value of residues and recognize local and regional differences.

Slide 21: Brazil and Cogeneration

- UNICA projects that the share of cane bagasse cogeneration in Brazil's total electricity consumption will rise from today's 3% to 18% by 2020/21.
- During a Biolectricity Congress, held in early June, the industry pushed the government to use GHG emission indicators in the process of setting the price for the government bioelectricity auctions.
- UNICA argues that, in the absence of this, cane bagasse will have a disadvantage compared to coal, thermal and windpower energy.
- Last year wind power projects won the bulk of the biopower contracts.

Guatemala has an outstanding success record where about 25% of total electricity comes from bagasse.

Whilst Central and South American investment is impressive, in order for biomass cogeneration to be successful elsewhere in the world supporting policy measures are needed together with the appropriate physical and institutional infrastructure to facilitate independent power production. This is still lacking and stifling investment in cogeneration from sugarcane bagasse in some countries.

The process of securing policy inclusion for renewable energy can be very long and complicated. It can take years of sustained effort by the industry to achieve regulatory certainty. This is crucial as the sugar majors cannot get Board approval to spend money on fuel ethanol and cogeneration pre-feasibility studies without regulatory certainty. However governments often want to have hard evidence at hand to show whether projects are feasible. This Catch-22 clearly causes delays to diversification opportunities.

Slide 22: Reason 3 – Investor Confidence

The third key issue is investor confidence. *Are investors sweet on sugar's green energy potential?*

Whilst growing demand for sugar as well as the massive green energy potential can make sugar an attractive investment class, a key issue remains in many developing countries: how can governance in the sugar industry be improved to provide comfort to investors and other stakeholders?

Clearly the design and implementation of financing mechanisms *and* the ability to attract foreign and domestic investment are indispensable elements for cane-based bioenergy projects. Providing financing on a large scale can make it a complicated investment. Therefore, most investments in large-scale sugar cane production, may require institutional or multilateral support. Besides funding needs, education, information, and demonstration programmes are equally important. Investors need

to adopt a holistic approach and must often consider a five to ten-year timeframe as a minimum.

Slide 23: Conclusions

Conclusions
I've identified 3 key reasons that help to explain the surprisingly slow rate of sugar industry diversification into green energy in particular.

- Technical-economic justification is not always straight forwards.
- Absent enabling policy and regulatory frameworks.
- Investor Confidence

In short, the inherent economics of the sugar industry in many countries are fairly competitive by global standards. The question is more about the willingness to apply policy instruments to shift the industry towards renewable energy production and thereby improve the competitiveness and sustainability of both the sugar and energy sectors.

My final observation is this.
In a highly competitive globalised world sugar industry all forms of diversification have to be effectively exploited to achieve an optimal product mix and to ensure long term economic viability. There remain tremendous untapped reserves and opportunities for diversification and it is up to the world sugar industry to establish itself as future leaders in a low carbon market environment.

Final Slide: 22nd ISO Seminar

Estimados amigos, esta es mi última misión oficial a Cuba, ya que me retiro al final de este año como Director Ejecutivo de la Organización Internacional del Azúcar. Me gustaría provechar esta oportunidad para agradecer al Gobierno y al pueblo de Cuba por el fuerte apoyo, atención y hospitalidad que me han brindado en todas mis visitas. Estoy orgulloso de decir que tengo muchos amigos en Cuba y que regresaré para verlos.

Les deseo a todos buena suerte para un próspero, pacífico y feliz futuro.

Muchas gracias.

COMPETITIVIDAD DE BIOREFINERIAS Y SISTEMAS AGROINDUSTRIALES DIVERSIFICADOS

COMPETITIVENESS OF BIOREFINERIES AND DIVERSIFIED AGRIBUSINESS SYSTEMS

Noé Aguilar-Rivera

Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Km. 1 Carretera Peñuela Amatlán de los Reyes S/N. C.P. 94945, Córdoba, Veracruz México.
Tel./Fax: (52) 271 71 6 64 10.

naguilar@uv.mx

Abstract.

The international business literature is enough with conceptual and empirical papers related to competitiveness, diversification and innovation as important measure of benchmarking economic performance and the ability of a company or a product to compete with others. This article raises a number of attributes concerning the competitiveness and productive diversification and biorefineries that have taken place in agribusiness within the context of innovation, production and modernization. Three successful models are presented, corn, soy and sugarcane agribusiness with the goal of explaining the evolution of organizational and institutional strategies, networks and productive diversification to emphasize the need to have improved understanding of the determinants of competitiveness.

Keywords: productive diversification, corn, soy and sugarcane agro industry, competitiveness

Resumen

La literatura de negocios internacionales contiene numerosos trabajos conceptuales y empíricos relacionados con la competitividad, la diversificación y la innovación como medida importante de la evaluación comparativa de los resultados económicos y la capacidad de una empresa o un producto para competir con los demás. Este artículo plantea una serie de atributos sobre la competitividad y la diversificación productiva que han tenido lugar en la agroindustria y biorefinerias en el contexto de la innovación, la producción y la modernización. Se presentan tres modelos exitosos como estudio de caso: Agroindustrias de maíz, soya y caña de azúcar con el objetivo de explicar la evolución de las estrategias institucionales y de organización, las redes y la diversificación productiva llevadas a cabo para enfatizar la necesidad de tener una mejor comprensión de los determinantes de la competitividad.

Palabras clave: Diversificación productiva, agroindustria de maíz, soya y caña de azúcar, competitividad

Introducción

La agroindustria se encuentra en la dinámica general de los sistemas agroalimentarios y los espacios geoeconómicos, es decir, el mercado y las regulaciones comerciales nacionales e internacionales derivadas de la globalización y la competitividad como paradigmas a diferentes niveles (internacional, regional y nacional) para mantener o aumentar su participación en los mercados domésticos e internacionales pero se requieren profundas transformaciones productivas y socioeconómicas que constituyen un proceso que tiene lugar simultáneamente. En este sentido, desde los trabajos de competitividad de Porter, (1990) y dentro de los conceptos del discurso económico-político en la agroindustria y en las biorefinerias los términos competitividad, productividad, rentabilidad y diversificación ocupan un lugar singular, por que el objetivo de la agroindustria y las biorefinerias radica en contribuir al fortalecimiento de las economías regionales a través

de procesos de transformación de la materia prima agropecuaria, es decir, la agroindustria aparece como un sistema dinámico y elemento unificador e integrador entre estos dos sectores históricamente conflictivos: el sector campesino y el industrial a través de aumentar el ingreso de los productores, crear empleos, fortalecer la organización de productores, mejorar el valor nutritivo de los productos, disminuir las pérdidas de post-cosecha, crear capacidades empresariales para los campesinos, factibilizar económicamente la actividad de transformación productiva, preservar el medio ambiente y mitigar los efectos del cambio climático, utilizar subproductos y diversificar la producción agropecuaria (Figura 1).

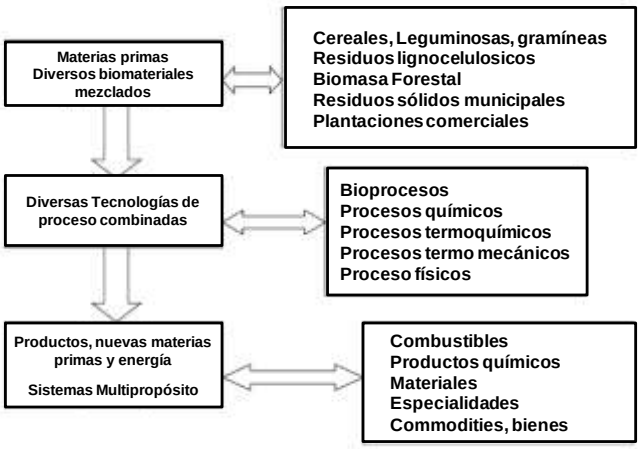


Figura 1. Principios básicos de una Biorefineria (Kamm, 2004)

Sin embargo, la competitividad de agroindustrias diversificadas y biorefinerias como tal, parte según los planteamientos de Porter (1990), como la evaluación comparativa de los resultados económicos de naciones, empresas, firmas, industrias o productos es decir, la capacidad de una empresa o un producto para competir con otros en el mercado domestico e internacional y los factores que influencian los costos de producción o la estructura de su demanda, su capacidad de diversificación basada en un comportamiento superior de la productividad y en su nivel de adaptación a las nuevas condiciones del mercado (Figura 2) a diferencia de las ventajas comparativas referidas a recursos naturales, técnicos y formación de capital ante las variaciones del mismo[1].

[1] Fuentes (1993) definió a las ventajas comparativas como aquellas situaciones relativamente permanentes y especificas originales en las condiciones naturales, clima, calidad de suelos, ubicación respecto a los mercados, y de tipo sociocultural y político, niveles salariales, habilidad de la mano de obra, estabilidad, que permiten a un país o región producir ciertas mercancías con ventajas que se reflejan en su mayor competitividad. El clima, la tierra y la mano de obra barata pueden ser factores decisivos en la competitividad cuando se trata de la producción convencional de mercancías similares, sin embargo, las nuevas tecnologías reducen significativamente el papel diferencial de aquellos factores a favor de la única ventaja sustantiva el capital. Para las agroindustrias tradicionales como caña de azúcar, trigo, maíz, soya avena etc. la biotecnología abre una posición divergente al diseñar variedades adaptadas a un clima distinto al de la variedad original, entonces las diferencias climáticas perderán importancia.

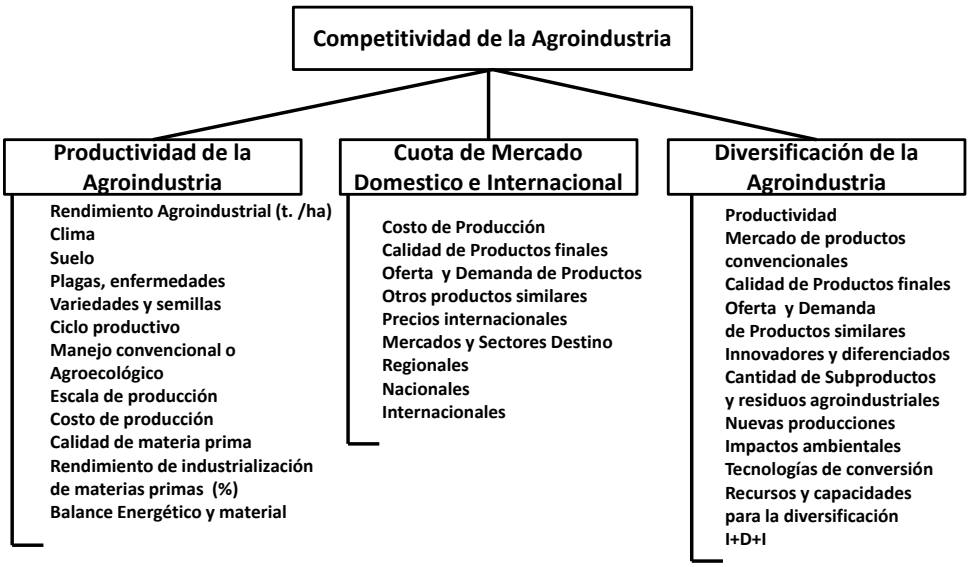


Figura 2. Factores de competitividad de los sistemas agroindustriales (Aguilar et al. 2012)

Por lo tanto, la competitividad es un concepto multidimensional que involucra la habilidad para exportar, el uso eficiente de los factores de producción y de los recursos naturales y el incremento de la productividad, el cual garantiza la elevación en el nivel de vida y el diseño de estrategias internacionales se basa en la interacción entre las ventajas comparativas de los países y las ventajas competitivas de las empresas (Kogut, 1985).

En relación a lo anterior, el concepto de competitividad puede ser analizado a partir de los atributos en tres niveles La empresa o firma, la industria o un sector de ella y la nación (Cuadro 1).

Firma o empresa	Industria	Nación
1. Posiciones específicas de los activos (es decir, tecnológicos, financieros, reputación, etc.). **2. Los procesos organizativos y de gestión (es decir, la coordinación, la integración, el aprendizaje, la reconfiguración).** **3. Factores organizativos – énfasis en objetivos y recursos humanos** **4. Trayectoria (historia de la empresa).** **5. Tamaño de la empresa (ventas).** **6. Diversidad de cuota de mercado (como una medida de la heterogeneidad y las diferencias de eficiencia entre las empresas).** **7. Rentabilidad (diferencia de cuota de mercado como consecuencia de las diferencias de tecnología, publicidad, diferenciación de productos entre empresas).** **8. Tasa de retorno a largo plazo (sostenibilidad) y (cuota de mercado como un activo).** **9. Productividad (a través de economías de escala y de alcance).**	**1. Concentración de la industria (y barreras de entrada).** **2. Estructura de la industria.** **3. Factores contextuales de la Industria** **- Edad y madurez de la Industria;** **- Estándar industrial, depreciación y métodos de valoración** **- Innovación/I+D.** **4. Tecnología de la Industria y la tasa de cambio.** **5. Membrecías de la Industria** **6. Productividad de la Industria.** **7. Capacidad instalada.** **8. Fortaleza de la industria en relación con proveedores y clientes.** **9. Intensidad de la competencia.** **10. Crecimiento de la demanda.** **11. Tasa de crecimiento de la Industria.** **12. Amenaza de sustitutos.** **13. Estabilidad de la Industria.** **14. Relación Concentración / rentabilidad**	**1.Tamaño del país de origen** **2. Recursos naturales y los recursos creados (en activos).** **3. Productividad (como una medida de la eficacia de la mano de obra y el capital empleado).** **4. Tasa de crecimiento del PIB.** **5. instalaciones e infraestructura.** **6. Política industrial.** **Políticas de bienestar Social y económico.** **7. Naturaleza de las instituciones y del gobierno.** **8. Políticas publicas** **9. Opinión pública y los grupos de interés.** **10. Capacidad y capacidades para incrementar la oferta (de un producto) en un mercado más amplio.**

10. Grado de multinacionalidad. **11. Porcentaje de la inversión extranjera y tasa de empleo** **12. I+D+I** **13. Estrategias individuales de las empresas.** **14. El poder de mercado que proporciona el estatus dominante de la empresa.** **15. Grado de diversificación.**		

Cuadro 1. Atributos de las empresas, Industria y Naciones hacia la competitividad (Banerjee, 2004)

En relación a la agroindustria como empresa, pueden clasificarse cuatro niveles de competitividad como sistema, según las características que reflejan sus capacidades administrativas, operativas y tecnológicas. Esta clasificación expone también el tipo de prácticas predominantes, que parten de un nivel elemental (nivel emergente) y se desplazan hacia mejores prácticas hasta llegar a los estándares de excelencia internacional (nivel de clase mundial) (Cuadro 2).

Característica	**Empresa**			
	Emergente	**Confiable**	**Componente**	**Clase mundial**
Prioridad	Supervivencia	Diferenciación	Innovación	Liderazgo
Mejores prácticas	Sistemas gerenciales administrativos	Mejora continua y benchmarking	Desarrollo de nuevos productos	Obsolescencia de productos acelerada
Cobertura de mercado	Local	Nacional	Región Internacional	Global
Nivel de su administración	Operación	Calidad y exportación	Calidad y exportación	Gestión tecnológica
Capacidad tecnológica	Imitación	Adopción y/o mejora	Desarrollo	Licenciamiento
Actitud frente al cambio	Reacciona	Se adapta	Promueve	Origina

Cuadro 2. Clasificación de empresas según la competitividad (Solleiro, 2005)

Diversificación y competitividad

La diversificación es uno de los temas relevantes de estudio de diferentes áreas de conocimiento (finanzas, marketing, dirección estratégica, economía industrial y agrícola); Mubarik Ali, (2004) planteo que la diversificación, como un primer paso en el proceso de lograr la competitividad, requiere el fomento de un entorno favorable y políticas públicas que permitan a la agroindustria y/o biorefinerias determinar los cultivos y proyectos agroindustriales que podrían generar las mayores ganancias y alcanzar una mayor ventaja competitiva. En este sentido, existe una serie de requisitos para la creación de ese entorno competitivo tales como: 1) las inversiones en I+D+I para reforzar la agroindustrialización basada en el conocimiento multidisciplinario, 2) la provisión de infraestructura adecuada y de instalaciones de producción y de comercialización; 3) eliminación de las barreras no comerciales, 4) la provisión de la tecnología pertinente, conocimientos, en particular, de la productividad y las técnicas de gestión/herramientas necesarias para el cumplimiento de las normas internacionales, es decir las 5I de la competitividad (Incentivos, innovaciones, Inputs, Instituciones e Infraestructura) al concebir la competitividad del sistema agroindustrial y/o biorefinerias como un conjunto de estructuras vinculadas entre sí, y que incluyen diferentes ramas de la producción y diversos fenómenos que forman parte de una unidad técnica y económicamente homogénea, en torno a las distintas etapas por las que atraviesa el producto hasta llegar a su destino final (consumo industrial o humano) denominado *Cluster o sistema agroindustrial* (Hendrickson et al, 2008; Merchand, 2005 y Farina, 1998).

La competitividad de la agroindustria y/o biorefinerias tiene vínculos entre los recursos específicos de cada localidad, región o nación productora, las estrategias competitivas adoptadas y el entorno externo. El

análisis del nivel competitivo puede llevarse a cabo de manera cualitativa y cuantitativa de acuerdo a las conclusiones de diversos autores clásicos, como métodos de análisis comparativo que permite explorar *a priori* las complejidades asociadas con la competitividad en los negocios internacionales, debido a las empresas tienen fortalezas y debilidades en relación con la estructura de la agroindustria, y puede y debe cambiar gradualmente con el tiempo. Sin embargo, comprender la estructura productiva de la agroindustria y/o biorefinerias debe ser el punto de partida para las futuras estrategias competitivas e integra la visión basada en los recursos, la gestión estratégica y la perspectiva de los negocios internacionales, conceptos que ponen de relieve la interacción de procesos en el que participan los agentes (*stakeholders*) de los diferentes contextos socio-políticos.

El objetivo del presente trabajo es analizar los indicadores de productividad, nivel de diversificación y uso de subproductos, en relación a la competitividad, de los sistemas agroindustriales (SAGs) de maíz, soya y caña de azúcar específicamente en los segmentos de producción de materia prima y procesamiento industrial, basado en la metodología de sistemas agroindustriales[2] de Julca-Briceño y Fava Neves (2011) y Aguilar (2011).

Agroindustria del maíz

En los últimos tiempos, el maíz (*Zea mays*) se ha orientado a un uso industrial diversificado y no solo como cultivo productor de insumos para el consumo humano y pecuario por sus características de alta eficiencia de conversión de recursos, alta producción por hectárea y composición química. En sentido amplio, la producción de biocombustibles, materiales plásticos, fibras textiles, almidón y aceites de alta calidad ofrece un gran potencial de aplicaciones en la industria y un número creciente de subproductos.

Las biorefinerías de maíz en países desarrollados separan la materia prima en sus componentes - almidón, aceite, proteína y fibra y las convierten en productos de mayor valor agregado y diversas aplicaciones comerciales (Figura 3).

[2] La base teórica que sustenta el concepto de sistema agroindustrial está construido a partir de la Teoría de la Organización Industrial y de la Nueva Economía Institucional. Según Gutman (2003) y Farina, (1998), la Nueva Economía Institucional (NEI) es una extensión de la Moderna Organización Industrial, enriqueciéndose con una especificación más completa y detallada del ambiente institucional y de las variables transicionales, que caracterizan la organización de las firmas y de los mercados, además de incorporar los efectos retroalimentadores y las interacciones entre el ambiente institucional y las estructuras, el comportamiento y el desempeño de las organizaciones y diversos fenómenos que forman parte de una unidad técnica y económicamente homogénea en torno a las distintas etapas por las que atraviesa el producto hasta llegar a su destino final (consumo industrial o humano). Es una expresión de la división social del trabajo de especialización productiva por línea de producto, la diversidad de plantas y unidades de producción que se distinguen por procesar una sola línea de materias primas.

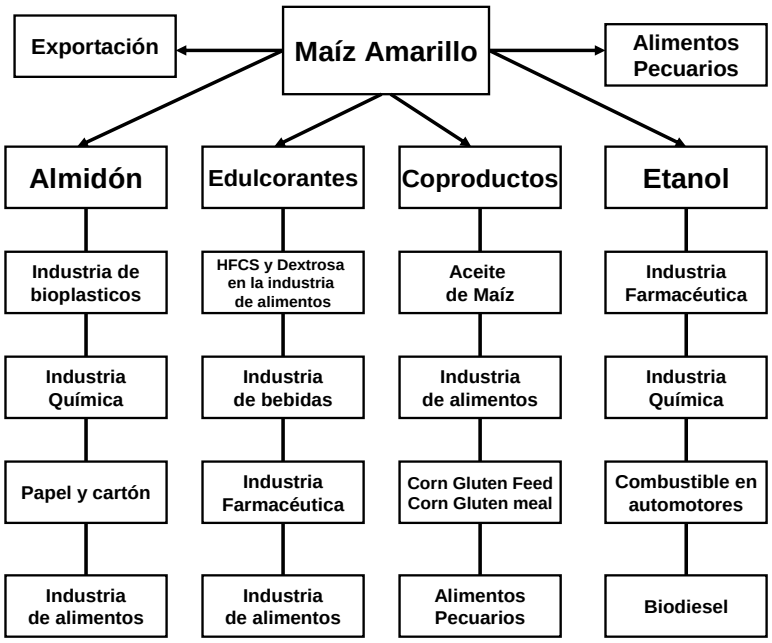


Figura 3. Aplicaciones de los derivados del maíz amarillo (Sulc, 2007; Rausch, 2006 y Erickson, 2004)

Hoy en día, almidón, fécula, glucosa y dextrosa siguen siendo los productos básicos de la industria de molienda húmeda. Los avances en ingeniería de procesos y biotecnología han permitido a las biorefinerías convertirse en proveedores de insumos de bajo costo de alimentos básicos y componentes químicos en la apertura de nuevos mercados en todos los sectores industriales (Hendrickson et al, 2008).

Refinado o molienda de maíz

En los últimos años, la demanda de etanol como biocombustible ha dado lugar a un aumento significativo de la molienda de maíz; principalmente mediante dos procesos industriales: Molienda húmeda y trituración seca; la semilla de maíz es fraccionada en sus componentes principales (germen, fibra y almidón); que junto al proceso de molienda seca para hojuelas de maíz (base de los cereales de desayuno) generan varias corrientes de procesos y coproductos de diferente composición y valor económico (Cuadros 3 y 4).

Proceso	Productos primarios	Coproductos
Molienda Húmeda	Almidón, Etanol, HFCS	Aceite de Maíz, gluten de maíz (CGF), Harina de gluten de maíz (CGM) y CO_2
Trituración seca	Etanol	Granos secos de destilería con solubles (DDGS), CO_2
Trituración seca Modificado	Etanol	Granos secos de destilería con solubles (DDGS), CO_2, aceite de maíz, fibra dietética.
Molienda seca	Hojuelas de maíz	Sólidos de mosto, harina y sémola de maíz y cascarilla.

Cuadro 3. Derivados del maíz y subproductos según proceso de refinado (Raush, 2006 y Erickson, 2004)

Proceso	Rendimiento de productos y Coproductos
Molienda Húmeda	750 L Etanol o 562.6 kg Almidón o 589.4 kg HFCS y 26.8 kg Aceite de Maiz, 221.5 kg Corn Gluten Feed (CGF), 53.6 kg Corn Gluten Meal (CGM)
Trituración seca	805 L Etanol 286 kg Distillers Dried Grains With Solubles (DDGS)

Trituración seca Modificado	750 L Etanol 60.7 kg germen 139.3 kg. Distillers Dried Grains With Solubles (DDGS) 67.9 kg fibra dietetica.
Molienda seca	120 kg Hojuelas de maiz 380 kg Sólidos de mosto 60 kg harina y semola de maiz 350 kg de piensos de maiz

Cuadro 4. Coproductos y subproductos según proceso de refinado (Raush, 2006)

En la producción de etanol, la comercialización de coproductos añade valor a la transformación. Los ingresos provenientes de la comercialización compensan gran parte del costo de la producción de etanol, la comercialización de ambos productos refleja los intereses de los procesadores de etanol y del usuario final (los productores de animales dentro del cinturón de maíz). Debido a que el etanol es el producto primario, la oferta y la demanda del mismo en el mercado doméstico pueden tener un gran impacto en los precios de los coproductos, y la economía de la transformación, durante largos períodos de tiempo, puede verse afectada por una serie de factores como el precio de otros ingredientes de la dieta animal como la soya; pero el mayor contenido de proteínas de los coproductos hace que estos tengan un precio más elevado que el maíz y la soya mismos. En el futuro, esta tendencia puede ser modificada si la cantidad de maíz procesado en etanol continúa aumentando; asi la oferta de coproductos necesariamente aumentará, lo que presionaría a la baja el valor de mercado de estos. Para mantener la estabilidad económica, será necesario ampliar los mercados de coproductos hacia la exportación (Hendrickson et al, 2008).

Sin embargo, según Raush, (2006), existen varios factores limitantes que deben superarse para incrementar el mercado y competitividad de coproductos del refinado de maíz, debido a los incrementos recientes en la producción de etanol, debido a que estos son una parte inherente del procesamiento de maíz e históricamente no han recibido la misma atención en el desarrollo de productos primarios como el etanol, el almidón y los HFCS. Como resultado, estos coproductos presentan valor bajo de mercado y altos costos de procesamiento y por lo general se comercializan como ingredientes alimenticios, especialmente para dietas de rumiantes y los factores que mantienen a la baja el valor de ellos, incluyen a la oferta y la demanda, la generación de gases de efecto invernadero la variación de su composición nutricional y su manipulación y almacenamiento con seguridad y eficacia. Por lo anterior, existe la necesidad de identificar y desarrollar tecnologías que permitan hacer frente a estas cuestiones y mejorar la viabilidad económica de la producción de etanol de maíz (Kim, 2009).

Agroindustria de la Soya

La soya *(Glycine max)* es una planta de la familia de las fabáceas, crece a una altura de 120-180 cm y se cultiva en más de 50 países y se caracteriza por el alto valor proteínico de su semilla; a menudo se le denomina “el cultivo milagro” debido a sus múltiples usos. Su composición promedio es de 40% de proteínas, 20% de aceite, 35% de carbohidratos, y 5% de cenizas sobre base de peso seco. Cada componente se ve afectado por el ambiente de crecimiento del cultivo y por el genotipo. Una bolsa de 50 kg de soya produce 40 kg de harina rica en proteínas y de 9 kg de aceite. La soya es rica en ácidos grasos insaturados, oleico, linoleico, y linolénico que constituyen el 85% del aceite. La soya es una buena fuente de minerales, vitaminas del complejo B, ácido fólico, y de isoflavonas para la prevención del cáncer, del desarrollo de enfermedades del corazón y de la osteoporosis (Lee, 2007). La proteína se utiliza principalmente para la alimentación del ganado (Romani, 2008) después de la molienda de las semillas y de la extracción del aceite, el cual se utiliza principalmente para el consumo industrial (Dalgaard, 2008 y Olhoft, 2007) (Figura 4).

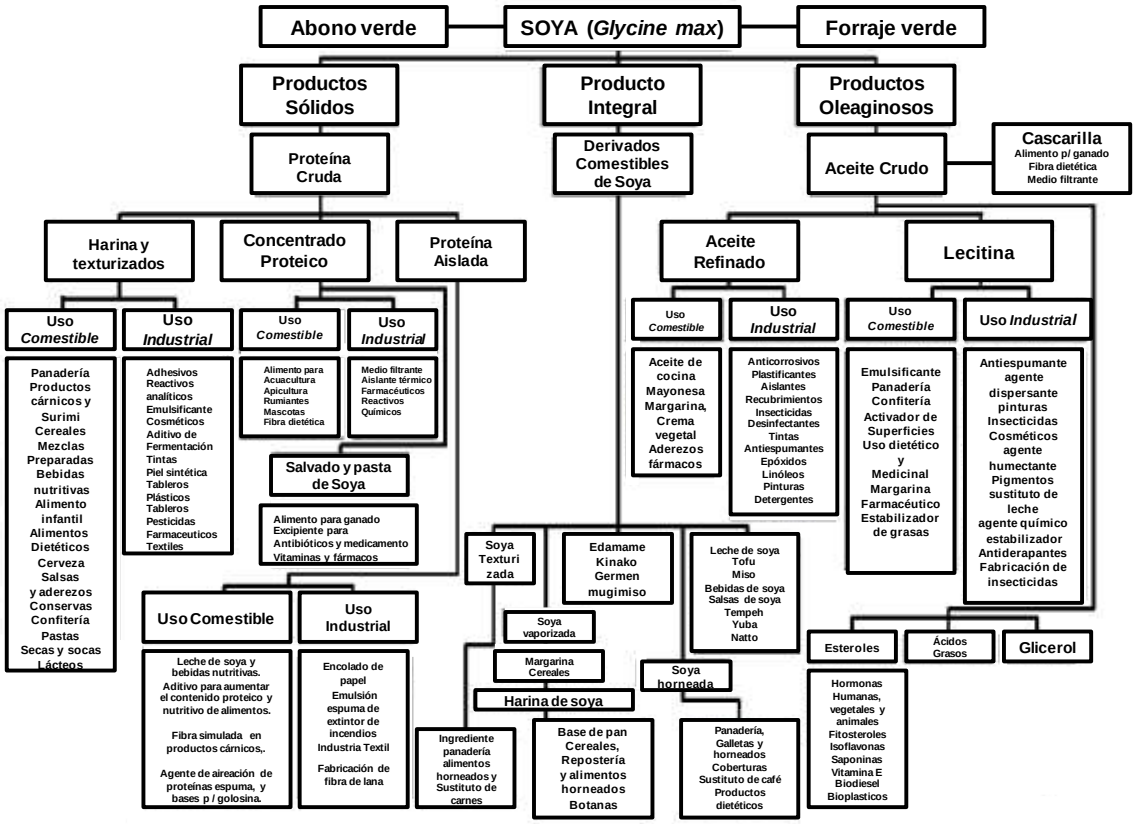


Figura 4. Derivados de la soya (Wilson, 2008; Kim and Dale, 2009 y Silva, 2006)

La producción mundial de soya se ha duplicado desde 1985, mediante el aumento de los rendimientos por unidad de área y por el aumento la superficie total cultivada. Cantidades importantes de soya se negocian en los mercados mundiales y, por lo tanto, el cultivo contribuye significativamente a la economía mundial. La escala mundial de producción de soya y la importancia económica de su cosecha se basan en los esfuerzos de investigación de la industria privada y pública, los cuales se han dirigido hacia la mejora de cultivos, manejo y producción de soya y sus derivados. El fitomejoramiento convencional ha sido y seguirá siendo el pilar de la agroindustria de la soya (Olhoft, 2007).

Molienda de soya

La agroindustria de la soya en se ha basado en la estrategia competitiva alrededor de dos líneas estratégicas en el procesamiento de la soya y en la obtención de subproductos alimentarios, industriales y energéticos (biodiesel): el liderazgo en costos y la diferenciación de productos. Estas directrices estratégicas se describen por el tipo de mercado en el que opera la empresa y por la definición de acciones específicas para obtener competitividad (Cuadro 5)

Acciones de competitividad	Liderazgo en costos	Diferenciación
Características del mercado o producto	-Pocos aspectos posibles de diferenciación -Elección impulsada por el precio -Importancia de los mercados industriales	Demanda menos elástica - Los productos de mayor valor añadido - Atributos de calidad específicos

Productos	Commodities: cereales, salvado, aceite crudo, aceite refinado a granel, etc.	- Los mercados de consumo final Productos elaborados: crema vegetal, margarina vegetal, mayonesa, aceites diferenciados etc.
Acciones estratégicas	- Búsqueda de economías de escala - La capacidad instalada - Logística eficiente - Eficiencia Financiera - innovación de procesos	- Segmentación del mercado - Promoción (importancia de la marca) - La innovación de productos

Cuadro 5. Líneas estratégicas en la industria de la transformación de la soya

Competitividad de la Agroindustria de maíz y soya

La competitividad de las agroindustria y/o biorefinerias se logra a través del liderazgo en costos/diferenciación de productos. Más específicamente capital humano, tecnología, insumos específicos, economía agrícola y de la producción, diferenciación de productos, políticas públicas y conocimiento de mercados y se enfatiza sobre el cambio de orientación de la actividad productiva y del proceso de innovación tecnológica desde una concepción de empuje tecnológico (*"technology push")* a una demanda tecnológica (*"demand pull")* estructurados por la dinámica del consumidor final (Figura 5)

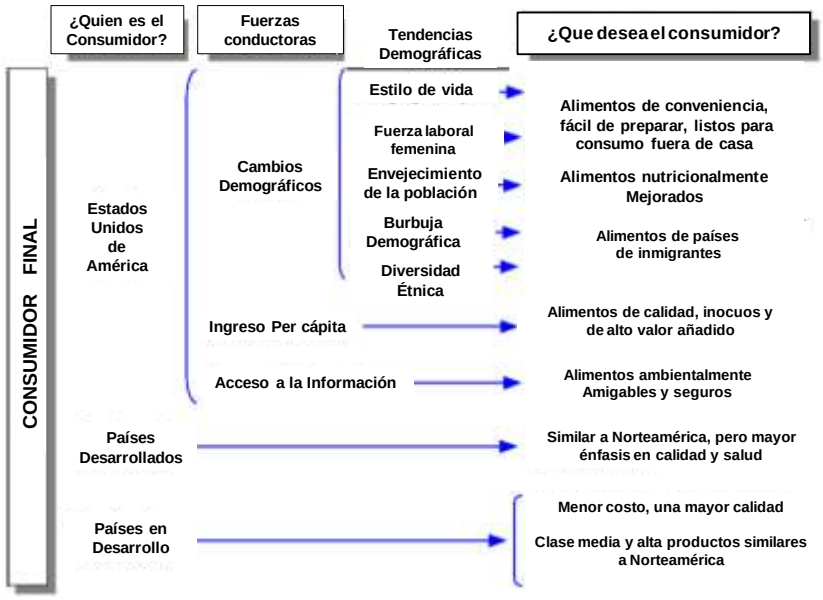


Figura 5. Dinámica de consumo de alimentos

Además, las tecnologías avanzadas en la gestión agrícola (Agricultura de Precisión), tales como sistemas de posicionamiento global (GPS), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección o Percepción Remota (RS) y la adopción de novedosos sistemas de labranza en las prácticas agrícolas y de conservación, de fertilizantes de liberación lenta, la cartografía y agricultura de precisión y la mejora de los sistemas de riego y mecanización han aumentado la eficiencia energética en la agricultura

El sistema agroindustrial caña de azúcar

En caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), una decisión clave inicial es si la materia prima puede ser mejorada a través de ingeniería metabólica y se destinara para la coproducción con la sacarosa para el sector

alimentario, o sólo la caña es cultivada para usos industriales no alimentarios como el etanol combustible. Bajo este escenario, los compuestos objetivo (derivados de la caña) deberían ser económicamente rentables y competitivos para remplazar la diferencia de valor entre la caña de azúcar para alimentos (sacarosa y melazas) y como materia prima para la fermentación industrial. En segundo lugar, los coproductos o subproductos (residuos de cosecha, bagazo, lodo de filtros, vinazas etc.) para ser competitivos con otras fuentes de materia prima como madera, pajas de cereales, melazas de remolacha etc. tienen la inherente ventaja biológica de ser derivados de la planta de caña de azúcar como precursores abundantes generados de una agroindustria establecida, que pueden ser modificados mediante tecnología simples y métodos físicos, químicos o biológicos y la energía para su transformación puede satisfacerse utilizando el bagazo de caña o los residuos de cosecha (Figura 6).

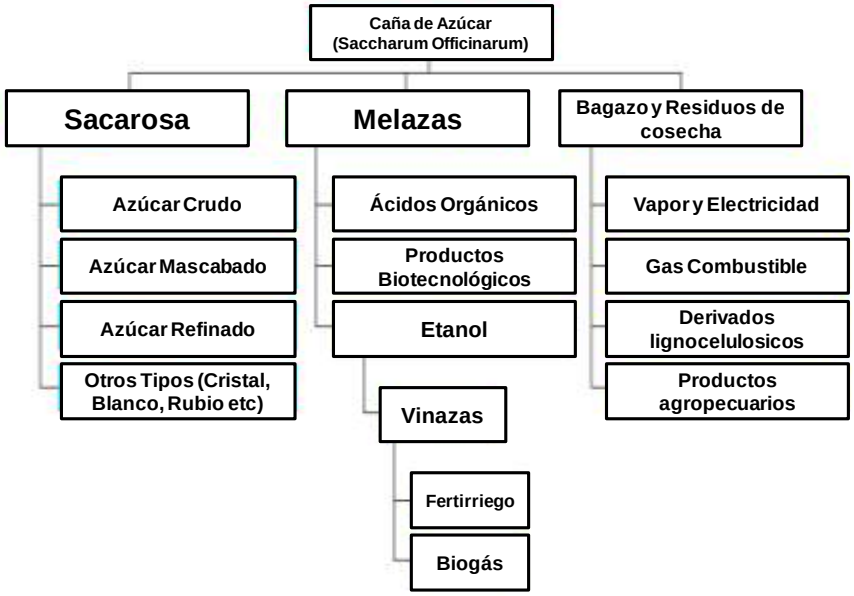


Figura 6. Integración productiva de la industria azucarera (Avram, 2005 y Gamarra, 2005)

En este sentido, existen numerosos estudios de índole técnica llevados a cabo en otros países azucareros como Brasil, Cuba, Colombia, India, China, Isla Mauricio, Australia, Sudáfrica, Guatemala, Argentina entre otros que plantean diversos esquemas de diversificación productiva basados en la caña de azúcar, coproductos y subproductos bajo el concepto de integración productiva, biorefineria, ingeniería metabólica, sucroquimica y agroindustria rural. Sin embargo, el actor clave es el "Complejo sucro-agroindustrial" de Brasil, el cual presenta diversas aplicaciones dentro de la cadena de valor y competitividad (Cuadro 6) líder a nivel mundial, está estructurado entre tres líneas de productos: azúcar, etanol y subproductos.

Sector de la economía	Productos de valor agregado derivados de la caña de azúcar
Alimentación	Edulcorantes (sacarosa y derivados no calóricos), vitaminas, aminoácidos, bebidas, grasas, proteína comestible
Salud	Químicos, antibióticos, enzimas, productos especializados
Productos para la agricultura y ganadería	Forrajes, piensos, abonos, fertilizantes, acolchados, fijador de Nitrógeno, Insecticidas y Biofungicidas Biológicos
Industria	Solventes, plásticos, derivados del etanol (alcohoquimica), anticorrosivos, tensoactivos, biocidas, derivados furánicos
Energía	Cogeneración, gasificación, pirolisis, biogás, briquetas
Transporte	Gasohol, biodiesel, biogás, BioOil
Educación y cultura	Papel periódico, escritura, cartones, libro de texto.
Vivienda y construcción	Tableros, moldeados, composites
Industria ligera	Textiles, sucroquimica, carbones, derivados de celulosa

Comunicaciones	Materiales aislantes
Industria pesada	Biooil, resinas, composites, aglomerados bagazo/cemento
Desarrollo humano	Generación de empleo en áreas rurales

Cuadro 6. Desarrollo Agro-industrial de la caña de azúcar

Este sistema o complejo agroindustrial es altamente competitivo y está basado en el mercado (Figura 7) y se ha soportado en el cambio estructural y el comportamiento de los factores de producción tales como capital, mano de obra, la tierra y la tecnología. Estas transformaciones se orientaron políticamente, ya que el Estado ha logrado explotar sus ventajas comparativas y competitivas en el mercado internacional. La agricultura brasileña se enfrento a la constante necesidad de ajuste y revisión de sus procesos de producción para que las empresas pudieran permanecer en los mercados (Amaral, 2003).

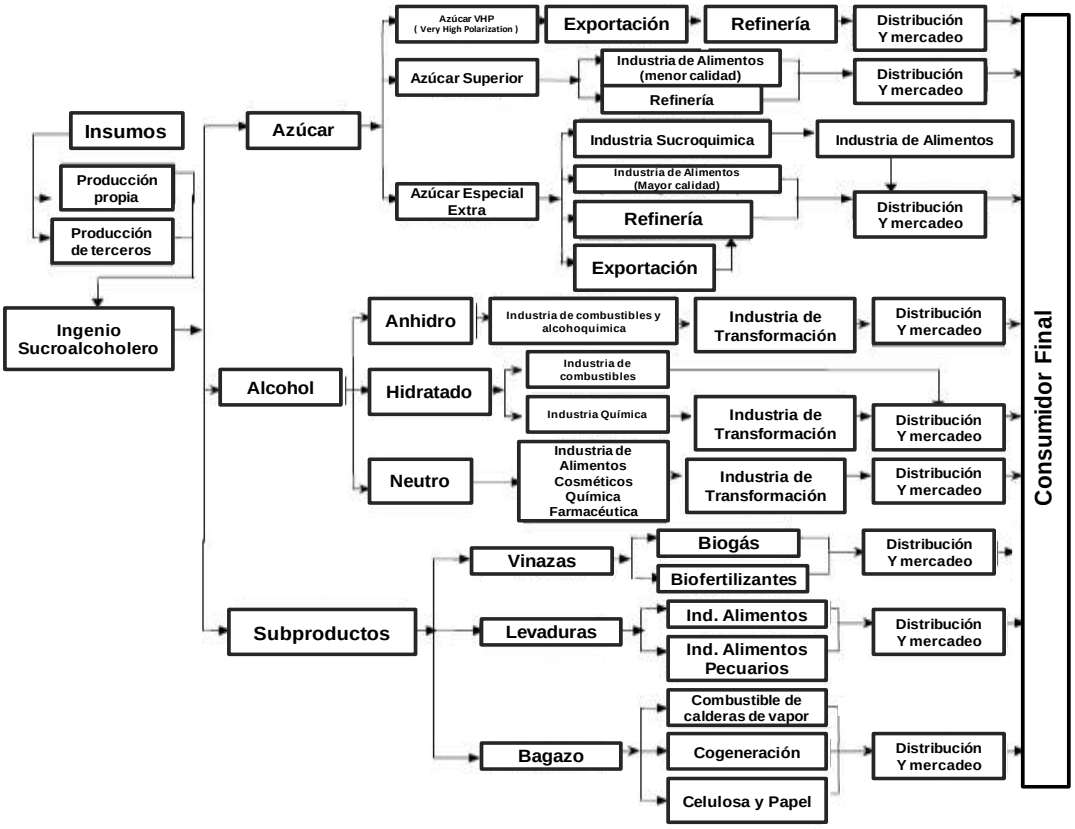


Figura 7. Sistema agroindustrial sucroalcoholero (Neves, 2010; Meirelles de Souza, 2008 y De Freitas Vian 2005)

En Brasil la definición de complejo o sistema agroindustrial se vincula a la primera noción de complejo que ocurrió con el concepto de agronegocios (propuesto por J. Davis y R. Gondelberg, 1957), y Filière (propuesto por L. Malassis, 1973). Sin embargo, la mayor contribución para la construcción del concepto de Complejo Agroindustrial en Brasil, fue sin duda el de Geraldo Müller (1982) inspirado en las nociones de la agroindustria y el complejo de Filière, desarrollo su enfoque de *Macro Complejo Agroindustrial*. Parte de la opinión de que para sostener la industrialización del país, la agricultura imprime la dirección ya que esta es una condición previa para la acumulación de bienes de capital en la industria destacado la interdependencia intersectorial que se refleja en la estructura y la dinámica del sector agrícola (transformaciones técnico-económicas) y también en la estructura social.

La industrialización de la agricultura implica necesariamente la interdependencia de la producción agrícola en relación con las limitaciones naturales (reproducción de la fertilidad del suelo, reducción de tiempo de producción gracias a la utilización de los conocimientos de la ingeniería genética) y la destreza del trabajo humano (empleo de maquinaria, herramientas, herbicidas). Definió al complejo agroindustrial brasileño como el conjunto de procesos técnico-económicos, socio-políticos, que implican la transformación, la producción de bienes industriales para la agricultura y los servicios financieros relacionados y en este sentido el concepto de *Complejo Agroindustrial* es la unidad de análisis de los cambios en el sector agrícola y utiliza la agricultura como unidad central de análisis de los derechos económicos, sociales y políticos de la industrialización del país, teniendo en cuenta los tres segmentos que componen el complejo agroindustrial e insiste en tomar a la agricultura en la dinámica del capital industrial y financiero. Posteriormente Haguenauer (1984), menciona que la dimensión tecnológica debe abordarse en la construcción del complejo industrial, porque la tecnología es el factor decisivo en la formación y transformación de los polígonos industriales y las relaciones técnicas, definiendo procesos y estableciendo industrias que están vinculadas entre sí.

Pero el cambio más significativo se da en la producción agrícola (base material de la diversificación y biorefinerias de la agroindustria azucarera) mediante la adopción de la mecanización de la cosecha de caña y otras operaciones (siembra y cultivo). El costo relativo es menor debido al aumento de la productividad, el costo de la cosecha y el transporte y la calidad de la materia prima. Esto requiere el desarrollo de innovaciones en los procesos de gestión de estas actividades mediante inversión, capacidad técnica y de gestión para hacer los cambios necesarios y este proceso genere una revolución en la dinámica competitiva del sistema agroindustrial de la caña de azúcar causando una gran diversificación de la producción, la diferenciación del producto final y un proceso técnico de descentralización (Cuadro 7)

Estrategia	Acciones
Especialización en la producción de azúcar y etanol	Automatización del procesos industriales
	Normalización de la producción y programas de calidad
	Mecanización de la agricultura
	Mejora en la logística de transporte
	Transferencia de unidades de producción a áreas agrícolas mecanizables de mayor calidad
	Subcontratación agrícola e industrial
Diferenciación de productos	Nuevas marcas de azúcar refinado
	Embalajes de diversos tamaños
	Envases desechables
	Azucares bajos en calorías
	Azúcar liquido
	Azúcar cristal y tipo especial
	Azúcar orgánico
Diversificación productiva (producciones con sinergia a la caña de azúcar)	Destilerías que se convierten a ingenios sucroalcoleros
	Cogeneracion de energía eléctrica
	Producción de jugo de naranja
	Estabulado de ganado bovino (carne y leche)
	Producción de ciclamatos de jugo de caña
	Sucroquimica
Fusiones y adquisiciones	Fusión por sinergia productiva
	Adquisiciones para expansión y entrada a nuevas regiones
Grupos de comercialización de azúcar y etanol	Estructuración de sistemas comunes de comercialización de azúcar o etanol
	Asociaciones de exportadores de etanol y azúcar
Materias primas	Caña de azúcar
	Soya
	Productos forestales
	Residuos y subproductos agroindustriales
Investigación y Desarrollo de nuevos procesos	Fermentación
	Digestión anaerobia
	Pirolisis
	Reacción química
	Gasificación
	Combustión
	Hidrólisis ácida y enzimática

Cuadro 7. Estrategias de competitividad de la biorefineria de caña de azúcar

Conclusiones

En las empresas diversificadas y/o biorefinerias se puede encontrar todo un conjunto de factores naturales, sociales, de producción, institucionales, económicos y tecnológicos que actúan de forma complementaria y acumulativa. En el presente análisis, se presentaron tres estudios de caso: agroindustrias de maíz, soya y caña de azúcar que han sido ampliamente documentados como ejemplo de los efectos beneficiosos de la diversificación productiva y políticas públicas para alcanzar la competitividad en un sistema agroindustrial.

Las agroindustria analizadas tienen las debilidades inherentes de una economía mundo, pero están protegidas hasta cierto punto desde el mercado mundial en desarrollo en el sector energético. Los recursos naturales de Brasil en la producción de caña de azúcar y sus planes innovadores y eficaces en el sector de la energía, y la diversificación basada en I+D+I en la biorefineria de maíz y soya de países desarrolladios los convierten en empresas únicas y competitivas a largo plazo. Brasil tomo un camino de diversificación productiva desde los años 1980 y 1990 desde una posición defensiva de la década de 1970 que fue debido a las dificultades económicas de la crisis mundial del petróleo. Por su parte los países desarrollados en el mismo contexto de la crisis del petróleo, ha buscado la soberanía alimentaria y energética en primer lugar y después el liderazgo en exportaciones como el granero del mundo mediante los planteamientos del agribussines.

Hoy en día, Brasil y Estados Unidos se encuentra en una posición tal que se lanzaron en una estrategia agresiva producción de biocombustibles gracias a su autonomía tecnológica de fabricación de etanol combustible de caña de azúcar y maíz. Por lo tanto las agroindustrias y/o biorefinerias a través de sus estrategias pueden influir en las fuerzas de la competitividad y con ello afectan la estructura del sector, con lo cual estarían creando las condiciones para una ventaja competitiva.

El Estado con adecuadas políticas publicas puede generar las condiciones para alcanzar la estabilidad, crea y desarrolla las condiciones para que el capital disponga de una mano de obra calificada, crea la red de infraestructura e instituciones de apoyo para el desarrollo de las actividades productivas y juega un papel fundamental en las diversas negociaciones que se efectúan con los otros Estados.

La agroindustria en su conjunto debe hacer grandes retos en materia de productividad y competitividad; las opciones que en el pasado eran válidas para insertarse en el mercado internacional se están agotando, en especial las basadas en recursos naturales, mano de obra barata y escasamente calificada, en condiciones de trabajo limitadas y en evaluar el desempeño solo a partir de indicadores productivos.

El aumento de la productividad o del rendimiento económico está representado por la expansión de la producción de cultivos agroindustriales. Por otra parte, la adopción de sistemas diversificados competitivos está también en función de factores cualitativos como la edad, la educación, deudas de los productores, tamaño y tipología de la unidad productiva, escala económica, tipo de cultivos existentes (maíz, soya y otros cultivos), insumos (labor, combustibles, fertilizantes, herbicidas, semillas, maquinaria) y el mercado objetivo (local, regional, nacional, exportación), todos ellos factores limitantes que deben evaluarse de forma sistémica y multidisciplinaria en los proyectos de diversificación y/o biorefineria.

Bibliografía

Aguilar R. N. (2012). Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México. Convergencia Revista de ciencias sociales. 19(59):187-213.

Aguilar R.N. (2011). Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar. Revista Región y Sociedad XXIII(52):261-297

Amaral, T.M., Neves, M.F., Moraes, M.A.D. (2003). Análise comparativa entre cadeia da cana-de-açúcar do Brasil e da França. In: congresso brasileiro de economia e sociologia rural, 41 p.

Avram P. B. Morgen (2005). Benchmarking concept for an integrated sugar, ethanol and co-generation plant.(ISSCT); International Society of Sugar Cane Technologists Congress vol.2; 2005 0130-0204; Guatemala City(GT)

Banerjee S. (2004). Determinants of International Competitiveness: A Comparative Study of the Sugar Industry in Australia, Brazil, and the European Union. Thesis for Degree of Masters in Business (Research), School of International Business, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.136 p.

Dalgaard R. (2008). LCA of Soybean Meal. International Journal LCA 13 (3) 240 – 254

De Freitas Vian (2005). estudo de impacto econômico (EIS) para o complexo agroindustrial canavieiro: introdução e agenda de pesquisa XLIII Congresso Da Sober "Instituições, Eficiência, Gestão e Contratos no Sistema Agroindustrial" Ribeirão Preto, 24 a 27 de Julho de Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural

Erickson, A. (2004). The U.S. HFCS industry: A strong foundation; A strong future. International sugar journal 106, (1268): 422-425

Farina E.M.M. Q. (1998). Competitivida Do Sistema Agroindustrial Brasilero Volume V, IPEA,São Paulo Julho, 1998, 72 p.

Fava Neves M. (2010). Análisis del sector sucroenergético brasileño bajo un enfoque de planificación estratégica. Agroalimentaria.17(32):29-45

Fuentes A. L. (1993). Cambios en las ventajas comparativas de la producción Agricola. Geografia y desarrollo. Año 5 3(8-9): 44-53

Gamarra E. E. Silva Lora. (2005). techno-economical evaluation of. Diversification in sugarcane industry. (ISSCT); International Society of Sugar Cane Technologists Congress vol.2; 2005; Guatemala City(GT)

Gutman, S. Gorenstein (2003). Territorio y sistemas agroalimentarios. Enfoques conceptuales y dinamicas recientes en la Argentina Desarrollo económico, 42(168): 563-588

Haguenauer, l. Guimarães, E.A.A., Araujo, J.R. E Prochnik, V. (1984).Complexos industriais na economía brasileira" texto para discussão n. 62, IEI/UFRJ, 1984

Hendrickson J. G.F. Sassenrath, D. Archer, J. Hanson, J. Halloran (2008). Interactions in integrated US agricultural systems: The past, present and future Renewable Agriculture and Food Systems: 23(4); 314–324

Julca-Briceño, B. M., Fava Neves, M. (2011).Caracterización de sistemas agroindustriales: un estudio comparativo de los sectores sucroenergéticos de Brasil y Colombia Interciencia, 36(5):356-364

Kamm B., M. Kamm. (2004). Principles of biorefineries Appl Microbiol Biotechnol 64: 137–145

Kim S. and Dale B. (2009). Regional variations in greenhouse gas emissions of biobased products in the United States—corn-based ethanol and soybean oil Int J Life Cycle Assess 14:540–546

Kogut, B. (1985). Designing Global Strategies: Comparative and Competitive Value-Added Chains, Sloan Management Review 6(4):15-28.

Lee J. G. (2007). Chapter 1 Soybean. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, Volume 2 Oilseeds C. Kole (Ed.) © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, 53 p.

Meirelles de Souza H.F. (2008). competitiveness of sugar agrosystem Bolivia and Brazil, GEPAI/UFSCar 27 p.

Merchand M.A. (2005). La dinámica transnacional de la agroindustria del limón y su hinterland agrícola en el Valle de Tecomán Análisis Económico XX(44): 215-248

Mubarik Ali. (2004). Agricultural Diversification and International Competitiveness Report of the APO Study Meeting on Agricultural Diversification and International Competitiveness, Edited by Dr. Agriculture Economist/Head of the Socioeconomic Unit and Economic and Nutrition Project, Asian Vegetable Research and Development Center, Republic of China. 292 p.

Müler, G. O (1982). Complexo agroindustrial brasileiro. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR,

Neves, M.F.; Trombin, V.G.; Consoli, A.M. Mapping and Quantification of the Sugar-Energy Sector in Brazil. In: Proceedings of IAMA (International Food And Agribusiness Management Association) World Symposium & Forum, (2010). Boston, MA, USA.

Olhoft P. M.and D.A. Somers (2007). Soybean. Biotechnology in Agriculture and Forestry, Vol. 61 Transgenic Crops VI (ed. by E.C. Pua and M.R. Davey) c Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 25 p.

Porter, M. (1990). The competitive advantage of nations. *Harvard Business Review*, mar/abr:73-93.

Rausch K. D. and R. L. Belyea. (2006). The Future of Coproducts From Corn Processing. Applied Biochemistry and Biotechnology, 128:47-85

Romani A. (2008). Feasibility and life cycle assessment of soybean oil and soy-isoflavon production**.** 16th IMEKO TC4 Symposium Exploring New Frontiers of Instrumentation and Methods for Electrical and Electronic Measurements Sept. 22-24, 2008, Florence, Italy.

Silva M. S. (2006). Composição Química e Valor Protéico do Resíduo de Soja em Relação ao Grão de Soja. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 26(3): 571-576

Singh,G.B., Solomon,S. (1995). Sugarcane: Agro-Industrial Alternatives. Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi. 543 p

Solleiro, J. (2005). Competitiveness and Innovation Systems: the Challenges for Mexico´s Insertion in the Global Context. Technovation, 25:1059-1070.

Sulc R. M. and B. F. Tracy. (2007). integrated Crop–Livestock Systems in the U.S. Corn Belt Agron. J. 99:335–345

Vian, C.E.F. (2003). Agroindústria canavieira: estratégias competitivas e modernização. Campinas: Átomo & Alínea,.

Wilson R.F. (2008). Chapter 1: Soybean: Market Driven Research Needs, Genetics and Genomics of Soybean,Springer Science+Business Media, LLC.

"CADENAS PRODUCTIVAS"
CONTAMINACIÓN Y COPRODUCTOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

"PRODUCTIVE CHAINS"
POLLUTION AND CO-PRODUCTS OF SUGAR CANE

Manuel Enríquez Poy
poymanuel@prodigy.net.mx

RESUMEN

El combate a la contaminación se considera una magnífica oportunidad para el desarrollo de cadenas productivas en torno a la caña de azúcar, aprovechando el acervo de investigación realizado en México y en otras latitudes. Se hace hincapié sobre la importancia que tiene el concepto de "cosecha limpia" para reducir el impacto de este flagelo en todos los ingenios; presentándose evidencias de cómo se aborda la problemática y sus impactos en el proceso industrial.

La experiencia con la reutilización de la cachaza y el bagazo excedente en la producción de compost y de sustratos humectantes de baja densidad, así como la recolección y compactación de hojas y cogollo y su transporte posterior con propósitos energéticos, son ejemplos claros de cómo se convierte en un gran negocio el problema tradicional asociado a la contaminación con beneficios adicionales al ingenio.

Después de varios años de investigación y desarrollo con nuestros clientes, se concluyó que la creación de "cadenas productivas" es una magnífica solución a los problemas relacionados con el proceso agroindustrial, logrando equilibrio entre oferta y demanda de azúcar y otros coproductos. En este contexto, se presenta la experiencia con la producción de aminoácidos "L-lisina" y la recuperación de los efluentes como fertilizante líquido en campos cañeros. Otros tópicos se relacionan con el empleo del bagazo cribado "pachaquil" para alimento animal y finalmente la posibilidad de aprovechar nuevas oportunidades de negocio con base en los derivados de la caña de azúcar.

PALABRAS CLAVE: Coproductos, cadenas productivas, contaminación, efluentes.

SUMMARY

The fights against pollution generated in all the sugarcane activities are presented in this paper, focusing in the possibility to create "productivity chains" having the process (field and factory) to develop another business, converting the problem in very high profits for the mills. Here are presented several examples according with the local experiences, showing clearly how it is necessary to handling the question and it's impact into the mill economy.

Experience with the reutilization of filter mud and bagasse surplus for the production of compost and water retention low density organic fertilizer; collecting and loading sugar cane trash (left in fields after the harvest) and it´s transportation to the mill for fuel proposal, are clear examples to convert the problem in a very attractive solution, with additional benefits to the mills.

After some years of research and development with our clients, we found that creation of "productivity chains" is an intelligent solution to control the relationship between offer and demand of sugar and co-

products. In this context, this text present the experience with the offering or rich molasses how raw material for amino acids production “L-Lysine”, and the use of the sewages of that process to fertilizer the cane. Another topics handled were the cattle feed using bagasse fiber “pachaquil” and finally, the possibility to create new business using different co-products of the sugar cane for different purposes.

KEYWORDS: Co-products, chains, pollution, effluent.

INTRODUCCIÓN

La dicotomía “producción – contaminación” ha representado históricamente un freno al desarrollo de muchas industrias, reflejándose particularmente en el agro sector de la caña de azúcar, uno de los mayormente reconocidos como generadores de desechos altamente contaminantes del entorno donde se hallan enclavados los ingenios. Las soluciones que se han pretendido dar al angustiante problema, rayan en esquemas tales que, más que resolver la problemática, muchas veces la disfrazan; sin detenerse a meditar que el problema pudiera dar, por si mismo, alternativas económicas que empiezan hoy a ser realidad, resolviendo de paso el deterioro de los suelos aledaños a la empresa.

La contaminación se origina principalmente durante la cosecha, independientemente que esta sea manual o mecanizada; puesto que con la misma se incorporan al proceso industrial agroquímicos, pesticidas, materia orgánica y tierra, los cuales tendrán que separarse por medios físicos y químicos, hasta obtener el cristal blanquecino casi puro. Con la mecanización acelerada se han tenido que implementar mejoras, tanto en la cosecha como en la recepción de la materia prima, mismas que continúan siendo insuficientes para quitarnos el galardón de “empresas contaminantes”.

Presentamos a continuación algunas acciones que hemos implementado en México para paliar este nocivo mal que aqueja por igual al grueso de los ingenios azucareros de nuestro país.

ACCIONES EMPRENDIDAS PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN

EN LA AGRICULTURA

Haberse sumado al ***Programa de Campo Limpio*** representó, a nuestro juicio, la mejor acción realizada para cooperar con la salud de las comunidades cañeras. Estas acciones están dirigidas hacia la recolección de los envases vacíos donde vienen los agroquímicos y pesticidas aplicados a los cultivos de caña de azúcar (figura 1), mismos que antaño se empleaban como recipientes y bidones para almacenar agua de beber, con graves consecuencias a la salud.

Figura 1.- Centro de acopio primario, Programa Campo Limpio.

La introducción de los “burritos” (figura 2), contenedores metálicos ligeros, representó un hito en el método de cosecha manual, dado que el cortador coloca directamente la caña sobre las horquetas de soporte sin que toque el suelo; acto seguido, la cargadora toma el bulto y lo deposita dentro de la carrocería del transporte, teniéndose como efecto colateral facilitar al cortador la contabilidad (# burritos cortados/día = X toneladas de caña a cobrar). Con ello, no obstante el costo de adquisición y traslado (compartido al 50% entre ingenio y abastecedor), los efectos se pueden resumir como sigue:

1. Disminución de materias extrañas transportadas (peso neto aprovechable).
2. Menor desgaste de equipos industriales (por piedras y tierra principalmente).
3. Mayor recuperación de azúcar, tanto al campo “KARBE”, como a la fábrica “KABE”.
4. Minimizar el consumo de productos químicos (floculante y otros).
5. Maximizar la claridad del jugo y azúcar elaborada.

Figura 2.- Burrito (contenedor metálico ligero).

Se reportan también algunas modificaciones en las alzadoras de caña (ingenio La Gloria), eliminando el trineo e incorporando un contenedor en la base de la garra, para separar parte de la tierra simultáneamente con la carga del camión.

La recolección del tlazole (residuos de hojas y cogollo) post cosecha[(1)], empieza a realizarse conjuntamente con el concepto “cero labranza”, para evitar la requema a cielo abierto, posibilitándose la opción de enviarlo a los ingenios para su aprovechamiento como combustible en los hogares de los generadores de vapor o bien para utilizarse como forraje, existe maquinaria que permite recolectarlo y empacarlo según el uso que se le vaya a dar (rollos de 250 – 800 kg o pacas de 20 – 30 kg), ver (figura 3).

Poca experiencia se tiene aún con esto, puesto que el propio sistema de pago de la gramínea impide llegar a acuerdos para determinar la relación “costo/precio” de lo recolectado.

Figura 3.- Enfardado del tlazole.

Es importante señalar que sólo se puede aprovechar del 70 al 80% de estos residuos, ya que el resto es recomendable dejarlo en los campos como aporte de materia orgánica, tanto al suelo como al próximo ciclo del cultivo.

En Central Motzorongo se realizó una evaluación de la recolección de la paja de la caña de azúcar cosechada mecánicamente.

- Se utilizó un equipo Massey Fergusson, Modelo HESTON 1835, con un rendimiento de 40 pacas de 30 kg por hora y un rendimiento promedio por día de 800 pacas.
- Se trabajó con la variedad Mex 69-290, ciclo resoca 2, rendimiento promedio obtenido 72 ton/ha.
- Pacas de residuo obtenidas /ha: **366, de 30 kg/cu**, para **un total de 10,980 kg de paja aprovechada/ha**, que corresponde al **70% del residuo total** que quedó después de la cosecha.
- En este ingenio se cosechan alrededor de 44,800 toneladas de caña con cosechadoras, teniendo un rendimiento promedio de 68 tonelada por hectárea, lo que representa alrededor de 658 hectáreas, con un potencial para recolectar 7 238 toneladas de paja.

Aquí aparece una primera alternativa de industrialización colateral: **residuo agrícola como combustible**.
Se requiere profundizar más para evaluar todos los gastos involucrados y su relación con el bagazo utilizado como combustible, normalmente desplazado para comercializarse como materia prima para otros fines.

EN LA TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL

Las primeras acciones de tipo industrial emprendidas estuvieron enfocadas en tres direcciones:

1. Trampas separadoras de grasas y aceites (figura 4).
2. Neutralización de lavados ácidos y alcalinos (cambiadores de calor).
3. Tolvas recolectoras de cachaza (figura 5).

Esto sin duda activó las acciones remediadoras, aunque sólo de manera aislada, como paliativo al grave problema que se confrontaba entonces.

Figura 4.- Trampa separadora de grasa y aceite

Figura 5.- Planta de tratamiento de aguas sanitarias y tolva recolectora de cachaza

Otra acción emprendida por algunos consistió en la caracterización y segregación de los drenajes ***sanitarios - pluviales - industriales*** , considerándose por supuesto el impacto térmico de los efluentes (figura 5).

No obstante lo anterior, con el correr de las zafras se llegó a la conclusión que para combatir la contaminación frontalmente había que balancear termo-energéticamente las fábricas, balances perdidos por el anárquico crecimiento de los ingenios más pequeños. Estaba en juego resolver la paradoja de la industria: ***autosuficiencia con agua y energía propia que brinda la caña***.

Con el fin de dar cumplimiento a la normativa ecológica nacional NOM ECOL-001, que marca los parámetros a cumplir cuando los efluentes se destinen para riego agrícola (tabla I), los efluentes industriales y pluviales (previa separación de los sanitarios), son enviados hacia un tanque recolector de aguas residuales, donde, previa atemperación, son transportados por pipas hacia los cañaverales cercanos (figura 6).

Tabla I Parámetros de la NOM ECOL 001.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS	**RÍOS**						**EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES**				**AGUAS COSTERAS**						**SUELO**			
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	**Uso en riego agrícola (A)**		**Uso público urbano (B)**		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M	P.D.	P.M.	P.D
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A	N.A	75	125
Demanda Bioquímica de $Oxígeno_5$	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A	N.A	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A	N.A.	N.A.	15	25	N.A	N.A	N.A	N.A
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A	N.A	N.A.	N.A.	5	10	N.A	N.A	N.A	N.A

(1) Instantáneo
(2) Muestra Simple Promedio Ponderado
(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.
P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual:
N.A. = No es aplicable.
(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Figura 6.- Carga de pipas con efluentes industriales.

Evidentemente para asegurar reducciones importantes de los flujos energéticos asociados con la contaminación ambiental, cualquier acción a emprender deberá fundamentarse, antes que nada, en un sólido balance de masa y energía. Con esta premisa muchas fábricas emprendieron, primeramente, el objetivo de eliminar el petróleo de su contabilidad, como paso previo al desarrollo de los esquemas de cogeneración, para venta de excedentes a través de la red pública (la mayor instalación "40MW", es la del ingenio Tres Valles, en el estado de Veracruz).

"CADENAS PRODUCTIVAS INTER INGENIOS"

Con el fin de reducir los montos de inversión requeridos para la modernización de la planta industrial, sobre todo en aquellos ingenios con capacidad de molienda reducida, se han venido implementando esquemas fraccionados como sigue:

caña - meladura → azúcar crudo (96/98 POL) y/o estándar (99.4 POL)
caña - meladura - miel "A" → azúcar crudo y/o estándar
caña – mieles ricas → azúcar
- aminoácidos
- alcohol etílico

Las economías energéticas saltan a la luz enseguida, optimizando los balances en el ingenio receptor.

OTROS PRODUCTOS

Una importante experiencia fue la interacción con una planta productora de aminoácidos (L-lisina; glutamato monosódico, etc.), proceso biotecnológico que empleaba como materias primas dextrosa, melaza y azúcar crudo, para enriquecer las fuentes de carbono para la fermentación. Dichos materiales se sustituyeron con miel "B" del ingenio, logrando con ello incremento de rendimiento en sus procesos y reducción de la contaminación ambiental.

Como efecto colateral, se experimentó con gran éxito la concentración de sus efluentes (40/50 Bx) y su posterior comercialización como fertilizante líquido, con elevada concentración de materia orgánica, dosificando 5,000 lts. por hectárea. Este tema fue presentado en evento anterior del ICIDCA (figura 7 y tabla II).

Figura 7.- Aplicación de L-lisina en campo.

Tabla II Condensados solubles de melaza.

COMPOSICION CMS		
Elementos y Compuestos	Valores	Unidad de Medida
Nitrogeno Total	4.49	%
Nitrogeno Amoniacal	3.37	%
Nitrogeno Organico	1.12	%
Fosforo	2700	Ppm
Potasio	10070	Ppm
calcio	870	Ppm
Magnesio	1196	Ppm
Manganeso	267	Ppm
Zing	2.52	Ppm
Cobre	1.44	Ppm
Solidos totales	40	%
Ceniza	8	%
L-Lisina	3.55	g/l
Densidad	1.18	g/cm^3

En lo que respecta al ingenio las bondades de tal iniciativa repercutieron principalmente en:

- incremento del ritmo de molienda
- reducción del consumo de energía (supresión templas "C")
- menor consumo de productos químicos
- disminución costo del envase
- reducción de espacio de almacenamiento y flete
- mayor calidad del producto final (al suprimir reproceso de materiales de baja pureza)

En caso de excedentes este ejemplo debiera considerarse como un colchón para regular la producción de azúcar sin afectar la caña. También pudiera aplicarse destinando mieles ricas para elaboración de alcohol etílico / etanol (figura 8).

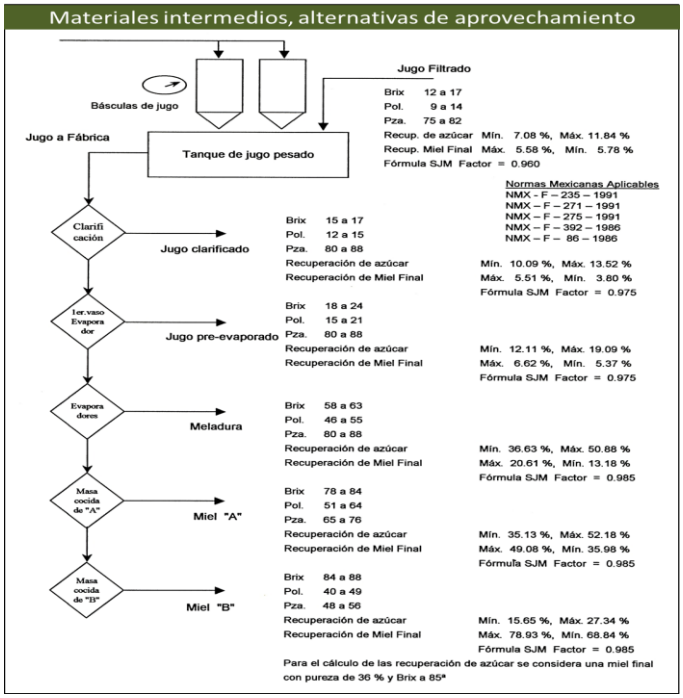


Figura 8.- Materiales intermedios.

PRODUCCION DE COMPOST Y SUSTRATOS ESPECIALES

La experiencia en este sentido se ha venido incrementando cada vez más, como respuesta a que el costo de los fertilizantes se ha disparado grandemente. La producción de compost (a partir de cachaza y bagazo principalmente) registrada en Central Motzorongo, asciende a más de 3,500 toneladas anualmente, destinando dicho abono orgánico para abonar, principalmente, las siembras y cada vez más socas y resocas (figura 9 y tabla III).

Figura 9.- Máquina composteadora.

Tabla III Composición química composta y lombricomposta.

COMPOSICION QUIMICA DE COMPOSTA	
MATERIA ORGANICA	43.00%
NITRÓGENO	2.10%
FÓSFORO	0.75%
POTASIO	1.20%
PH	6.90%
HUMEDAD	30.00%
CALCIO	0.47%
MAGNESIO	0.40%
RELACION CARBON/NITROGENO	20:01

COMPOSICION QUIMICA DE LOMBRICOMPOST	
MATERIA ORGANICA	52.00%
NITROGENO	2.80%
FÓSFORO	1.00%
POTASIO	1.30%
PH	7.20%
HUMEDAD	22.00%
CALCIO	0.47%
MAGNESIO	0.40%
RELACION C/N	19:01

Otro ejemplo de aprovechamiento de coproductos de la caña es la producción de un sustrato humectante de baja densidad (SHBD), materia prima básica para productos de nutrición más elaborados, por su característica retenedora de humedad (figura 10 y tabla IV).

Figura 10.- Producción de SHBD.

Tabla IV Características del SHBD.

CARACTERISTICAS	PARAMETROS
PH	7-7.5
% de Humedad	30-35
% de Sólidos	65-70
Densidad Aparente	0.20-0.35
% de Porosidad	55-75
% Retención de Agua	300-340

ALIMENTACION ANIMAL

El empleo de melaza, como fuente de energía metabolizable, ha sido el mayor destino de este otro coproducto, el cual es ampliamente requerido por empresas externas al ingenio, muchas de ellas trasnacionales, para elaborar alimentos balanceados, quedándose, de paso, con el valor agregado de los mismos. Desafortunadamente, las experiencias con el Programa Nutricional Ganadero "PRONUGA" (bloques nutricionales) quedaron en el olvido, perdiendo, otra vez, la posibilidad de industrialización interna.

Recientemente algunos trabajos se han dirigido hacia la preparación de forrajes, empleando punta de caña y melaza "ensiladas", y bagacillo cribado del "pachaquil", rico en jugo de caña; realizados ambos por el Colegio de Postgraduados Tabasco y Central Motzorongo.

Con el fin de incrementar la digestibilidad del bagazo, se hidroliza el material por medios físicos (vapor @ 1.4 MPa) en cuatro reactores discontinuos, agregándose melaza y urea en la carga, durante 25 /30 minutos de cocimiento (figura 11).

Figura 11.- Hidrolizadores en
Ingenio El Refugio, S.A. de C.V.

Los análisis del bagazo hidrolizado se presentan en la tabla V; lográndose un incremento importante en la digestibilidad del rumiante (>65%).

Tabla V Análisis bromatológico del bagazo hidrolizado.

Humedad	68.29%
Materia seca	31.71%
Fósforo	0.005%
Cenizas	3.8%
Proteína cruda	1.34%
Fibra cruda	63.17%
Grasa cruda	0.004%

Los resultados alcanzados en diferentes hatos ganaderos por la ingesta de este producto fueron presentados en 2010 durante el XXVII Congreso Internacional de la ISSCT[(2)].

OTROS PRODUCTOS

En el Ingenio El Refugio de Oaxaca, México, se reprodujeron setas comestibles de la variedad *Pleorotus ostreatus*, en bolsas con bagazo de caña (figura 12).

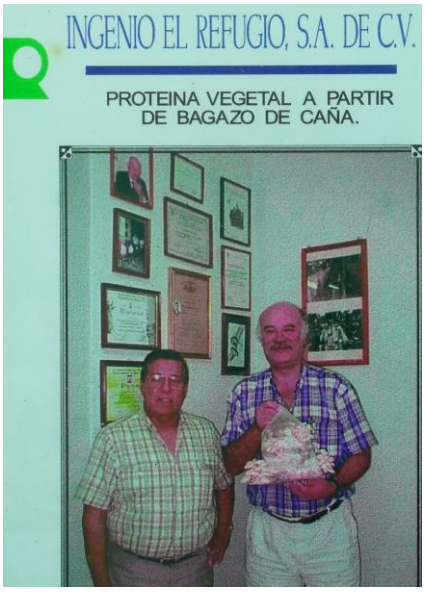


Figura 12.- Setas comestibles de la variedad *Pleorotus osteatrus*, en bolsas con bagazo de caña.

Otras producciones, tales como carbón activado y tableros aglomerados, se registraron y fracasaron por su nula competitividad con otros productos equivalentes de madera.

La producción de "bagacetas" contenedores hechos a partir de fibra de bagazo, tienden a reemplazar las bolsas plásticas para posturas forestales y viveros (figura 13).

Figura 13.- Bagacetas.

La obtención de celulosa a partir de bagazo representó, sin duda alguna durante muchos años, la punta de lanza hacia la diversificación de opciones para la caña, donde México ocupó durante muchos años un lugar preponderante en el contexto mundial, mismo que fue perdido cuando el precio del petróleo aumentó significativamente.

Con la incursión masiva hacia la cogeneración y venta de electricidad excedente, las fábricas han incrementado su eficiencia, generando excedentes importantes de bagazo, requiriéndose otra vez incentivar aprovechamientos colaterales, reto actual para los azucareros.

Esperemos que ahora si se haga realidad el pensamiento del *Che,* que se muestra en la pared del ICIDCA, y nos inspire a todos los que integramos esta gran familia del dulce.

"Llegará el día en que
los derivados de la caña de azúcar
tengan tanta importancia para la economía nacional
como la que hoy tiene el azúcar".

NOTAS

(1) Enríquez Poy, Manuel; Prado Reyes, Roberto. (2010). "Mejorando la productividad en el central azucarero mediante la integración de coproductos". International Society of Sugar Cane Technologists, Proceedings (Abstracts) of the XXXVIIth Congress, March 7—March 11, 2010, Veracruz, Mexico. (Hogarth, D.M. ed.). pp 140.
(2) Gómez Juárez, Israel. (2009). "Informe de evaluación del aprovechamiento de residuos de cosecha (paja) en cosecha mecanizada en el área de influencia de Central Motzorongo". Documento interno de Central Motzorongo, S.A. de C.V. pp 1-7.

Exposiciones comerciales

SILVER WEIBULL®

SILVER WEIBULL ®

TRUSTWORTHY LONG TERM PARTNER:

- HIGHEST CREDIT & SOLIDITY RATING
- ISO 9001 & ISO 14001 CERTIFICATES

ISO 9001

AAA
Highest weibullrankinnen
Sjökalkar 2012

UC
HIGHEST CREDIT WORTHINESS
Silver Weibull Sweden AB
556561-5228 | 2013-01-11

ISO 14001

SINCE 1922

SILVER WEIBULL®

SILVER WEIBULL SWEDEN GROUP

SILVER WEIBULL®

- ENGINEERING
- MARKETING
- TECHNICAL ASSISTANCE

- SPARE PARTS SUPPLY
- SERVICE
- COMMISSIONING

SILVER WEIBULL®
do Brasil

- SALES AND SPARE PARTS
- SERVICE
- TECHNICAL ASSISTANCE

SILVER WEIBULL®
PRODUCTION

- SUGAR CENTRIFUGAL MANUFACTURING
- ADVANCED HEAVY MACHINING
- ADVANCED HEAVY WELDING

PREVIOUS TRADE NAMES:

- ASEA – WEIBULL
- NILS WEIBULL
- ASEA
- ASEA – LANDSVERK

SILVER WEIBULL®

SILVER WEIBULL DELIVERIES TO MORE THAN 50 COUNTRIES ALL OVER THE WORLD

NORTH AMERICA

EUROPE

MIDDLE EAST

CENTRAL AMERICA

ASIA AND AUSTRALIA

SOUTH AMERICA

AFRICA

ALGERIA, ARGENTINA, AUSTRALIEN, BELGIUM, BRAZIL, CHINA, CONGO, CROATIA, CUBA, DENMARK, DOMINICAN REPUBLIC, FIJI, FINLAND, FRANCE, GREECE, HUNGARY, INDIA, INDONESIA, IRAN, IRAQ, IRELAND, ITALY, IVORY COAST, JAMAICA, LITHUANIA, MALAYSIA, MAURITIUS, MEXICO, MOROCCO, NEW ZEALAND, NICARAGUA, PAKISTAN, PHILIPPINES, POLAND, REUNION, RUMANIA, SAUDI ARABIA, SCOTLAND, SERBIA, SOUTH AFRICA, SPAIN, SWAZILAND, SWEDEN, SYRIA, TANZANIA, THAILAND, TRINIDAD, ENGLAND, USA, ZAIRE, ZAMBIA, ZANZIBAR, ZIMBABWE

SILVER WEIBULL®

SILVER WEIBULL DELIVERIES OF CENTRIFUGALS TO CUBA

ASEA WEIBULL BATCH CENTRIFUGALS

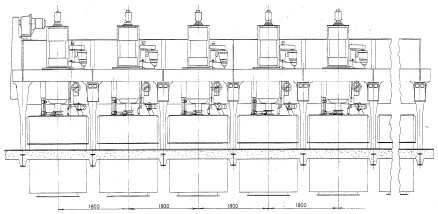
1974-75,	3 x C-1300
1976,	123 x C-1300
1976,	54 x CK-1300
1978,	20 x C-1300
1978,	42 x CK-1300
1979,	39 x C-1300
1979,	13 x CK-1300
1980,	40 x C-1300
1980,	38 x CK-1300
1981,	94 x C-1300
1981,	49 x CK-1300
1982,	46 x CK-1300
1983,	1 x AW-1200
1984,	36 x C-1300
1985,	18 x C-1300
1985,	3 x AW-1000

TOTAL BATCH CENTRIFUGALS: 619

ASEA WEIBULL CONTINUOUS CENTRIFUGALS

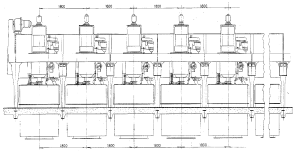
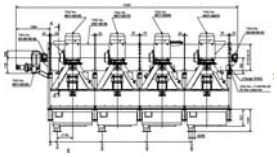
1980,	6 x SAW 3630
1981,	140 x SAW 3630

TOTAL CONTINUOUS CENTRIFUGALS: 146



SILVER WEIBULL®

COMPARISON ASEA WEIBULL CK-1300 WITH NEW SW-1500/E

CK-1300 ON CUBA

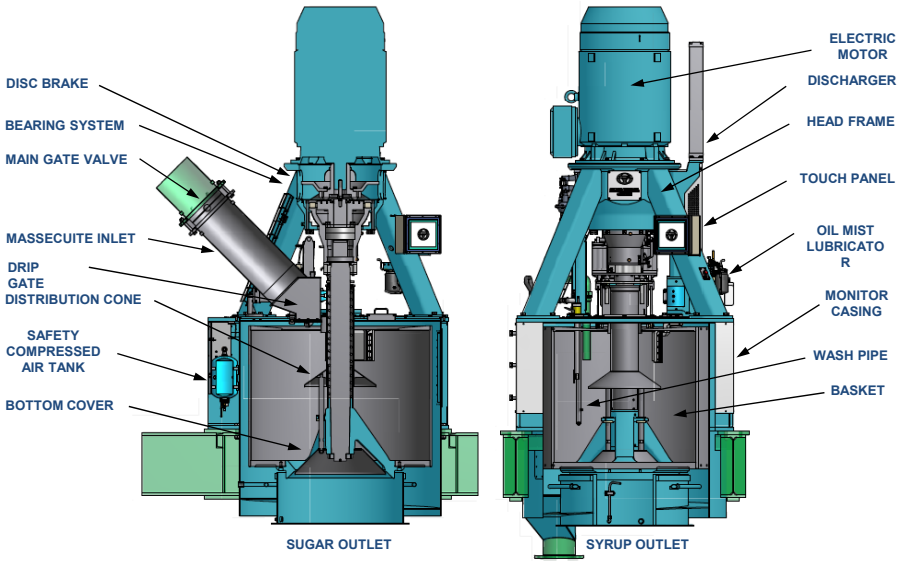
- DC MOTOR WITH COOLING AIR SUPPLY DUCT
- DC INVERTER
- RELAY LOGIC CONTROL
- 2° CONICAL CARBON STEEL BASKET, H/D=0,88
- CHARGE CAPACITY 1000 KG
- BAND BRAKE DRUM, TEMP. MAX 400°C
- ELECTRIC DRIVEN DISCHARGER, FIXED SPEED
- CONVENTIONAL PLOUGH BLADE
- STAFSJÖ SLIDING MAIN GATE
- BATTERY OPERATED OIL MIST LUBRICATION
- SKF DESIGNED BEARING SYSTEM
- ELECTRO MECHANICAL OSCILLATION SWITCH
- RUBBER UMBRELLA BOTTOM COVER
- STATIONARY WASH PIPE WITH SPRAY HOLES

NEW SW-1500/E

- AC TEFC MOTOR WITH COOLOING FAN
- AC PWM TRANSISTOR TECH. CONVERTER
- PLC CONTROL SYSTEM WITH TOUCH SCREEN
- CYLINDRICAL DUPLEX SS BASKET, H/D=0,74
- CHARGE CAPACITY 1500 KG
- DISC BRAKE, TEMP. MAX 920°C
- PNEUMATIC DISCHARGER, ADJUSTABLE SPEED
- PATENTED DOUBLE EDGE TIP PLOUGH BLADE
- BUTTERFLY MAIN GATE, AUTO CHARGE CONTROL
- INDIVIDUAL OIL MIST LUBRICATION
- SKF DESIGNED BEARING SYSTEM
- PATENTED 360° OSCILLATION SWITCH
- STAINLESS STEEL CONE BOTTOM COVER
- RETRACTABLE WASH PIPE WITH SPRAY NOZZLES

SILVER WEIBULL®

SW BATCH CENTRIFUGAL, E - MODEL

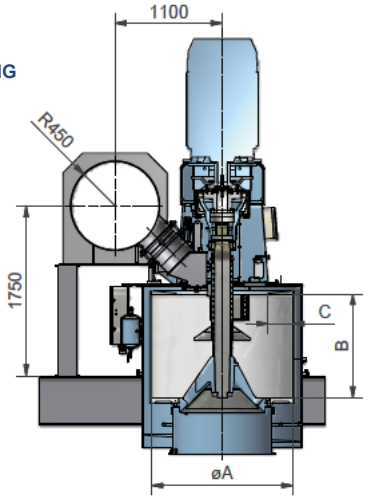


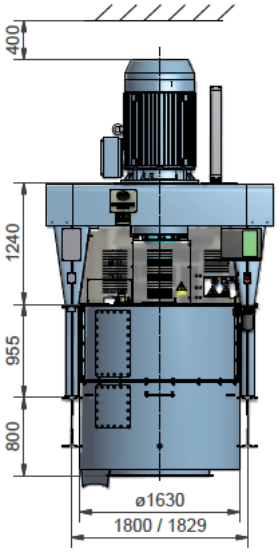
SILVER WEIBULL®

SW BATCH CENTRIFUGAL, BE - MODEL

PARTS AND TECHNOLOGY IDENTICAL WITH SW-1500/E
EXCEPT:

- FRAMEPOST
- CROSS BEAM
- MONITOR CASING
- C-C 1100 mm



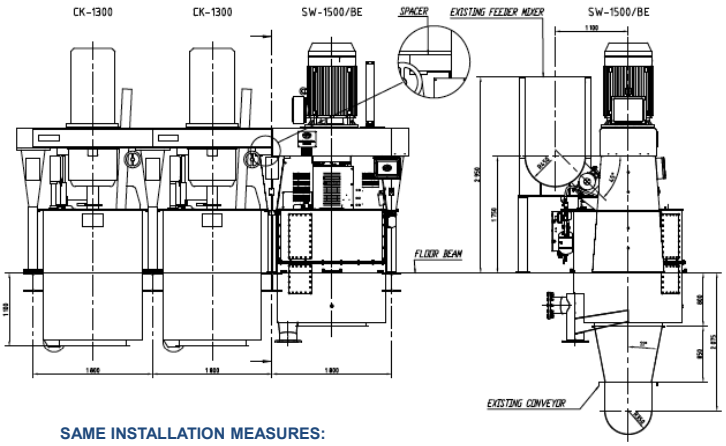


BASKET DIMENSIONS SW-1500/E:

A = 1450 mm
B = 1067 mm
C = 255 mm

SILVER WEIBULL®

EASY INSTALLATION OF SW-1500/BE IN CK-1300 BATTERY

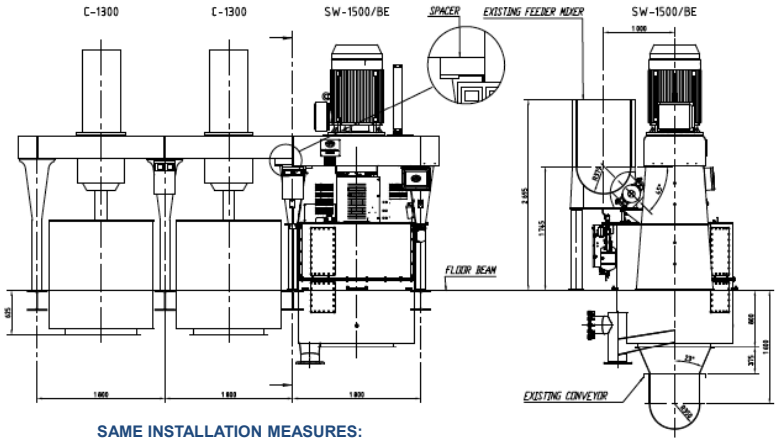


SAME INSTALLATION MEASURES:

- PITCH 1800 MM
- FEEDER MIXER - CFG 1100 MM
- FEEDER MIXER DIMENSIONS
- FEEDER MIXER SHAFT HEIGHT
- CONVERYOR - FLOOR BEAMS
- SUGAR CONVEYOR WIDTH
- EASY MODIFIED SYRUP PIPES
- EASY REINFORCED FLOOR BEAMS

SILVER WEIBULL®

EASY INSTALLATION OF SW-1500/BE IN C-1300 BATTERY

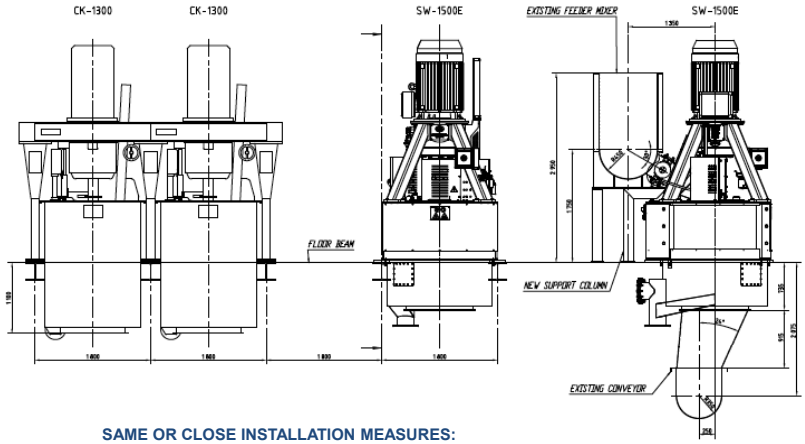


SAME INSTALLATION MEASURES:

- PITCH 1800 MM
- FEEDER MIXER - CFG 1000 MM
- FEEDER MIXER DIMENSIONS
- FEEDER MIXER SHAFT HEIGHT
- CONVERYOR - FLOOR BEAMS
- SUGAR CONVEYOR WIDTH
- EASY MODIFIED SYRUP PIPES
- EASY REINFORCED FLOOR BEAMS

SILVER WEIBULL®

EASY INSTALLATION OF SW-1500/E IN CK-1300 BATTERY

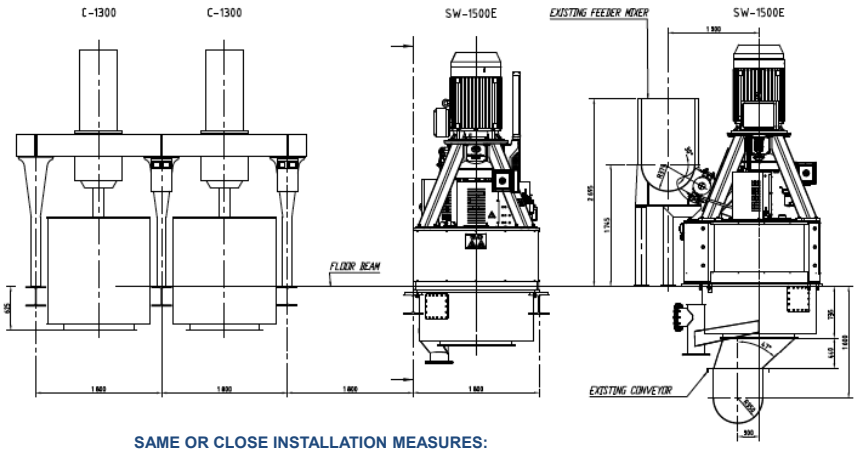


SAME OR CLOSE INSTALLATION MEASURES:

- PITCH 1800 MM
- FEEDER MIXER - CFG 1350 MM
- FEEDER MIXER DIMENSIONS
- FEEDER MIXER SHAFT HEIGHT
- CONVERYOR - FLOOR BEAMS
- SUGAR CONVEYOR WIDTH
- EASY MODIFIED SYRUP PIPES
- EASY REINFORCED FLOOR BEAMS

SILVER WEIBULL®

EASY INSTALLATION OF SW-1500/E IN C-1300 BATTERY

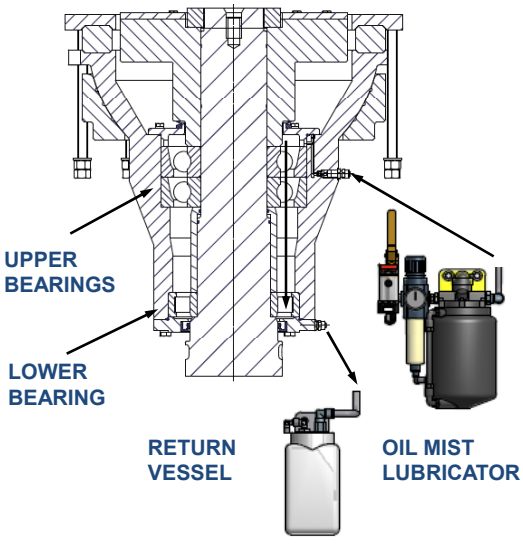


SAME OR CLOSE INSTALLATION MEASURES:

- PITCH 1800 MM
- FEEDER MIXER - CFG 1300 MM
- FEEDER MIXER DIMENSIONS
- FEEDER MIXER SHAFT HEIGHT
- CONVERYOR - FLOOR BEAMS
- SUGAR CONVEYOR WIDTH
- EASY MODIFIED SYRUP PIPES
- EASY REINFORCED FLOOR BEAMS

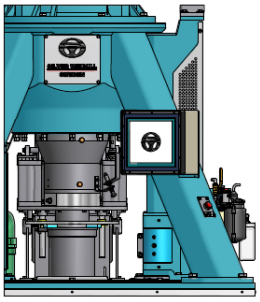
SILVER WEIBULL®

SKF OIL MIST LUBRICATED BEARING SYSTEM



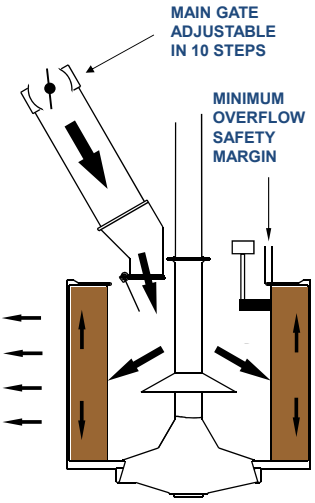
OIL MIST LUBRICATION

- OVER PRESSURE IN BEARING HOUSE
- COOLING EFFECT
- EFFECTIVE LUBRICATION
- KEEP DUST AND VAPOUR OUT



SILVER WEIBULL®

MASSECUITE INLET SYSTEM



PROBLEM:

- PREDICT THE MASSECUITE VOLUME ***AFTER*** THE MAIN GATE WHEN THE CHARGE INDICATOR SIGNALS

IDEA:

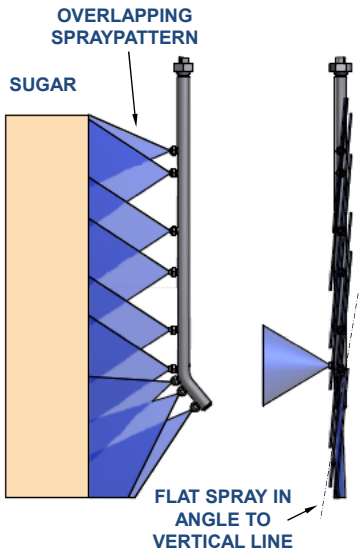
- THE BASKET VOLUME IS KNOWN AND THE CHARGE TIME CAN BE MEASURED
- THE MASSECUITE FLOW RATE IN NOW KNOWN
- THE MASSECUITE FLOW TIME FROM MAIN GATE TO CHARGE INDICATOR IS NEARLY CONSTANT

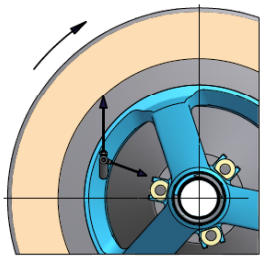
SOLUTION AND RESULT:

- COMPARE A CHARGE TARGET TIME WITH THE ACTUAL CHARGE TIME
- IF THESE TIMES DIFFER THE MAIN GATE OPENING WILL AUTOMATICALLY BE ADJUSTED
- THE MASSECUITE FLOW RATE WILL NOW BE CONSTANT FROM CHARGE TO CHARGE
- THE MARGINAL NEEDED TO ACCOMODATE THE INCOMING MASSECUITE CAN BE SET TO A MINIMUM
- CONSTANT CHARGING THICKNESS
- MAXIMUM BASKET CAPACITY UTILISATION WITHOUT RISK FOR MASSECUITE OVERFLOW
- MINIMISED WATER COSUMTION AS NO SAFETY MARGIN FOR THE WASH IS NEEDED

SILVER WEIBULL®

SUGAR WASH EQUIPMENT





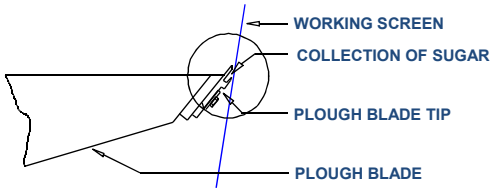
- OPTIMUM SPRAY ANGLE VERSUS ROTATING SUGAR SURFACE
- OVERLAPPING SPRAY NOZZLES
- LOW PRESSURE – MINIMUM DEFLECTION AGAINST THE SUGAR SURFACE
- SHORT DISTANCE BETWEEN WASH PIPE AND SUGAR SURFACE
- POSSIBILITY TO USE VARIOUS WASH MEDIA - WATER, STEAM, THIN JUICE, REMELT
- RETRACTABLE WASH PIPE

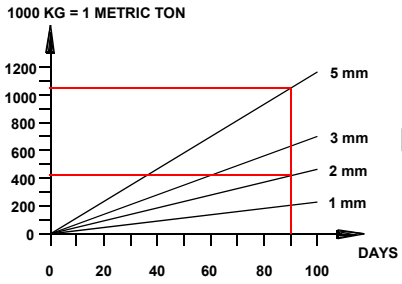
SILVER WEIBULL®

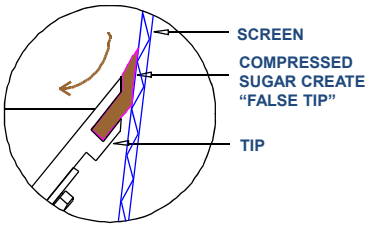
SILVER WEIBULL PATENTED PLOUGH SYSTEM

FEATURES

- 100% CLEAN SCREEN EVEN AT SCREEN LOC-LAP
- MINIMUM SCREEN WEAR: NO CONTACT WITH TIP
- RIGID DISCHARGER DESIGN
- MINIMUM HORIZONTAL FORCE DUE TO LOW PLOUGH BLADE
- VERTICAL PLOUGH MOVEMENT IN SHAFT DIRECTION FORCE OUT SUGAR

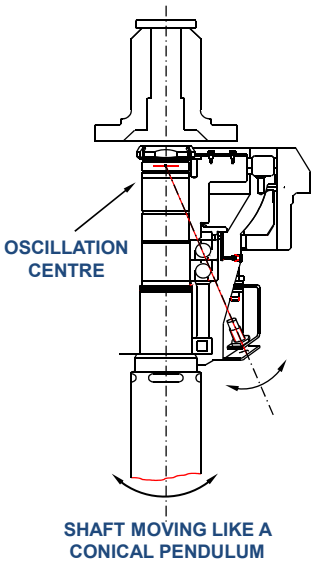


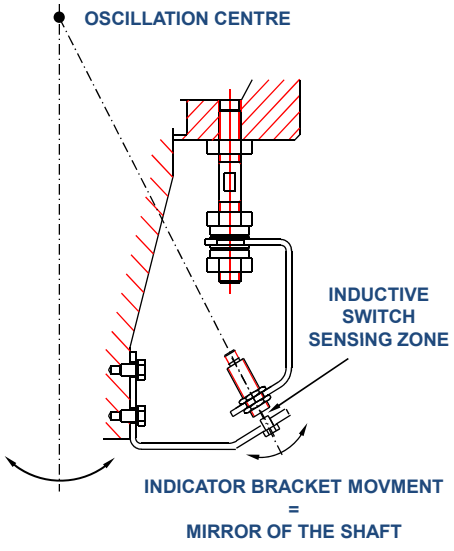




SILVER WEIBULL®

SILVER WEIBULL PATENTED OSCILLATION SENSOR



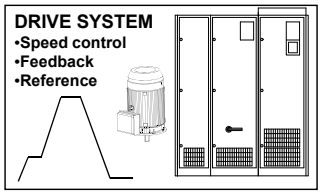


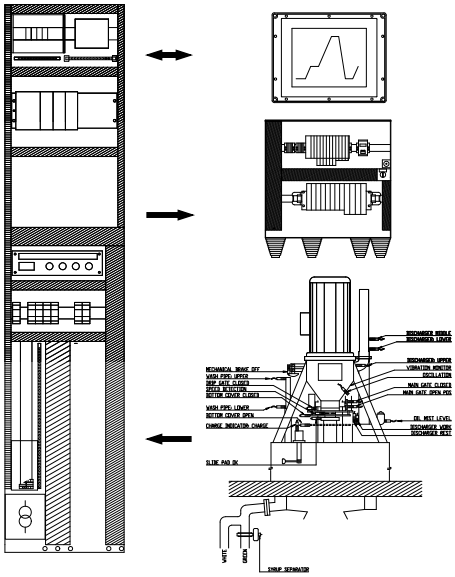
SILVER WEIBULL®

CONTROL SYSTEM PHILOSOPHY

FEATURES:

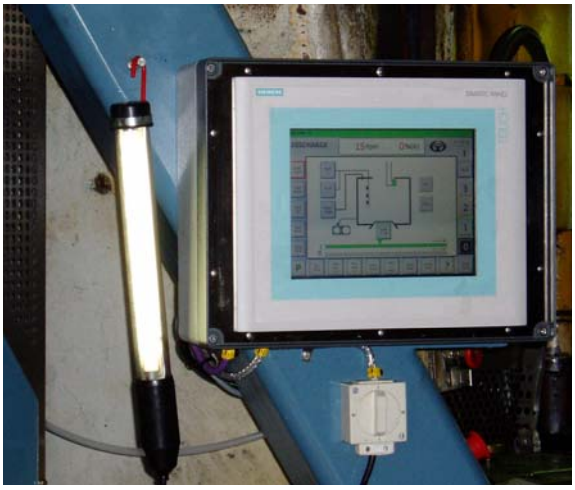
- CONTROL CUBICLE COMPLETE:
  - PLC
  - TRANSFORMER
  - TERMINALS
  - FUSES
  - CYCLE COUNTER
- TOUCH PANEL:
  - PROCESS CONTROL
  - PARAMETER SETTING
  - FAULT TRACING
- POSITION / LEVEL SWITCHES
- VALVE BOX:
  - DISTRIBUTED I/O
  - A/I SPEED CONVERTER
  - PNEUMATIC VALVES





SILVER WEIBULL®

CENTRIFUGAL CONTROL SYSTEM WITHTOUCH SCREEN



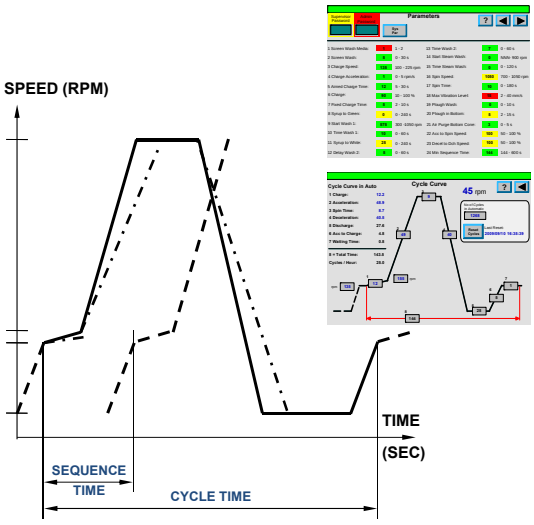
FEATURES OF THE THE TOUCH PANEL:

- CENTRIFUGAL OPERATION, MANUAL OR AUTOMATIC MODE
- PARAMETER SETTING
- BATTERY SEQENCE CONTROL
- ADVANCED FAULT TRACING
- CENTRIFUGAL CYCLE MONITORING
- REAL TIME INFO:
  - CURRENT
  - VIBRATION
  - SPEED
  - MOTOR TEMP.

SILVER WEIBULL®

TOUCH SCREEN, CYCLE DIAGRAM AND PARAMETERS

- PARAMETERS : GROUPED WITH PASS WORD
- CYCLE CURVE : CYCLE CURVE IN REAL TIME



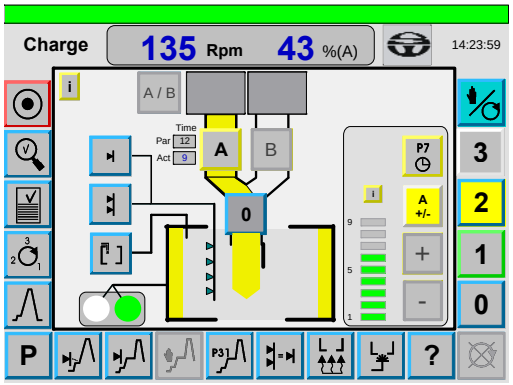
- SCREEN WASH MEDIA	(1 - 2)
- SCREEN WASH	(SEC)
- CHARGE SPEED	(RPM)
- CHARGE ACCELERATION	(RPM/S)
- AIMED CHARGE TIME	(SEC)
- FIXED CHARGE TIME	(SEC)
- SYRUP TO GREEN	(SEC)
- START WASH 1	(RPM)
- TIME WASH 1	(SEC)
- SYRUP TO WHITE	(SEC)
- DELAY WASH 2	(SEC)
- TIME WASH 2	(SEC)
- START STEAM WASH	(RPM)
- TIME STEAM WASH	(SEC)
- SPIN SPEED	(RPM)
- SPIN TIME	(SEC)
- MAX VIBRATION LEVEL	(MM/S)
- PLOUGH WASH	(SEC)
- PLOUGH IN BOTTOM	(SEC)
- AIR PURGE BOTTOM CONE	(SEC)
- ACC. TO SPIN SPEED	(%)
- DECEL TO DCH SPEED	(%)
- MIN SEQUENCE TIME	(SEC)
- WASH INLET/PLOUGH BLADE	(SEC)
- AIR PURGE DIST. CONE	(SEC)
- DISCHARGER MID PAUSE	(SEC)
- INTERMEDIATE SPEED	(RPM)
- TIME INTERMEDIATE SPEED	(SEC)

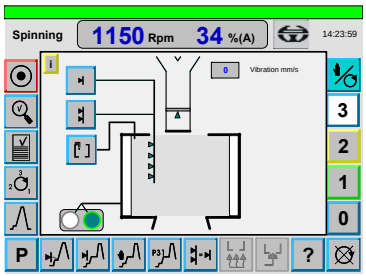
SILVER WEIBULL®

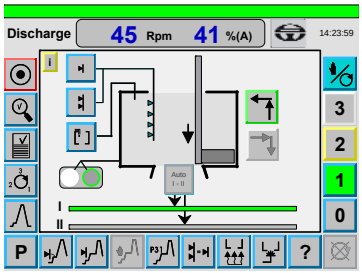
TOUCH SCREEN, OPERATIONAL SCREENS

OPERATIONAL SCREENS

- CHARGING : PROCESS AND ALL FUNCTIONS
- SPINNING : PROCESS AND ALL FUNCTIONS
- DISCHARGING : PROCESS AND ALL FUNCTIONS





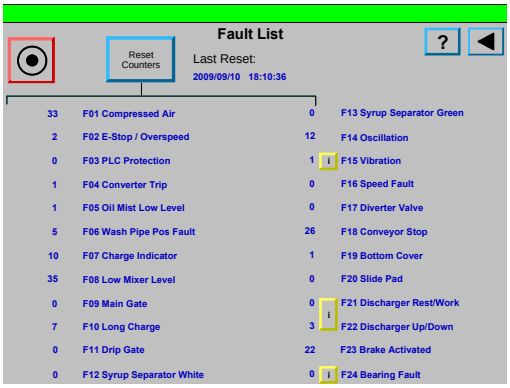


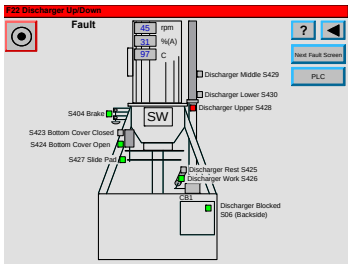
SILVER WEIBULL®

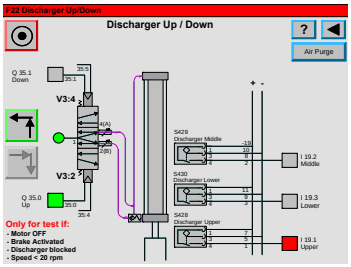
TOUCH SCREEN, EFFICIENT FAULT TRACING

QUICK FAULT TRACING SCREENS

- PROCESS : PRESS THE FAULT INDICATION BAR
- FAULT LIST : PRESS THE RED COLOURED FAULT
- FAULT : PRESS THE RED INDICATED FAULT
- DETAILED FAULT : THE FAULTY SIGNAL IS SHOWN RED







SILVER WEIBULL®

SILVER WEIBULL ®

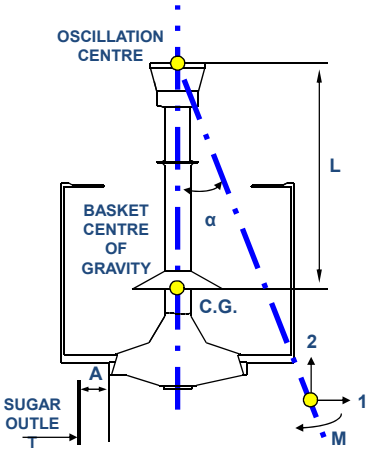
IF YOU HAVE ANY QUESTIONS, COMMENTS OR NEED MORE INFORMATION DO NOT HESITATE TO CONTACT OUR REPRESENTATIVE OR OUR OFFICE

SILVER WEIBULL SWEDEN AB
INDUSTRIGATAN 15
S-281 43 HÄSSLEHOLM, SWEDEN

TELEPHONE: +46-451-830 45
TELEFAX: +46-451 158 81
E-MAIL: info@silver-weibull.se

SILVER WEIBULL®

SUPERIOR DYNAMIC STABILITY GIVES EXCELENT ACCEPTANCE OF DIFFICULT MASSECUITES



CENTRIFUGAL STABILITY:

$$M=(J_1-J_2) \times \alpha \times \omega^2$$

C.G.	= BASKET CENTRE OF GRAVITY	
M	= GYROSCOPIC MOMENT	(NM)
J	= MASS MOMENT OF INERTIA	(KGM^2)
A	= ANGLE IN RADIANS	(RAD)
ω^2	= ROTATIONAL SPEED	(RAD/S)
α	= ARCSIN (L/A)	(RAD)

BASKET DIMENSION RELATION RULE:

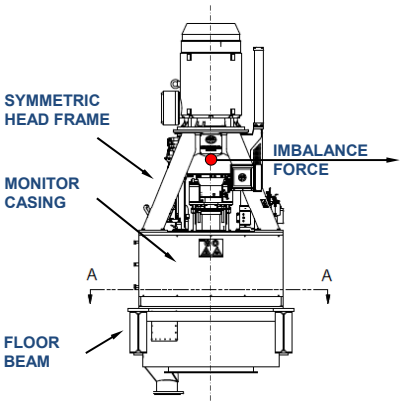
$0,65 < H/D < 0,80$

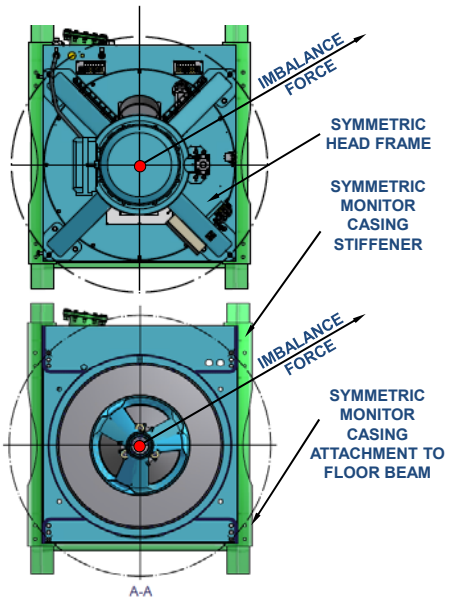
H = BASKET HEIGHT
D = BASKET DIAMETER

SILVER WEIBULL®

SYMMETRICAL FRAME GIVES EXCELLENT STABILITY

THE IMBALANCE FORCE FROM AN UNEVEN CHARGE IS TRANMITTED TO THE HEAD FRAME AND ALL THE WAY DOWN TO THE FLOOR BEAMS IT MEETS A SYMMETRICAL RESISTANCE





Atlas Copco Compressor Technique

Business Area Presentation 2013

Sustainable Productivity

Atlas Copco

Facts in brief

Founded in 1873 in Stockholm	The Atlas Copco Group	Atlas Copco Compressor Technique
Employees	39,800	16,300
Annual revenues	BSEK 90,5 (BEUR 10,5)	BSEK 34.7 (BEUR 4.0)
Operating margin	20.5 %	23.1%

Atlas Copco

These figures date from 2012.

The Atlas Copco Group

Board of Directors

President and CEO

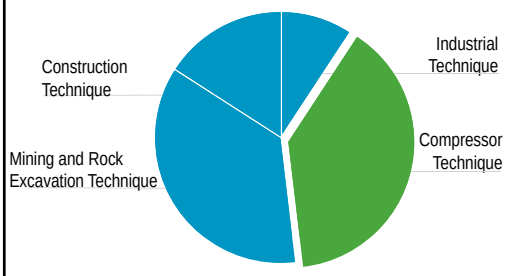
Executive Group Management and corporate functions

Compressor Technique	Industrial Technique	Mining and Rock Excavation Technique	Construction Technique
• Industrial Air • Oil-free Air • Gas and Process • Quality Air • Specialty Rental • Compressor Technique Service • Airtec	• MVI Tools and Assembly Systems • General Industry Tools and Assembly Systems • Chicago Pneumatic Tools • Industrial Technique Service	• Underground Rock Excavation • Surface Drilling • Drilling Solutions • Exploration and Geotechnical Drilling • Rock Drilling Tools • Mining and Rock Excavation Service • Rocktec	• Portable Energy • Road Construction Equipment • Construction Tools • Construction Technique Service

Customer centers and service providers

3

Revenues per business area

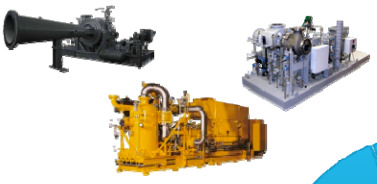


These figures date from 2012.

4

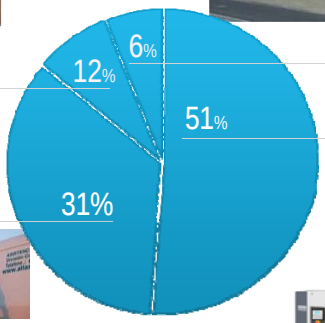
Compressor Technique

Product offering



Specialty rental

Gas compressors, expanders, cryogenic pumps

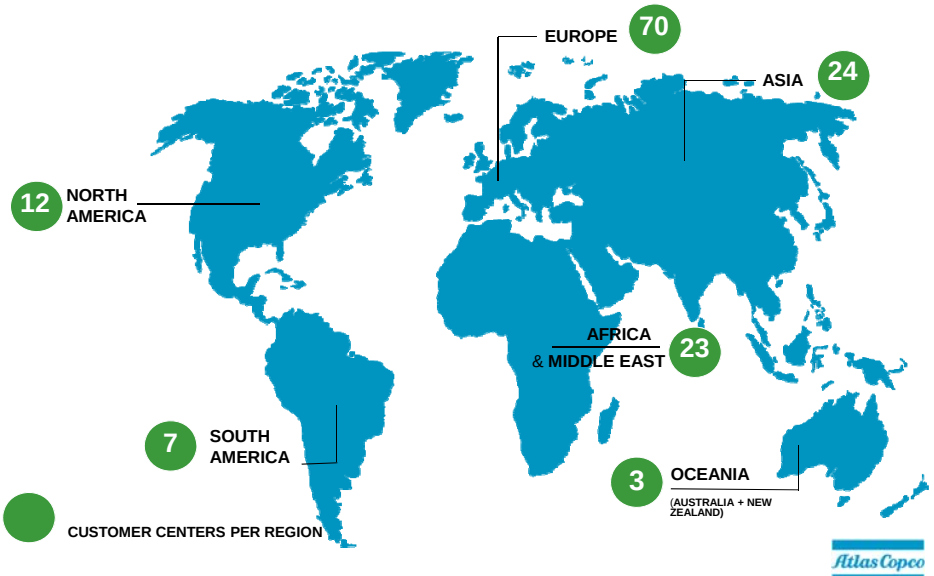


Compressed air equipment and solutions

Service

These figures date from 2012.

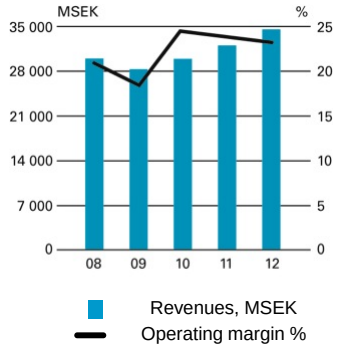
A global reach



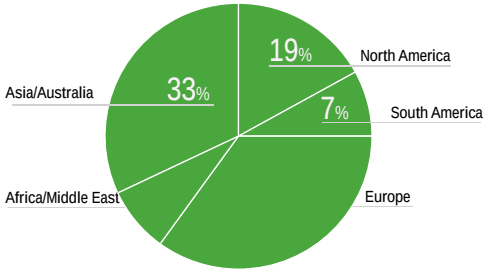
Stand Q1 2013

Profitable growth

Revenue development



Revenues per region

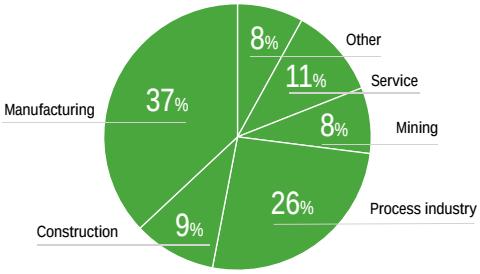


These figures date from 2012.

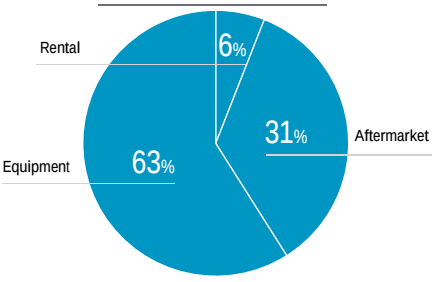
7

Revenue diversity

Orders received by customer category



Share of revenues



These figures date from 2012.

8

Supporting a wide variety of industries

Services & utilities | Oil & gas | Construction & mining | Food & beverages | Automotive & marine | Process & manufacturing

Chemical & petrochemical | Electronics & semiconductor | Textile | Medical & healthcare | Renewable energy | Air separation

Atlas Copco

9

Differentiated value propositions

Atlas Copco | Chicago Pneumatic

Atlas Copco

10

Brands per region

GLOBAL

REGIONAL

LOCAL

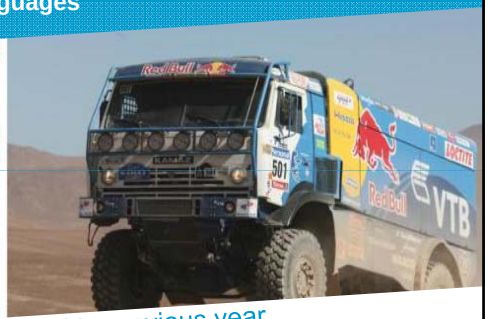
11

Customer loyalty is our reward

"Would you recommend Atlas Copco to a colleague or friend?"

87% of revenues surveyed
100,000 invitations sent
21% response rate

75 operating units
56 countries
48 languages



6% improvement compared to previous year

Based on 2012 figures.

12

Serving you sustainably

We help customers increase productivity and stay ahead of competition by:

- close, long-term customer relationships
- better solutions to reduce operational cost and increase up-time
- deliver responsive support anywhere and anytime

GLOBAL PRESENCE

24 HOUR OPERATION

WORLD CLASS LOGISTICS

DEDICATED & TRAINED PEOPLE

13

A business built on innovation, from product to solution

1904 Oil-free piston compressor

1930 Turbo expander

1952 Oil-free screw compressor

1964 Water-cooled piston compressor

1964 Single stage gear-driven centrifugal turbo compressor

1967 Compressor with asymmetric screw design

1969 MD adsorption dryer

1970 Centrifugal turbo compressor

1973 Silencing canopies

1976 Oil-injected screw compressor

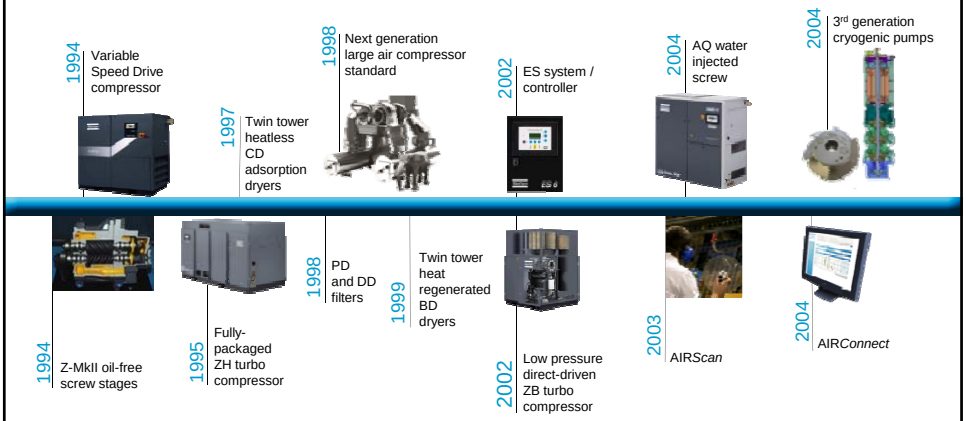
1979 Oil-free rotary tooth compressor

1986 Elektronikon®

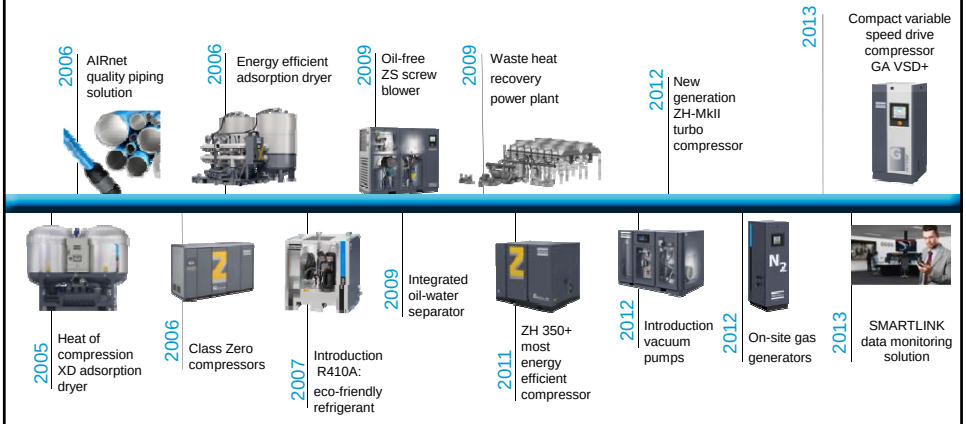
1987 H-Series centrifugal compressor

1993 Full Feature compressors with integrated dryers

Accelerating the speed of innovations



A business built on innovation, from product to solution



Value adding innovations

Core technologies

Innovation is in our genes

OIL-INJECTED SCREW TECHNOLOGY

- Reduced energy consumption
- GA 22 kW VSD (*)
  2012: 408 J/l at 7 bar (g)
  2013: 373 J/l at 7 bar (g)
- While increasing FAD!

OIL-FREE SCREW TECHNOLOGY

- Premium air quality
- Clearance of 30 micron at 350 km/h and 200°C

TURBO TECHNOLOGY

- 50 kW to megawatt powers
- Clearance of 300 micron at 1,000 km/h and 100 - 150°C

INTELLIGENT INTEGRATED CONTROLS

- Real-time processing and monitoring
- Flexibility and energy efficiency

Production facilities worldwide

Stand Q1 2013

Safety first

In everything we do

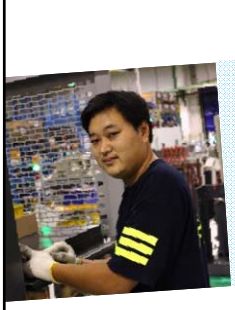
- Our goal - Zero accidents
- Creating a sustainable safety culture
- Global campaigns to create awareness
- Preventive actions and activity plans
- Enhanced safety program for service technicians

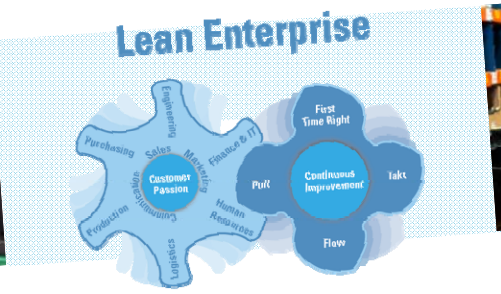
20

Lean management

Delivering customer satisfaction

- First time right
- Lead time reduction
- Continuous improvements
- On time delivery
- Supplier management





Atlas Copco

21

The best people

Today and tomorrow

- **Attract, develop and retain the right people**
- **Commitment to customer satisfaction**
- **Achieve lasting results**
- **Dynamic working environment**
- **“There is always a better way”**

- High ethical standards
- Gender, cultural and ethnical diversity
- Delegated responsibilities
- Internal job & project market

Atlas Copco

22

Sustainable development

90% of our employees work in **ISO 9001** certified companies
72% of our employees work in **ISO 14001** certified companies
82% of our employees work in **OHSAS 18001** certified companies

Targets

- All companies certified for ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001 by end of 2013
- Exceptions are newly acquired companies, less than 2 years in the Group

These figures date from Q1, 2013.

Community engagement

A good global citizen

- Sustainable water for more than a million people
- Preventive aids program, Southern Africa
- Running for a good cause, Belgium

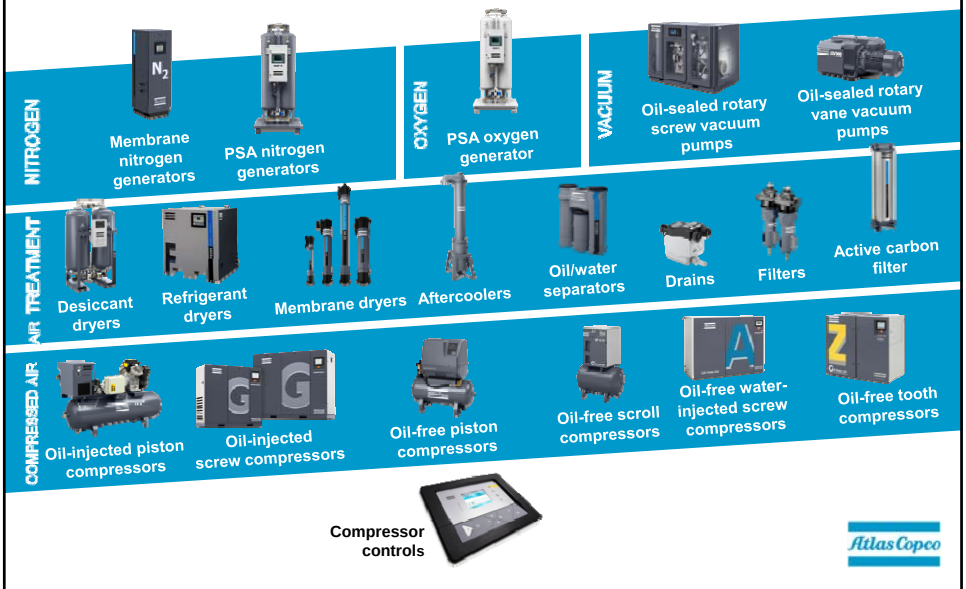
Industrial Air Division

Sustainable Productivity

Atlas Copco

25

Best-in-class products for each application



Atlas Copco

26

Industries

- General industry
- Printing and paper
- Automotive
- Electronics
- Marine
- Oil & gas

- Chemicals & pharmaceuticals
- ...

Atlas Copco

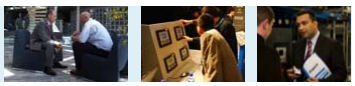
27

The Industrial Air strategic cornerstones

OPERATIONAL EXCELLENCE – Think globally, act locally

- US: Alabama, Illinois, Rock Hill
- Brazil: São Paolo

- Belgium: Antwerp
- France: Chambly
- Italy: Brendola, Robassomero
- Turkey: Istanbul
- China: Kunshan, Liuzhou, Shanghai, Wuxi, Guangzhou
- India: Pune



Train people
Create winning teams

Best-in-class products
for all applications

Meet energy and environmental needs
of the future

Serve customers
customer-centric DNA

Atlas Copco

28

Boosting presence through distribution

	Production	Manufacturing	Assembly	Service
Customers				
Values	Total Cost of Ownership		Reliability	Availability
Products	Oil-free	Variable Speed Drive	Oil Injected screw	Stationary Pistons Mobile Pistons
Market reach	Direct to customer	Channels to market: Service professionals	Equipment Distribution	Specialized Trading / Retail
Branding	Atlas Copco, Quincy, ALUP Kompressoren, AR	EKOMAK, IMARK, Chicago Pneumatic		ABAC

29

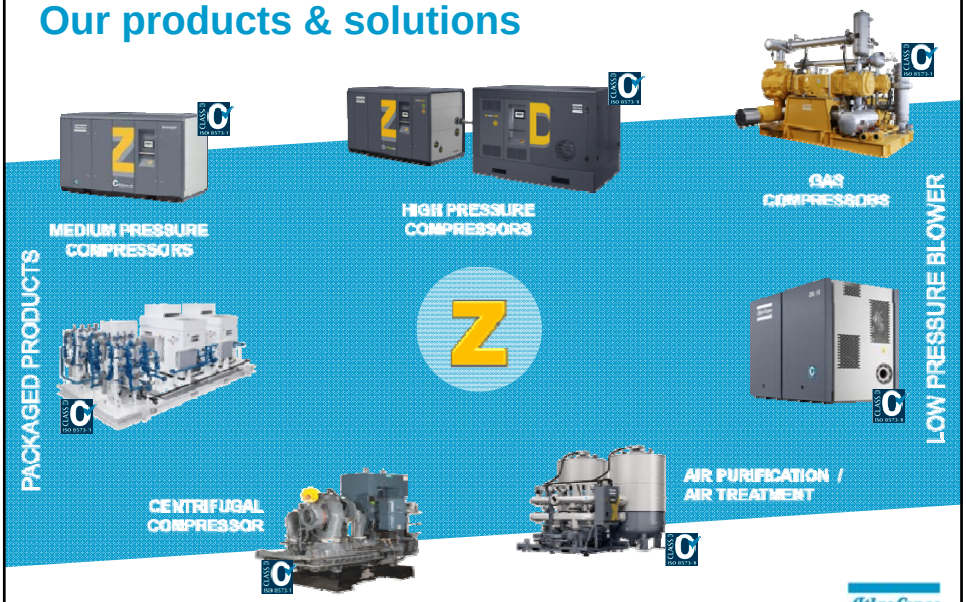
Oil-free Air Division

Sustainable Productivity

Atlas Copco

30

Our products & solutions



Atlas Copco

31

Applications

Automotive | Oil & gas | Paper | Food | Pharma-ceuticals | Electronics

Waste water treatment | Textile | Beverage | Chemicals | Power plants | Mining

Atlas Copco

32

Compressor Technique Service Division

Sustainable Productivity

33

Compressor Technique Service

Our offering

GENUINE PARTS
Protect your investment

CUSTOMER SUPPORT PLANS
Keeping your equipment fit at all times

AIR OPTIMIZATION
Checking your air and saving energy

MONITORING & CONTROL
Inside view on your operations

34

The strategy

WE DELIVER, ANYWHERE AND ANYTIME

With our global reach and local presence we are close to our customers, wherever they are

Offering services that continuously deliver a clear value for our customers

- Increased productivity by focusing on up-time and quality performance
- Reduced cost of ownership by energy efficient solutions throughout the customers' entire process
- Safe operations with focus on environmental impact

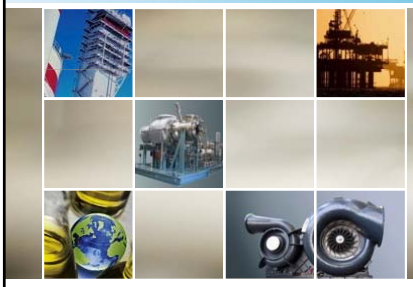
Anticipate tomorrow's needs

- With our broad experience and customer insight we develop solutions that will keep our customers' productivity ahead of the competition

Atlas Copco

35

Gas and Process Division

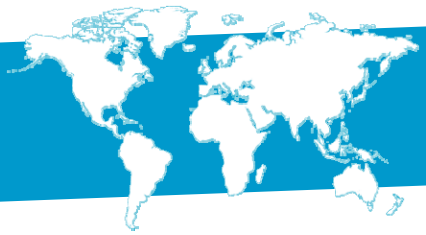


Sustainable Productivity

Atlas Copco

36

More drive to move the world



Atlas Copco Gas and Process is an international player proud of its local presence across the world, with manufacturing and application centers on three continents.

The Americas
- Voorheesville, NY, USA
- Santa Maria, CA, USA
- Costa Mesa, CA, USA

Europe
- Cologne, Germany

Asia
- Shanghai, China
- Pune, India

Application engineering

Packaging

Site support

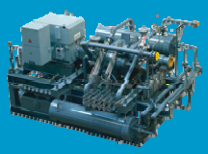
Atlas Copco

37

Big performance in a compact package

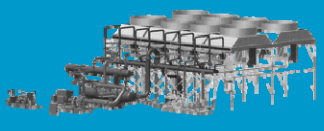
Our spirit of innovation is powered by 130 years of engineering experience.
More than a supplier of innovative equipment, we are a partner whose success builds on strong customer relationships and absolute commitment.

COMPRESSOR



EXPANDER

CRYOGENIC



ENERGY RECOVERY SOLUTION

Atlas Copco

38

Performance across industries

Our equipment reliably supports a growing range of industries, and we bring this wealth of experience to every new project. What's more, our expert service across the globe and around the clock ensures operation that never skips a beat.

More opportunity in the air

More productivity around the clock

More clean energy around the clock

More service in more places

Atlas Copco

39

With you all the way

Because we strive to build lasting relationships with our customers and are there when- and wherever they need support, the Atlas Copco journey can last a lifetime. At each stop, there's always more to discover.

CUSTOMER-SPECIFIC SUPPORT FROM THE START

FEED* / EPC** | ORDER | INSTALLATION | MAINTENANCE

Process optimization and equipment pre-selection / Customization and product specification

- Detailed process know-how that drives optimized solutions
- Products tailored to highest customer requirements and specifications

Project management and quality assurance

- Customer-focused project execution to ensure satisfying delivery
- Rigorous quality-management guidelines and procedures
- Speedy installation by our erection and commissioning teams

Global aftermarket

- Lifelong service responsibility guarantee for our machines
- Global service network of dedicated experts

*Front-end engineering & design / ** Engineering/procurement/construction

Atlas Copco

40

Specialty Rental Division

Sustainable Productivity

Atlas Copco

Key sectors & applications

ENERGY SECTOR

- Oil & Gas Upstream
- Oil & Gas Midstream
- Oil & Gas Downstream
- Electricity sector

Applications:
- Seismic exploration
- Well testing
- Production and Maintenance
- Pipelines & LNG testing

- Process Air
- Catalyst regeneration
- Drying/Purging
- Blanketing
- …

GENERAL INDUSTRY

- Food & beverage
- Pharmaceutical
- Electronics
- Air separation

Glass
Automotive
…

Applications:
- Instrument air
- Process air
- Plant air
- …

OTHER SECTORS

- Mining
- Drilling

Applications:
- Geo Thermal
- Under Balanced
- Shale Gas
- Coal Bed Methane

Atlas Copco

42

Specialty Rental division

Products

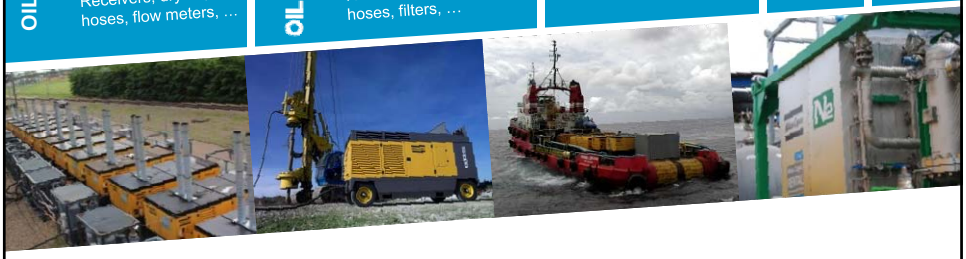
OIL-FREE AIR
- **Diesel driven** PTS/PNS
- **Electric driven** Z-range, PTE, boosters
- **Accessories** Receivers, dryers, hoses, flow meters, …

OIL INJECTED AIR
- **Diesel driven** XA-range, XR-range, boosters
- **Electric driven** GA-range
- **Accessories** Receivers, dryers, hoses, filters, …

OFFSHORE
- **Rig Safe compressors**
- **Zone II compressors**
- **Steam boilers**

POWER

NITROGEN



Atlas Copco

Total Solution Concept

More than products

Design of the temporary installation
- Technical feasibility
  - Reliability
  - Quality air
- Safety
- Energy efficiency
- Easy to install

Logistical services
- Transport
- Import / export
- Certificates
- Loading & start up guidelines

Services
- Installation
- 24/7 service
- Maintenance
- Supervision
- On site operators
- Decommissioning

Energy management
- Fuel tanks
- Fuel supply on request
- Electrical transformers
- Distribution boards

Atlas Copco

Quality Air Division

Sustainable Productivity

45

Quality Air – products and solutions

Our offering

Drying

Filtration

Cooling and water separation

Air treatment

Drying
Filtration
Upgrading

Gas purification

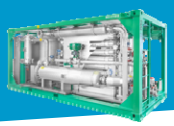
Medical equipment

Condensate treatment

Drains
Oil/water separators

Gas generation

Nitrogen
Oxygen



46

Excellence in environmental care

- Excellence in air and gas treatment
- Pure air and gas guaranteed
- Cutting the edge on efficiency costs and CO_2 emissions
- Low pressure drop and low purge also means low indirect energy consumption
- Specialists in clean air for hospitals and pharmaceutical applications
- Use of low Global Warming Potential refrigerants
- Condensate treatment solutions to protect water and wildlife

47

Airtec Division

Sustainable Productivity

48

Divisional strategy

Providers of world class air efficiency

- Innovation leader in compressor core components
- Leading in quality, energy efficiency and life time cost

Atlas Copco

49

Our products

OIL-FREE SCREW STAGES

OIL-INJECTED SCREW STAGES

OIL-FREE TOOTH ELEMENTS

WATER-INJECTED SCREW STAGES

CENTRIFUGAL COMPRESSORS

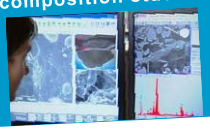
COOLERS

Atlas Copco

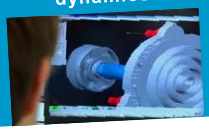
50

Airtec services

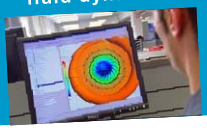
Topography & composition studies



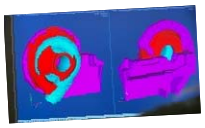
Multi body dynamics



Computational fluid dynamics



Automatic and computer aided testing



Topology optimization

Optical microscope

Finite element calculations

51

Committed to sustainable productivity.

SISTEMAS INTEGRALES PARA EL MANEJO DE FLUIDOS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

Dr. Héctor Jaramillo Moreno, Grupo Zuker - Novatec Fluid System S.A., Colombia.

RESUMEN

En los ingenios, la calidad del azúcar está asociada directamente a la eficiencia del proceso de clarificación sea jugo y/o de la meladura. La falta de un tratamiento químico eficaz y el uso de tecnología inadecuada, agravan seriamente la calidad y la económica de una empresa azucarera; el manejo del conocimiento de fluidos que permita escoger los equipos o sistemas de dosificación adecuados, permiten la aplicación de una dosis óptima, obteniéndose un azúcar de mejor calidad, a menor costo de insumos químicos, con incidencia directa en la remoción de partículas colídales y arrastre de impurezas.

SISTEMAS

Los sistemas integrales de dosificación de **NOVATEC FLUID SYSTEM S.A**.; están diseñados para lograr: menor gasto de producto químico, y una mayor eficiencia de producción, sea en la decoloración, en la floculación u otro cualquier tipo de aplicación de productos químicos o manejo integral de fluidos, todo ello depende de una buena selección de los equipos o sistemas, según sea el caso. La selección del sistema que permita una buena preparación, y una dosificación controlada: en forma segura, regulada y precisa, es la clave del éxito y la solución para uno de los tema de mayor polémica en la industria azucarera “costos por el uso irracional de productos químicos”.

En los sistemas integrales de dosificación, todos los equipos son seleccionados y dimensionados para una correcta operación, teniendo en cuenta las características particulares de los reactivos tales como viscosidad, pH, presión, flujo y temperatura, pueden tener como complementos sistemas de dilución en línea que se pueden operar de manera manual o automática. Los sistemas integrales de dosificación, no requieren de obras civiles especiales y minimizan el área requerida para su instalación, simplifican el mantenimiento y optimizan las acometidas hidráulicas y eléctricas.

Es importante señalar, que solo podremos obtener mejoras significativas en la eficiencia de los procesos, cuando se realizan los servicio post venta periódicamente y este importante servicio para las industrias de México, se logra a través de los acuerdos de alianza tecnológica para la fabricación y asesoría ya pactado con el **GRUPO ZUKER;** garantizando la selección adecuada del equipamiento, la fabricación y ensamble de todos los equipos, instrumentos y accesorios suministrados; e interconectados y montados en una estructura o skid común, con su interconexión tanto hidráulica, como eléctrica y respaldados con nuestra asesoría de montaje y puesta en marcha para todas nuestras tecnologías.

“Análisis de la Co-Generacíon Industrial en los Ingenios Azucareros”

Sr. Marcillo Reinaux / Areva Renovables.

La producción de energía eléctrica a partir del uso de biomasa de la caña de azúcar es una vía importante para disminuir su costo de producción.

Si utilizamos las puntas y las hojas como parte del bagazo, podemos disponer de alrededor de 214 kg de combustible / ton de caña molida, lo que muestra claramente el potencial existente en la caña de azúcar para convertirse en una importante fuente de producción de energía eléctrica mediante plantas diseñadas y concebidas con calderas preparadas para la quema eficiente de la biomasa.

Para lograr estos objetivos es necesario modernizar los Ingenios Azucareros encaminando los esfuerzos a los siguientes temas:

1. Instalación o adecuacion de las calderas para lograr el incremento de la presion y la temperatura del vapor.

2. Sustitucion de las turbinas de vapor por motores electricos en el proceso de produccion de azúcar.

3. Instalacion de turbinas de alta eficiencia para los generadores de vapor que trabajen con ciclos de contra-presion y condensacion con bajos indices de consumo de vapor mediante el uso de vapor de alta presion y temperatura.

Un Ingenio Azucarero utilizando biomasa como combustible donde se incluyan las puntas y las hojas de la caña como parte del bagazo, puede generar alrededor de 225 kw / toneladas de caña molida.

Con esto podemos considerar que un ingenio puede garantizar su consumo propio de energía eléctrica y entregar al sistema nacional una cantidad de 186 kw. / toneladas de caña molida.

En resumen podemos asegurar que la Industria Azucarera cuenta con un potencial no explotado de forma eficiente para la producción de energía eléctrica a partir del uso de la biomasa en la caña como combustible.

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Agricultura de Precisión: Tecnología de bajo Costo y alto impacto en El cultivo de Caña de azúcar

Catalina Delgado
Ing. Agrónoma

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

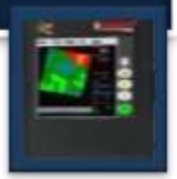
Innovaciones Tecnológicas para la Producción Agropecuaria

Verion ICSA
Calle 89 Int. M Campos 1617 General San Martín, Buenos Aires, Argentina.
Tel/Fax: +54 (11) 4724-1300 / 4754-0044

http://www.agriculturaverion.com/

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

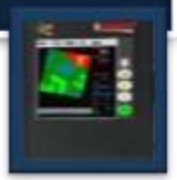
AGRICULTURA DE PRECISIÓN



El concepto sobre el que se basa la agricultura de precisión es aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos

VERION

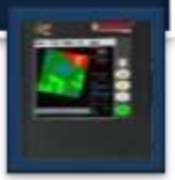
AGRICULTURA DE PRECISIÓN



Agricultura de Convencional Vs Agricultura de Precisión	
No considera la variabilidad espacial *Área total considerada homogénea*	*Considera la variabilidad espacial* *Área total considerada heterogénea*
Recomendaciones hechas a partir de promedios	*Recomendación especifica para cada ambiente*
Aplicación de insumos realizada con la misma dosificación en el total del área	*La aplicación de insumos es realizada de manera localizada y en tasa variada*
No se tiene Registros reales y precisos de las aplicaciones	*Se cuenta con registros georeferenciados de las aplicaciones realizadas.*

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

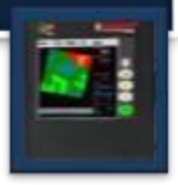
Beneficios



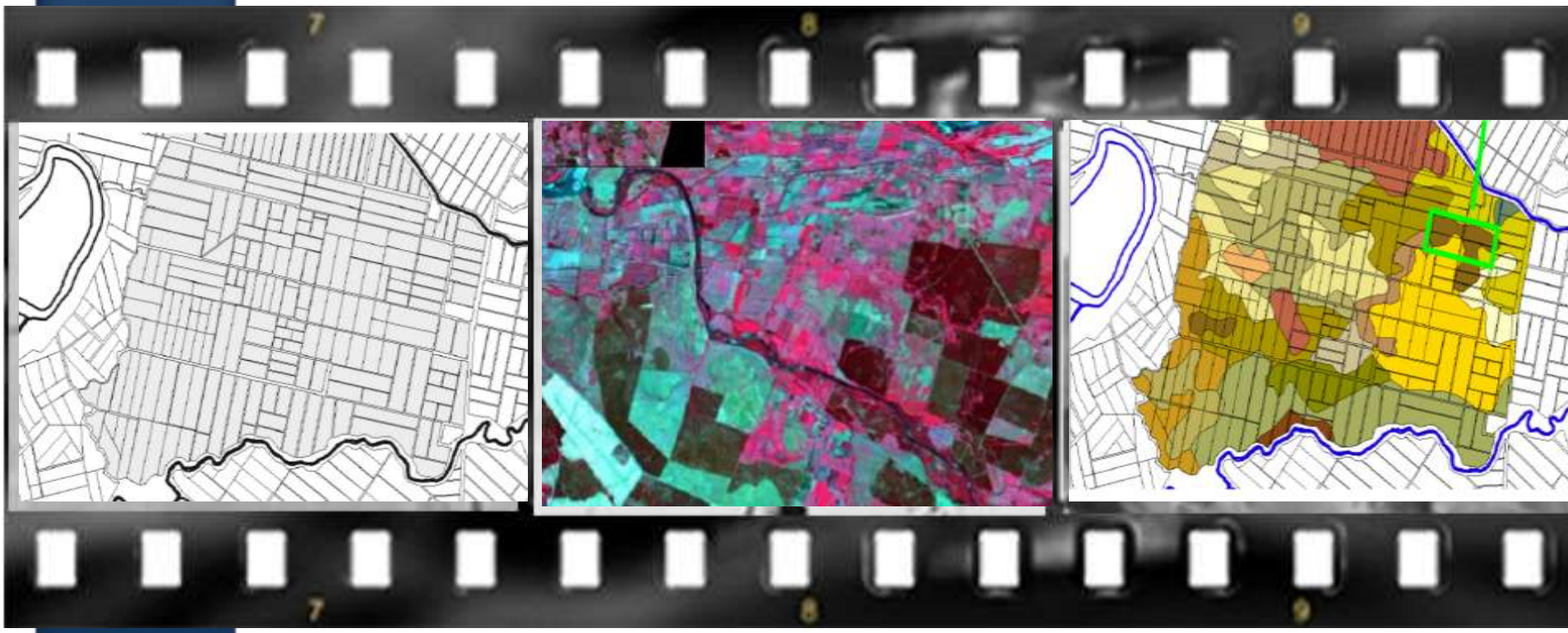
- Beneficios operativos
- Beneficios productivos
- Beneficios en la mejor utilización de insumos
- Beneficios informativos

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN



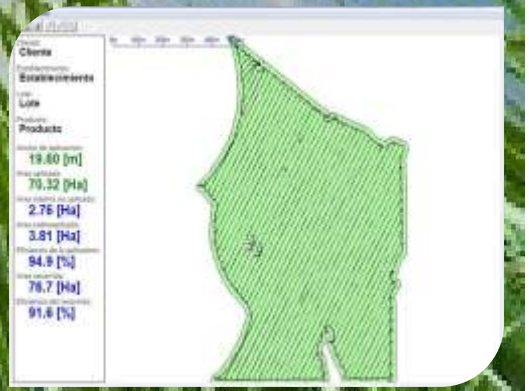
homogeneidad 1997 Heterogeneidad 2006 Manejo por Ambientes



VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

SOLUCIONES INTEGRALES



VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Verion ® Agricultura es una empresa que a trabajado desde sus comienzos con un único y claro objetivo, desarrollar una herramienta integral que de solución a todas las necesidades de las diferentes actividades Agrícolas en todo su ciclo productivo.

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Nuestro alcance en las tareas agrícolas, puede clasificarse en 6 grandes áreas

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Muestreo Georeferenciado

Control de la aplicación de productos

Sistema guía de aplicación y piloto automático

Registro de datos y análisis de información

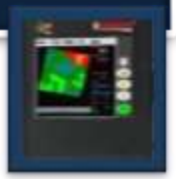
Gestión Remota Vehicular

Maquinaria Agrícola Diseñada para cada nicho de mercado

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Control de la aplicación de productos



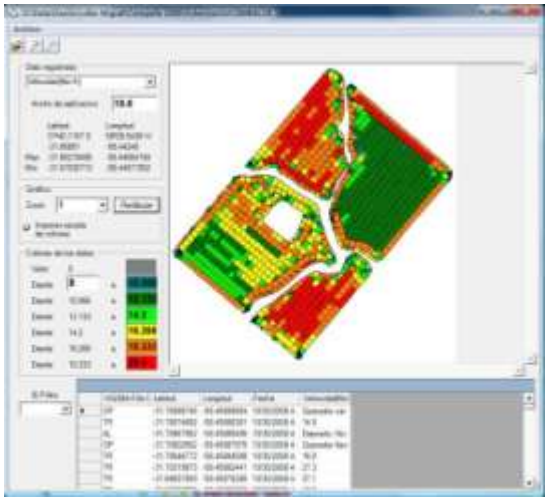
Disponible en dos tamaños (5.6 y 8.4) tiene la capacidad de controlar **3 productos** sólidos o líquidos, de monitorear la caída de los mismos. Los productos pueden ser controlados en tasa fija manual, o en tasa variable a través de mapas de aplicación georeferenciados por GPS.

Realiza registro de todos los datos medidos durante la operación.

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Control de la aplicación de productos

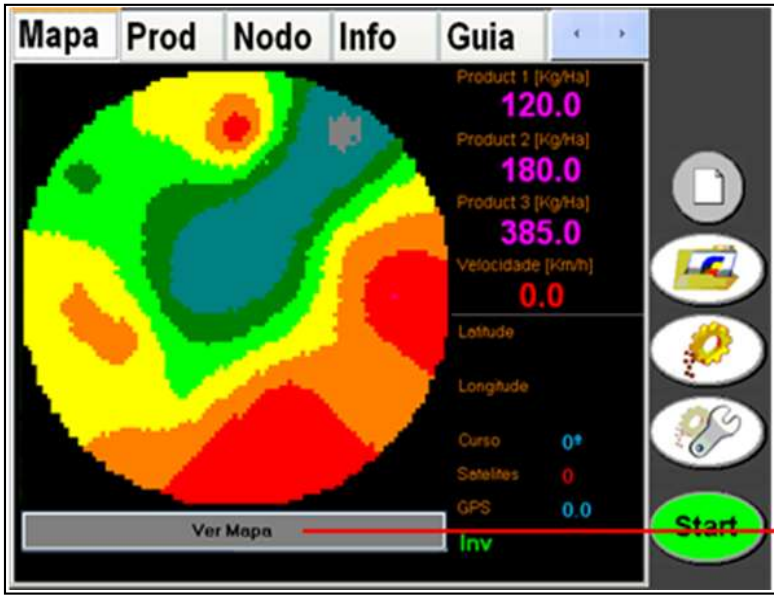
Siembra y Fertilización Solida



VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Permite realizar la aplicaciones por ambientes a través de mapas de prescripción georeferenciado. Esta función permite un ahorro significativo de producto mejorando la relación costo/beneficio de la aplicación y favoreciendo la gestión ambiental del establecimiento.



VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Fertilización Solida

Riopaila Castilla, Colombia
2010

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Fertilización Líquida

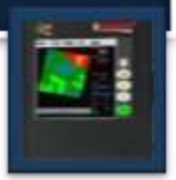
Servisurco , Colombia 2012

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Fertilización Líquida – Manuelita, Colombia 2012

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

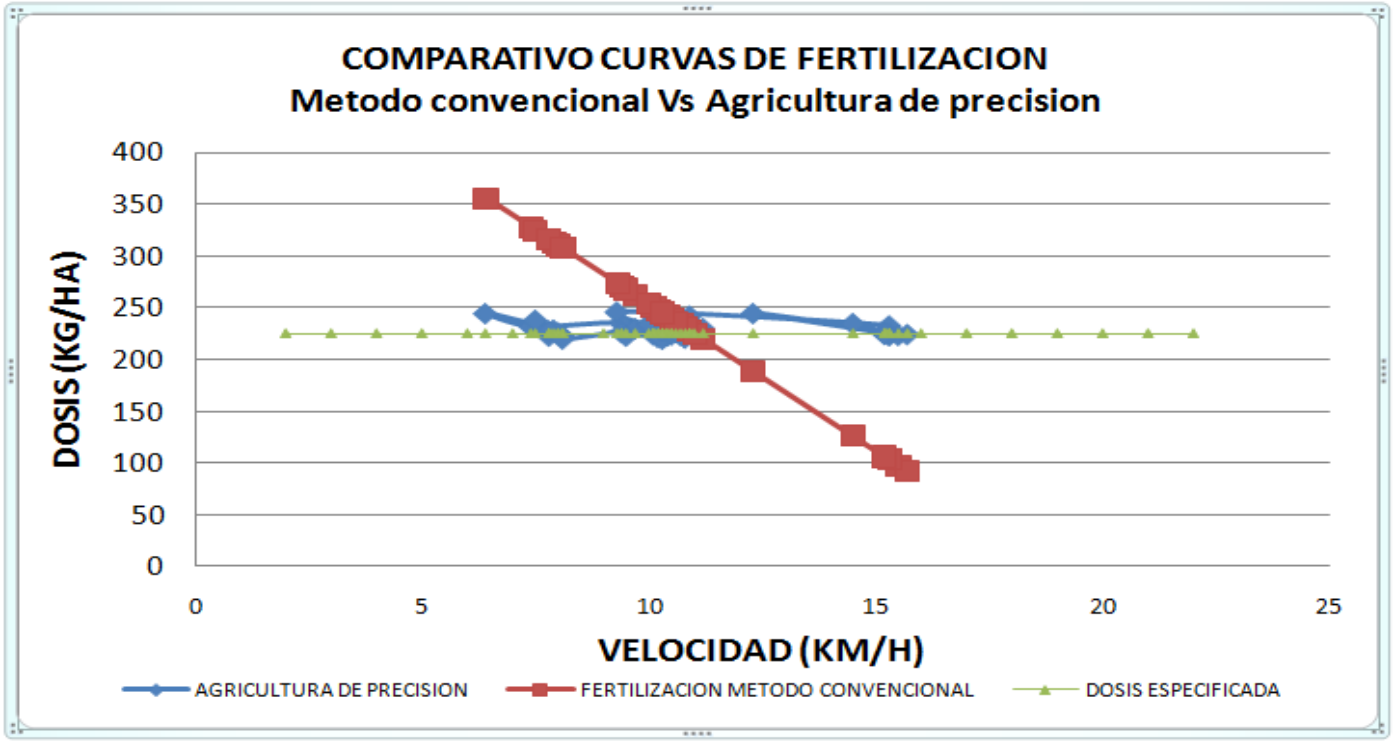


Control de labores de Subsuelo

Manuelita, Colombia 2012

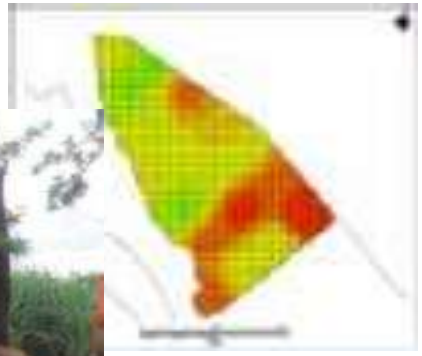
VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Control Aplicaciones a Tasa Fija
Mayaguez, Colombia



VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

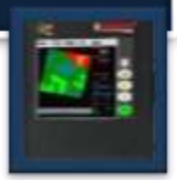
Aplicaciones en Tasa variada



		Fósforo (P2O5)		Potássio (K2O)	
	Área do talhão	Total Utilizado (kg)	Média (kg/ha)	Total Utilizado (kg)	Média (kg/ha)
Taxa Fixa (06-30-24)	37,76	6.796,80	180,00	5.437,44	144,00
Taxa Variável	37,76	8.598,72	227,72	3.563,40	94,37
Diferença		26,51%	26,51%	-34,47%	-34,47%

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Aplicaciones en Tasa variada
Riopaila-Castilla /Colombia

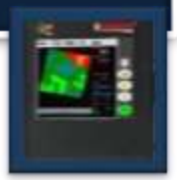


Beneficios de la Tasa Variada en productividad y racionalización de insumos.

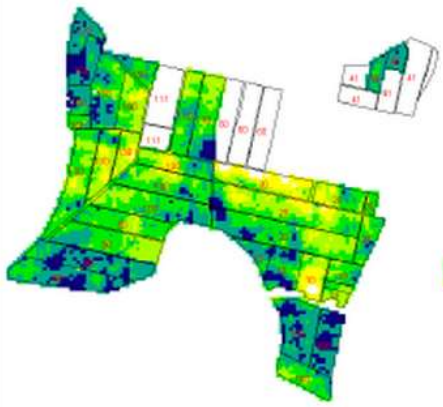
año	area aplicada en TV (ha)	Urea racionalizada (ton)	Ahorro en úrea (M$)	KCl racionalizado (ton)	Ahorro en KCl (M$)	TCH TV	TCH Trad.
2008	12.147	526	463	(14)	(12)	131	117
2009	12.883	547	536	56	99	117	109
2010	12.028	472	427	41	45	115	107
promedio	12.353	515	475	28	44	121	111

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

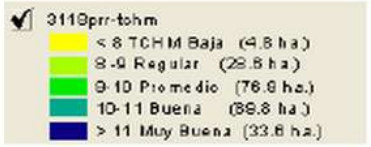
Aplicaciones en Tasa variada
Riopaila-Castilla /Colombia

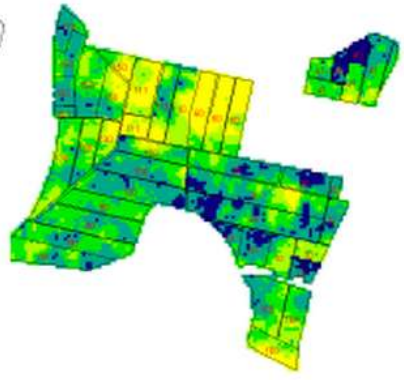


Evolución TCHM, variabilidad espacial de la productividad.

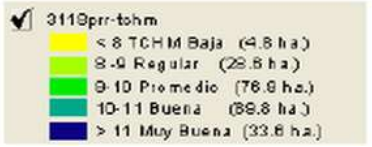


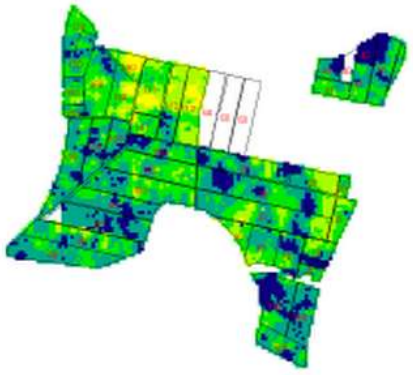
2008



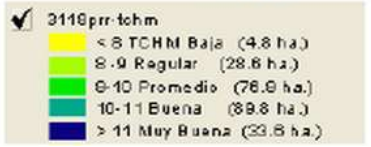


2009





2010

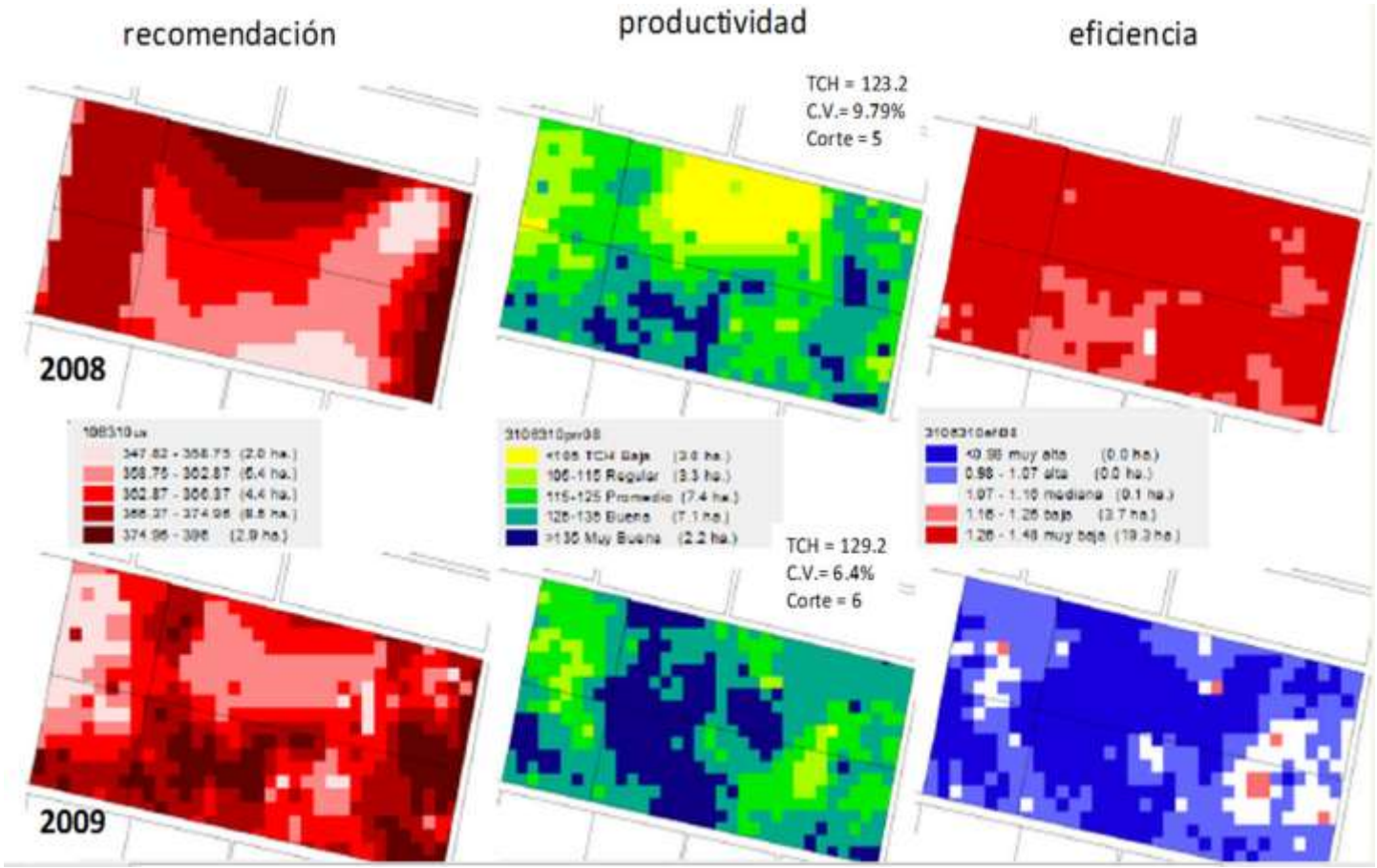


VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Aplicaciones en Tasa variada

Riopaila-Castilla /Colombia



VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Aplicaciones en Tasa variada
Brasil

Tabela 2 - Resultados da simulação de aplicação de calcário e fósforo em taxa fixa e em taxa variada.

Fazenda	Calcário Tradicional		Calcário Taxa Variável		Fósforo Tradicional		Fósforo Taxa Variável	
	Média (t/ha)	Total (t)	Média (t/ha)	Total (t)	Média (kg/ha)	Total (t)	Média (kg/ha)	Total (t)
2	2,8	75,3	2,3	61,0	0	0	0	0
30	3,0	377,2	2,7	311,1	333	41,9	154,4	16,2
46	1,0	59,1	0,5	28,0	333	19,7	330,0	19,7
55	2,0	190,1	1,1	94,0	333	31,7	161,0	11,5
76	1,5	243,1	0,8	125,1	333	54,0	249,7	43,0
Média/ total	2,1	944,9	1,5	619,2	266,4	147,2	179,02	90,4
Economia de produto (%)		34,5				38,6		

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Fertilización Líquida
Colombia

Sistema de control de Dosis regulando el giro de la bomba por medio de un motor hidráulico

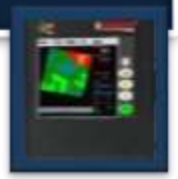
VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Aplicaciones en Tasa Fija
Fertilización mixta - Colombia

APLICACIÓN MIXTA (SÓLIDOS – LIQUIDOS).
Caña de Azúcar – Colombia

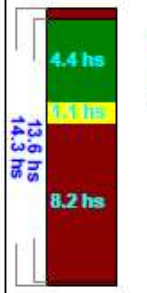
VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Aplicaciones en Tasa Fija
Fertilización mixta - Colombia

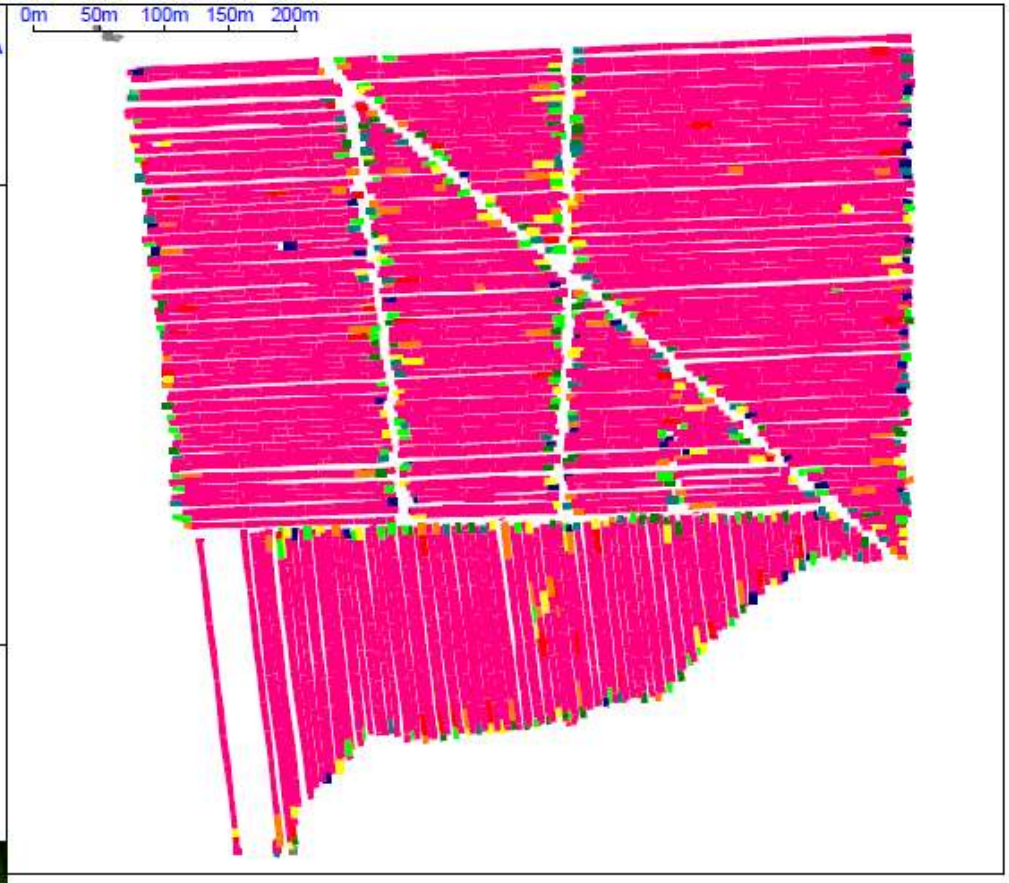


Lote:
PORBENIR STE 190 CASTLLA
Producto:
Producto
Total P1/P2/P3: 12583/3765/0
Ancho de aplicacion: 4.95 [m]
Area aplicada: 28.2 [ha]

Dia:
Area aplicada: 28.2 [ha]
Rend. global: 2.0 [ha/h]
Rend. operacional: 5.2 [ha/h]
Rend. gerencial: 2.1 [ha/h]
Rend. efectivo: 6.5 [ha/h]



P1-DR[L/Ha]
250.0 a 275.0
275.0 a 300.0
300.0 a 325.0
325.0 a 350.0
350.0 a 375.0
375.0 a 400.0



VERION AGRICULTURA
www.agriculturaverion.com

VERION

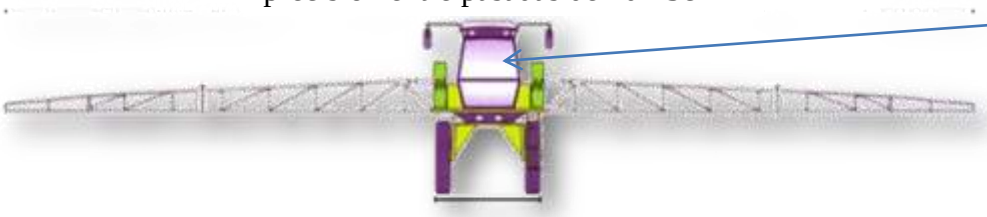
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

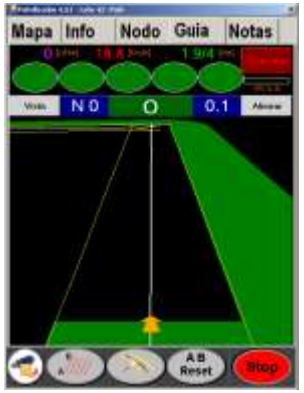
Pulverización

VEKSMAG
15 cm entre pasadas

Antena GPS 5hz permite una precisión entre pasadas de 10-15cm

Memoria USB (VEKDTI)





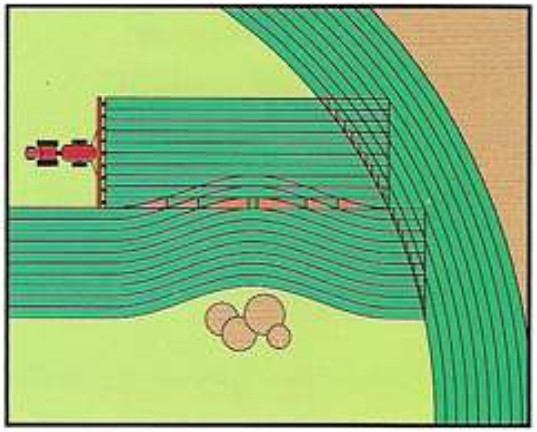
Corte por secciones automático o manual para evitar la sobre aplicación de liquido.

VERION

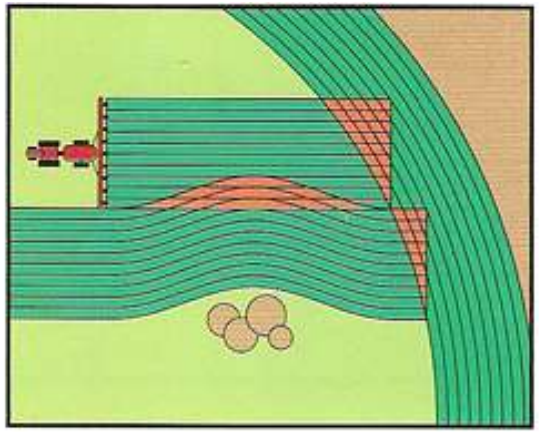
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

FUMIGACIÓN

Esta aplicación reduce la aplicación excesiva y el desperdicio de producto desactivando o activando automáticamente la aplicación en base a los límites del campo y en las áreas ya aplicadas a medida que el campo es recorrido. Este sistema reduce los costos de insumos y aumenta la precisión de la aplicación, minimizando áreas ignoradas y sobre aplicadas en las cabeceras de los lotes.



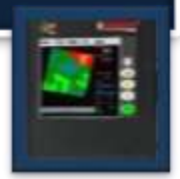
Con Corte automático



Sin Corte Automático

VERION

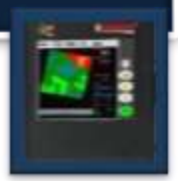
AGRICULTURA DE PRECISIÓN



Maquinas convencionales

VERION

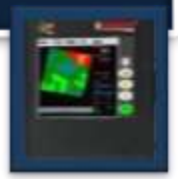
AGRICULTURA DE PRECISIÓN



Maquinas No convencionales

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN



Cliente:

Establecimiento:

Lote:
22ARRA2-5GLI100C

Producto:

Ancho de aplicacion:
19.60 [m]

Area aplicada:
12.5 [Ha]

Area interna no aplicada:
0.2 [Ha]

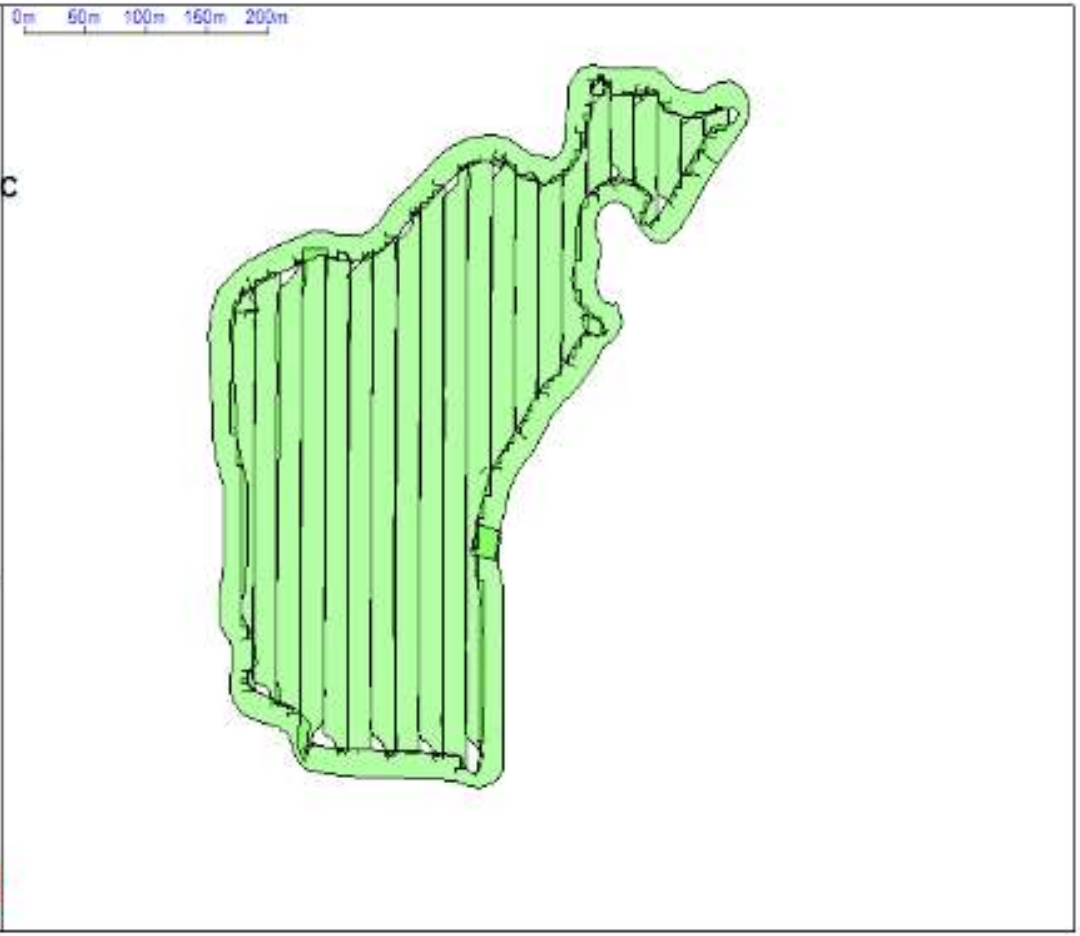
Area sobreaplicada:
0.8 [Ha]

Eficiencia de la aplicacion:
93.9 [%]

Area recorrida:
14.4 [Ha]

Eficiencia del recorrido:
87.2 [%]

VERION
AGRICULTURA



VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Control de la aplicación de productos

Correctivos de Suelo

Fertilización Líquida

Fertilización Sólida

Pulverización

Fumigue, pulverice, fertilice o siembre en forma guiada con tecnología satelital de GPS, **ahorrando** tiempo y reduciendo costos, de día o de noche.

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Sistema guía de aplicación

Guía virtual y mapeador

Pulverice, fertilice o siembre en forma guiada con tecnología satelital de GPS, **ahorrando** tiempo y reduciendo costos, de día o de noche.

Características

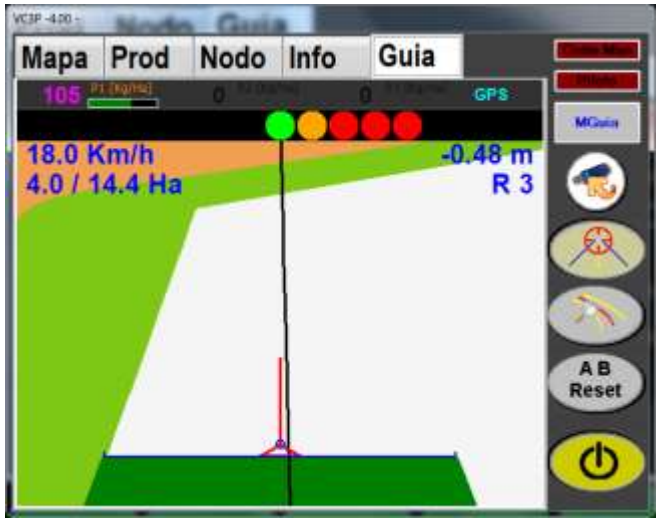
- Pantalla color de 5.6 pulgadas con touch screen
- GPS externo de precisión
- Conexión para memoria SD Card o USB
- Sistema operativo Windows CE

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Sistema guía de aplicación

Guía virtual y mapeador

- Guía y mapeador en tiempo real.
- Permite el trabajo nocturno sin errores de salto de líneas.
- Ruta virtual en pantalla.
- Barra de luz en pantalla para mejor orientación y reacción en la conducción manual.
- Permite trabajo en rectas, Curvas pivote re riego.



VERION

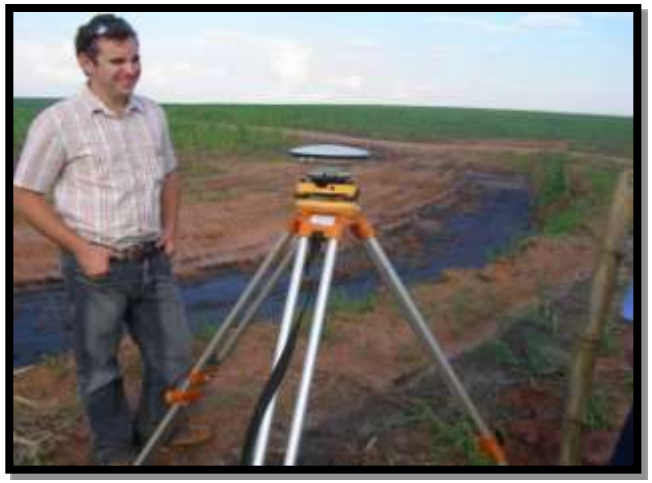
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Piloto automático

•Funcionamiento electrónico-hidráulico

•Se conecta en paralelo al circuito de dirección original de la maquina

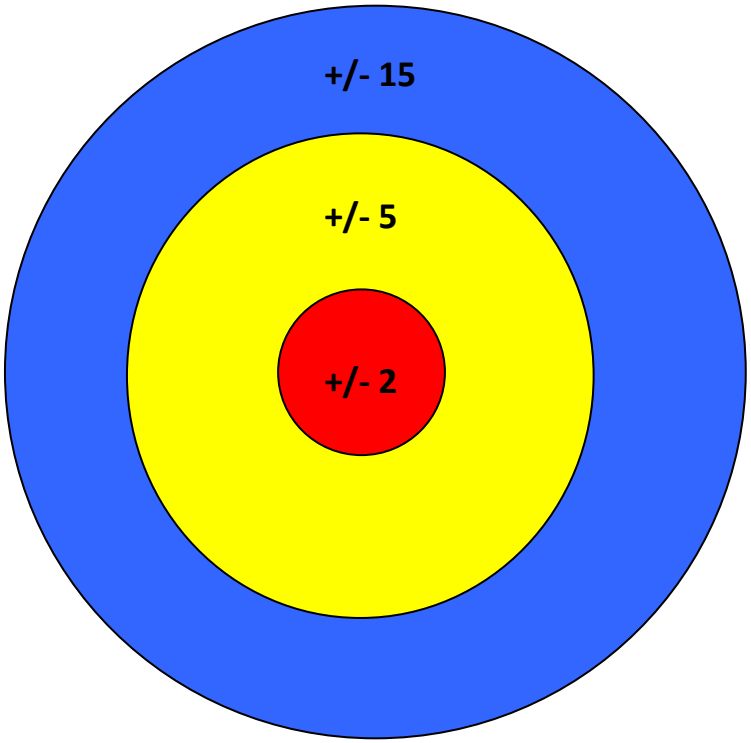
• Según el GPS usado, puede usarse sin señal de corrección o con señal de corrección RTK



VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

SEÑAL DE GPS



GPS Autónom

GPS con corrección Omnistar XP

RTK

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Utilización de diferentes señales

- **Pulverización, Aplicación de correctivos**
- **Baja precisión**

- **Operaciones que exigen buena precisión**
- **Pulverización, preparación de suelo, Siembra.**

- **Plantación de caña de Azúcar y siembra de cultivos con alto valor agregado**
- **Excelente precisión (*Repetitividad de las operaciones)***

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Ventajas del uso del PA

- Aumento en el rendimiento operacional diario (hasta un 20%)
- Mayor Precisión en las Labores
- Menor superficie de área desperdiciada
- Mayor rendimiento en las cosechas (debido a disminución del error en el espaciamiento de los surcos)

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Ventajas del uso del PA

- Ahorros de Combustible
- Corte de melgas perfectas
- Operadores concentrados en la labor de aplicación y no de control del tractor
- Permite el trabajo nocturno.

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Ventajas del uso del PA

- Posibilidad de uso de los datos de la cosecha
- En caso de error, el mismo no es acumulativo
- Surcado nocturno de alta calidad.
- Paralelismo- Aumento de metros lineares

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Ventajas del uso del PA

	Convencional 2005	Piloto automático 2010	Diferença (%) 2005 – 2010
Espaçamento (metros)	1,40	1,50	-
Área (hectares)	101,538	101,538	-
Metros lineares de cana (programado)	725.271*	676.920	-7,14%
Metros lineares de cana (REAL)	638.565	676.280,3	+5,91%
Diferença Real-Planejado (%)	-13,58%	-0,1%	-
Espaçamento Plantado (REAL)	1,59	1,50	-
DV dos terraços	5	Sem terraço	-

Brasil, 2010

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Registro de datos y análisis de información

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Preparación de prescripciones

- Importar archivos de aplicación en formato shape
- Crear líneas guía seguir
- Importar y analizar mapas de rendimiento/suelos para obtener ambientes y asignación de dosis
- Exportar archivos de aplicación para el Vcom

Análisis de la aplicación realizada

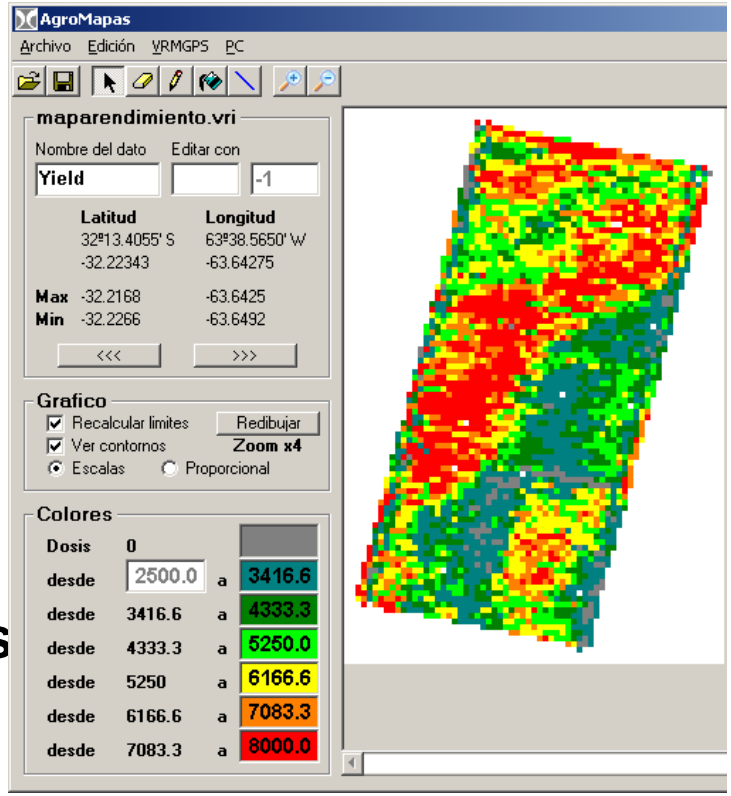
- Registros de aplicación en fertilización, reportes del sistema guía y visualización de sobre aplicación y fallas

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

AGROMAPAS

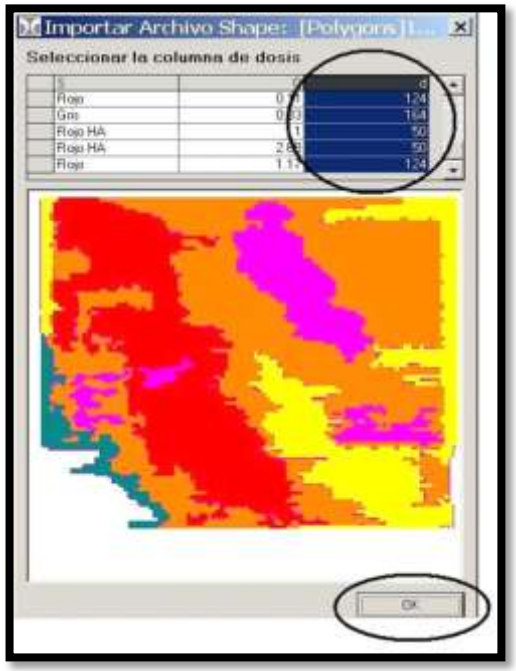
- Importar mapas
- Visualizar e identificar la variabilidad del lote
- Delimitar las áreas para diferenciar la aplicación
- Asignar dosis de productos diferentes para cada área



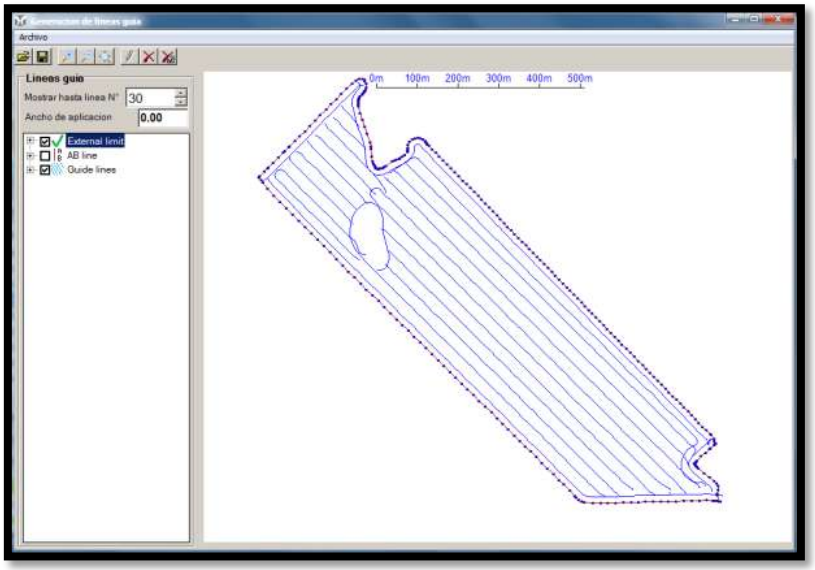
VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Principales funciones

Importar archivos de aplicación en formato shape



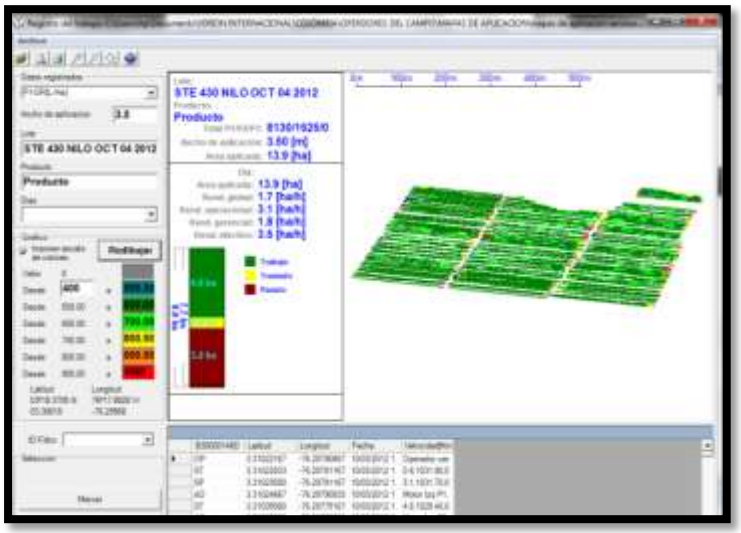
Crear líneas guía seguir



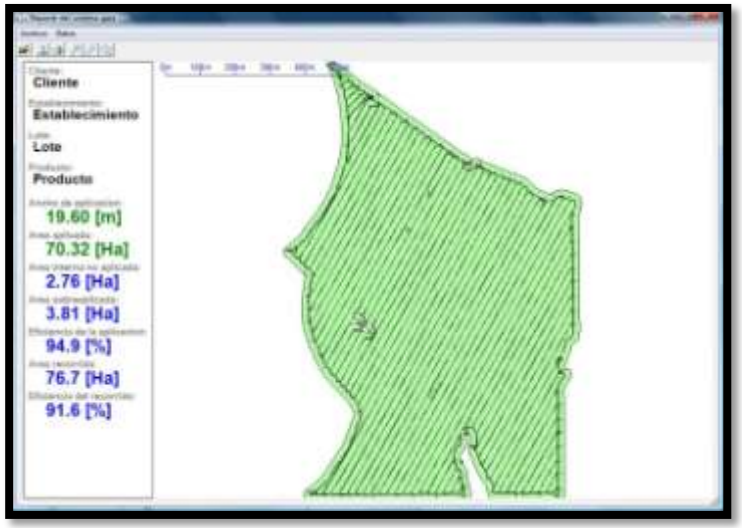
VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Registros de aplicación



Visualización de Errores en la aplicación



VERION

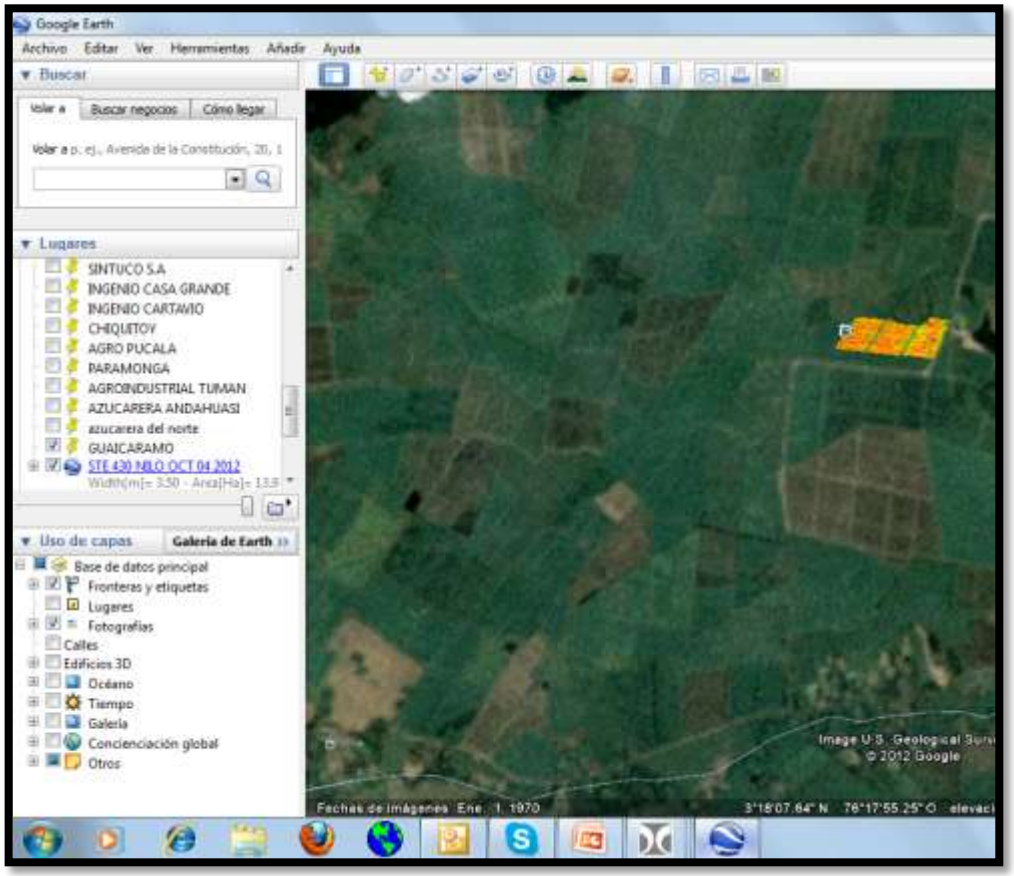
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Análisis de mapas de rendimiento y/o suelos

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

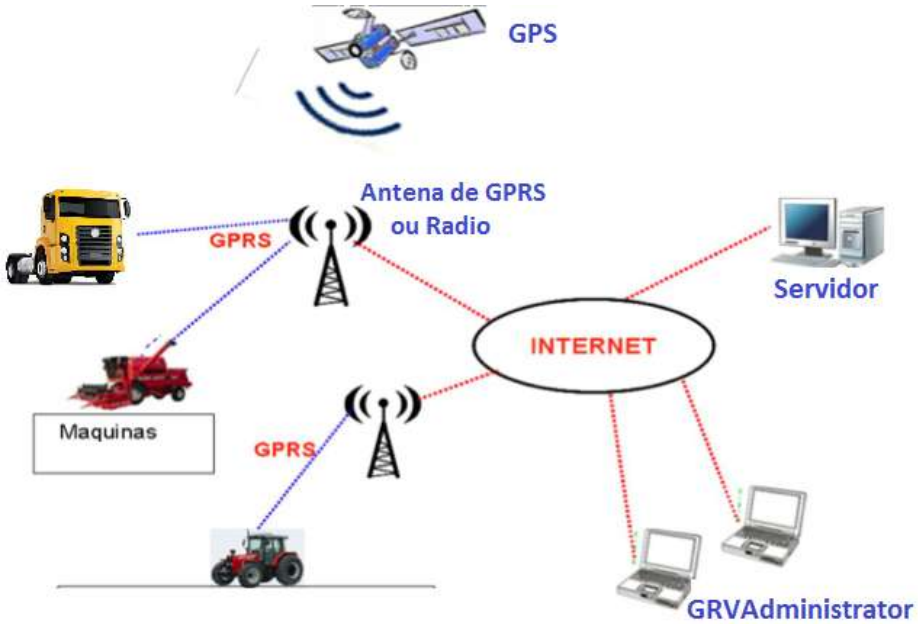
Visualización en Google Earth.



VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

GRV

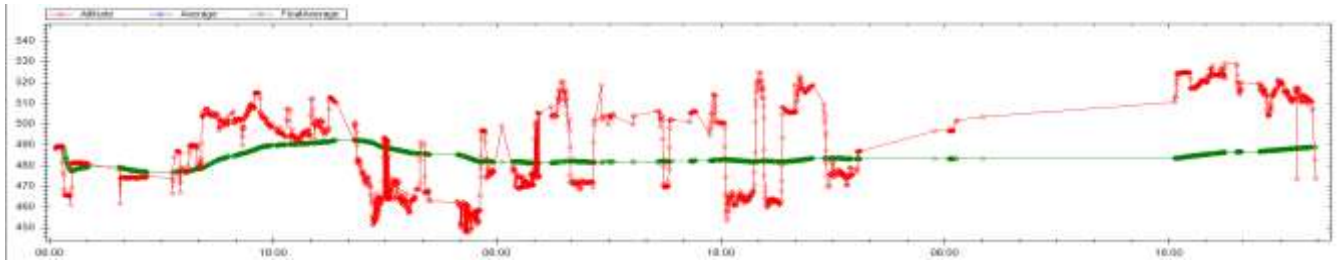
Gestión Remota Vehicular



Telemetry

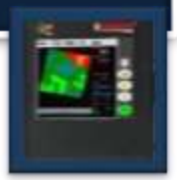
Date Time: 1/21/2012 11:55:05 AM

Latitude	-20.7756	RateProduct1	0
Longitude	-48.654	RateProduct2	0
Altitude	535.894	RateProduct3	0
Speed	7.823314	RateProduct4	0
Heading	65.7219	Profundity	0
YieldHaH	2.6531	SessionYieldHaH	0
RPM	0	Temperature	0
Temp Engine	0	Pressure	0
Oil Pressure	0	Wind	0
Fuel	0	Wind Direction	0



VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Gestión de las Actividades



Operador vehículo

- Cuantas ordenes de trabajo realizo
- Quien o cual fue el mas productivo
- Quien o cual fue el mas económico

telemetría

- Descubrir la causa de esta economía o productividad

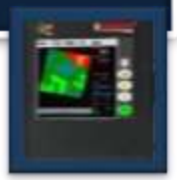
Otros

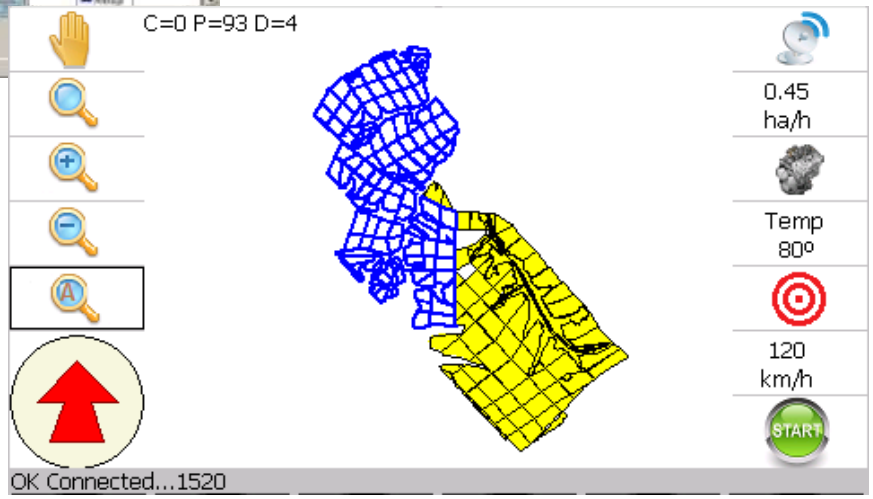
- Mantenimiento

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

GRV





VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Equipos

VTG 5.0

- Pantalla a color 5.0 pulgadas touch screen
- GPS externo de precisión
- Conexión para memoria SD card o USB
- Sistema operativo Windows CE

V Com 5.6 y 8.4

- Pantalla a color touch screen
- GPS/GPRS incorporado
- Conexión CAN BUS, USB, RS 232
- Sistema operativo Windows CE
- Gabinete robusto de Aluminio

V Pocket

- Pantalla Touch screen
- Tarjeta de memoria SD de 2gb
- Capacidad para 20 canales de satélites
- Modulo GPS integrado,
- Microsoft Windows CE 5.0

VERION

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Obtenga precisión y economía en sus labores de campo

Diana Catalina Delgado

VERION ICSA

2013

VERION
AGRICULTURA DE PRECISIÓN

CONTACTOS

Catalina Delgado
Cel. 011 15 5400 4326
cdelgado@verion.com.ar
Skype: diana.catalina.delgado
San Martin, Buenos Aires

VERION ICSA
011 4724-1300
Intendente Campos, 1617
San Martin, Buenos Aires

NUTRISALES. COMPLEMENTOS NUTRICIONALES PARA LAS FERMENTACIONES SUS VENTAJAS COMERCIALES.

Ing. Mario J. Canales Piedra, Zuker S.A. de C.V. México

INTRODUCCION.

En cierto momento del año 2005, los especialistas de la Dirección de Derivados del Ministerio de la Industria Azucarera, presentaron un interesante y bien fundamentado trabajo, mediante el cual proponian a la empresa mixta Quimizuk, S.A. desarrollar un producto formulado a partir de la integración en una mezcla, de cinco componentes diferentes que representan insumos separados de la producción de la levadura forrajera del género Torula que se produce desde hace muchas decenas de años, en varias plantas industriales del MINAZ, hoy Grupo Azucarero AZCUBA.

Las multiples ventajas que dicha idea entrañaba, concitó el interés de analizar la factibilidad de desarrollar ese proyecto, constatándose entonces que a pesar de todo ello; no se hacía viable en el contexto previsto, toda vez que por razones de infraestructura de QUIMIZUK y sobre todo de la logística del transporte y la distribución, se afectaban los presupuestos de la idea, de ser ventajosa, entre otros, precisamente en esos aspectos.

Ello se comprende al considerar que un gran volumen de materias primas, a recibir por el Puerto de La Habana, debía converger totalmente en la Instalación de Quimizuk en Quivicán, para su procesamiento y luego ser libradas en forma de producto terminado a los almacenes y puntos de utilización, dispersos y geograficamente bien distantes del emplazamienro habanero de la empresa mixta.

Una situación distinta se presenta en la actualidad, cuando ZUKER puede ofertar la formulación deseada, en el puerto de la geografía cubana mas conveniente y próximo al lugar de la demanda del producto, con la oportunidad, con la frecuencia y en las cantidades que la mas absoluta racionalidad aconseje, lo que obvia los inconvenienmtes que antes no pudieron ser franqueados y pone entonces en relieve todo el resto de los evidentes beneficios que la idea original sugiere.
A ellos nos referimos a continuacuión:

RESUMEN

En la nutrición animal la presencia de las proteínas resulta imprescindible.
En las formas intensivas de producción de carne (porcina y aviar), la Inclusión de proteínas en la dieta de los animales tiene una gran importancia económica
Los piensos y forrajes deben incluir fuentes proteicas que garanticen la satisfacción de esa necesidad.

La levadura del género Torula es un recurso muy atractivo y muy apreciado porque casi la mitad de su biomasa seca está representada por proteinas
La levadura Torula es un organismo unicelular que pertenece al reino de las plantas y presenta, como todas las levaduras y microorganismos que clasifican en la división *Thallophyta,* aspectos de su fisiología, que son comunes con las plantas superiores.

Igual que las plantas superiores la levadura Torula necesita alimentarse para:

- Obtener la energía requerida para el desarrollo de sus funciones vitales
- Proveerse del material prostético necesario para constituir su masa celular

No obstante, a diferencia de las plantas superiores, las levaduras no presentan actividad fotosintética y no son capaces de sintetizar, a partir del CO_2 atmosférico y el agua, las cadenas carbonadas que son el soporte estructural de casi todo material biológico.

Por ello, las levaduras tienen que valerse de compuestos mas complejos y entonces utilizan carbohidratos, sobre todo los azúcares, como fuente de carbono.

En cambio, si pueden utilizar sustancias mas simples, como fuente de nitrógeno y pueden valerse de las sales de amonio.

En la fermentación alcohólica industrial, los azúcares contenidos en las mieles finales garantizan la provisión del alimento energético necesario al desarrollo del cultivo de la cepa de levadura, ya sea para obtener biomasa forrajera o para proveer el sustrato a convertir en alcohol.

Pero el medio de cultivo preparado básicamente a partir de las mieles finales, debe ser complementado con las sales de amonio, que garantizan la provisión de nitrógeno y fósforo para suplir los elementales requerimientos de material con que formar la masa celular, además, con otros aditivos químicos se refuerza el potencial productivo del proceso, aportando oligoelementos y probióticos, así como bacteriostáticos que suprimen la actividad simbiótica de especies microbianas, que en las condiciones objetivas industriales, contaminan el medio de cultivo y compiten por los nutrientes que se destinan a la cepa del interés económico.

Especialmente importante resulta la complementación y el enriquecimiento del medio de cultivo cuando éste emplea vinazas que vienen sensiblemente agotadas al proceso de obtención de la Torula.

En la agricultura convencional la fertilización de los suelos, ha jugado un papel muy determinante en el desarrollo de muchas sociedades, elevando muy sensiblemente los rendimientos y por ende el grado de satisfacción de sus necesidades.

La práctica moderna de la fertilización introdujo el uso del fertilizante compuesto que aporta varios de los elementos que requiere el cultivo agrícola, en un balance adecuado a las necesidades, preestablecidas mediante estudios de suelo
Así, en el caso más típico, el cultivo recibe los elementos nitrógeno, fósforo y potasio, en proporciones balanceadas e idóneas, que han sido predeterminadas por los estudios del suelo.

A semejanza del empleo de los fertilizantes compuestos que se aplican en los cultivos agrícolas, la industria de la Torula puede favorecerse con los beneficios de una práctica análoga.

NUTRISALES es un producto que hace aportación, de una manera integral y complementaria, de todos los compuestos nutrientes que son requeridos para el óptimo desarrollo del cultivo económico de la cepa forrajera del género Torula.

En NUTRISALES están presentes:

- sulfato de amonio
- fosfato diamónico
- sulfato de magnesio
- bifluoruro de amonio
- ZUKER QZ 350A*

* Este último con su carga de oligoelementos y probióticos
- En proporciones que garantizan:

Nitrógeno	≥	18.99 %
P2O5	≥	8.88 %
OMg	≥	1.28 %

Preestablecidas como requerimiento básico en el proceso de obtención de la levadura Torula.

VENTAJAS Y BENEFICIOS DEL EMPLEO DE NUTRISALES

- Formulacion ajustada a la voluntad del usuario
- Balance preciso de los nutrientes requeridos
- Concentracion de la contratacion
- Logistica de la importacion simplificada
- Logistica de la distribucion simplificada
- Logistica de almacenamiento simplificada
- Procedimiento de aplicación simplificado

CONCLUSION

La adopción de esta práctica en el manejo de los insumos de la Torula, tiene un inconmensurable impacto económico sobre todo el proceso de la negociación, la contratación, la importación, la transportación, la distribución y el almacenamiento, hasta el uso final de los insumos; dada la extraordinaria simplificación de gestión y de operaciones y en definitiva la reducción de gastos que presupone.

SOLUCIÓN INTEGRAL PARA MEJORAS EN LA PUREZA DE LOS JUGOS DE CAÑA DE AZÚCAR

Ing. Víctor Gomez Hernández., Zuker S.A de C.V., México.

ZUKER S.A. DE C.V. Para el desarrollo de la siguiente aplicación se estudió profundamente; referencias diversas haciéndose énfasis en las publicaciones de producción de azúcar de bajo color "*Causas y consecuencia de la formación de color en el proceso productivo del azúcar*", consultas a patentes de clarificación de jugos de caña y meladura y el efecto nocivo de las *dextranas* y otros microorganismo como son las *bacterias lácticas* que causan pérdidas importantes en el proceso de producción de azúcar, actualizándonos con las normas de buenas prácticas de laboratorio y buenas prácticas de producción (2012), aplicadas para la industria alimenticia y la biotecnología.

ZUKERTREAT MCP® Es una combinación reactiva de productos sólidos y líquidos integrados por mezcla de compuestos químicos y bioquímicos, específicamente diseñados para prevenir la degradación de la sacarosa durante el proceso de molienda en los ingenios azucareros y lograr mejoras significativas en la calidad del azúcar.

1. **ZUKERTREAT MCP 100:** es una formulación de compuestos inorgánicos a base de Hidróxido de Sodio (NaOH), Fosfatos, Dióxido de Azufre (SO2) y Polímero para la reducción de color y cenizas.

2. **ZUKERTREAT MCP 170:** es una formulación de compuestos orgánicos para la reducción de dextranas y almidones a base de enzimas diseñadas de conjunto con **PROBIOVET S.L.** de España.

RESUMEN

El método se caracteriza por lograr mejoras significativas en la estabilidad de la pureza del jugo de la caña de azúcar, con dependencia de la formación de dextranas, y la presencia de almidones en el jugo de caña, nuestra invención actúa simultáneamente de dos maneras: la primera y a través de un mecanismo químico, actúa directamente sobre la naturaleza coloidal presente en el jugo de caña, y la segunda consiste en un mecanismo bioquímico que reduce la formación del azúcar no cristalizable en el jugo de la caña.

Al mismo tiempo, ambas reaccionan interactúan con otros tipos de azúcares no deseados que son producidos por la acción del Leuconostoc Mesenteroides, atacando su estructura molecular, obteniéndose como resultado de la combinación integradora de estos dos productos, la acción potente de un bactericida que erradica el 100% del Leuoconostoc Mesenteroides presente en el jugo de la caña de azúcar, previniendo la formación de dextranas en el proceso de molienda y por ende la destrucción de la sacarosa.

En la actualidad la cantidad y las características de los productos químicos utilizados en los Ingenios Azucareros y las Refinerías es un tema susceptible de ser asociado a la contaminación ambiental, al deterioro cualitativo del azúcar y al incremento de los costos de producción, cuando la elección del químico y de su dosis, no son los más adecuados. Tanto cuando se trata del producto ensacado o cuando es expedido a granel; la cantidad y las características de los químicos empleados, presentan una repercusión directa y muy marcada sobre la calidad del azúcar resultante, con expresión sobre todo, en un mejor ó peor color y por supuesto de su calidad en general, con dependencia también en el procedimiento de clarificación adoptado y la corriente tecnológica tratada dentro del ingenio, sea jugo ó sea meladura. Las variantes siempre presentarán una mejor alternativa, cuya elección representa el mayor desafío para lograr, a un tiempo, mayor calidad en el azúcar, menores gastos operativos y mayor seguridad en la protección de la salud humana y del medio ambiente.

En consecuencia el esfuerzo que se dedique a mejorar cada paso tecnológico en la producción de azúcar, en la búsqueda de una eficiencia integral, implica optimizar la selección del agente químico por su buen funcionamiento para que ayude al proceso en los aspectos de calidad y de costos. Debido a que estos procesos transcurren bajo la acción calórica dada por las altas temperaturas del jugo o la meladura en sus diferentes etapas, se hace necesario que los químicos que se utilicen no sean agentes incrustantes de las tuberías, ni fluxes de los evaporadores, donde resulta neurálgico el tiempo de retención y la eficiencia de la deshidratación del jugo.

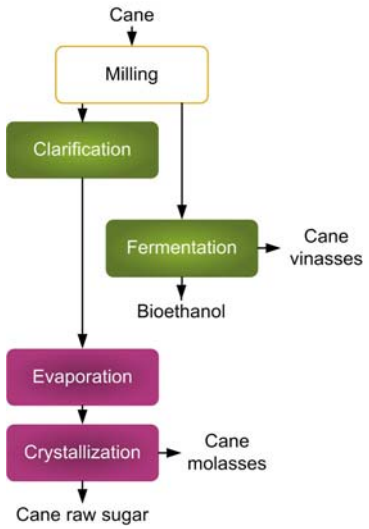
Industrialmente, es difícil reconocer las pérdidas de sacarosa generadas por la presencia de microorganismos varios, que su acción, es mayormente desencadena por factores tales como, largas demoras entre la cosecha, el corte y la molienda, o la maduración de la caña, todo ello permiten entre otras, la formación de dextrana, la presencia de dextranas es el principal problema de deterioro de la sacarosa y es generado por presencia del microorganismo leuoconostoc mesenteroides

Es importante señalar que nuestra premisa fundamental es, y donde ya muchos ingenios son ejemplo: *LAS PRODUCCIONES LIMPIAS*. Como en todo proceso de transformación, la productividad y la ecología deben ir de la mano y así evitar un círculo vicioso, evitando la degradación del ambiente, por supuestas mejoras en los proceso productivo, para ello elegir un buen producto químico que no incida en el ambiente y optimizar su aplicación es la clave del éxito.

Process Improvements for Cane Sugar Mills and Refineries

Traditional Production of Sugar from Cane

- Traditional cane sugar mill:
  - Yield: 75-80%
  - Production of cane raw sugar
  - Production of VHP Very High Pol raw sugar using juice sulfitation
  - More cost-effective if joint production of sugar and bioethanol
- Novasep **does not** supply traditional process line for cane sugar mills, **but improvements**



Novasep Offering

Novasep has developed cross-flow membrane filtration and ion-exchange technologies for improving sugar production from cane:

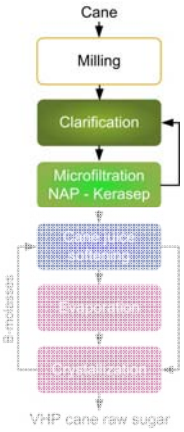
- Production of VHP cane raw sugar at the cane mill, without sulfitation
- Optimized integration for production of refined sugar at the cane sugar mill
- Ion-exchange decolorization for cane raw sugar refineries
- Direct production of high grade liquid sugar for local industrial markets

Production of VHP Cane Raw Sugar at the Cane Mill

Production of VHP Cane Raw Sugar

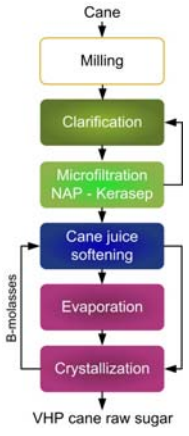
- Very soon, about 80% of the saccharose produced worldwide will be from cane
- Novasep has developed NAP microfiltration processes

  New Applexion® Processes
  - Production of higher quality sugar
  - Production directly at the mill
  - Cost-effective solution
    - Savings in CAPEX
    - Savings in OPEX



Production of VHP Cane Raw Sugar

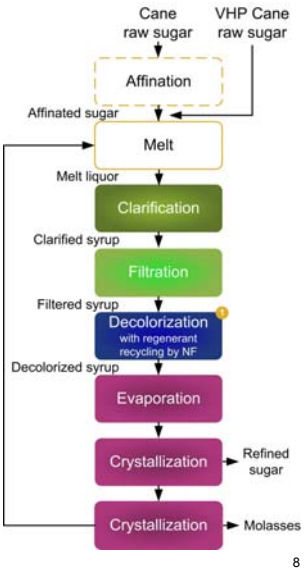
- Production of « NAP sugar » or VHP (Very High Polarization) cane raw sugar, without sulfitation:
  - 40% less color
  - 55% less ash
  - 20% higher crystallization speed
- VHP cane raw sugar:
  - Easy transformation into refined sugar directly at the mill
  - Sale to refineries at a premium
- Concentration of microfiltered and soft cane juice in most efficient evaporators:
  - Reduced energy usage
  - More bagasse available for co-generation



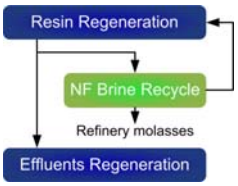
Cane Sugar Stand-Alone Refineries

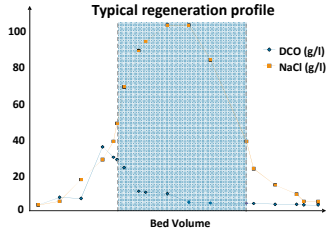
Cane Sugar Stand-Alone Refineries

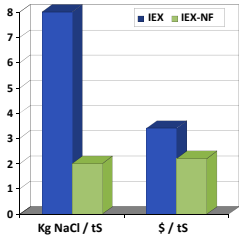
- Decolorization is one of the most critical steps and consists of removing color from:
  - Polyphenols, initially present in cane and caramel
  - Melanoidins
  - Products from hexose degradation
- Optimized ion-exchange decolorization system by Novasep
  - Innovative regeneration process options
  - Optimization of CAPEX vs. OPEX strategy
  - Low consumption of regenerant
  - Reduction of the quantity of effluents



Nanofiltration Brine Recovery System

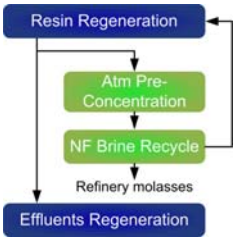


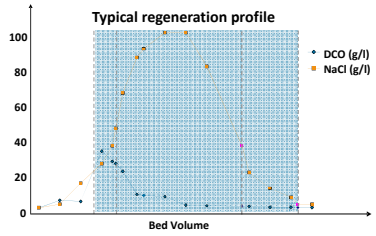


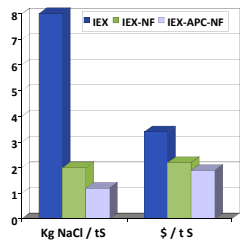


With NF brine recycle, the resin regeneration cost in chemicals is reduced by 1/3

Atmospheric Pre-Concentration System



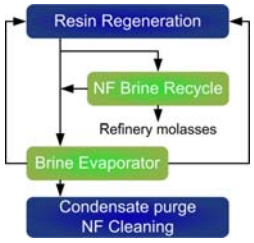


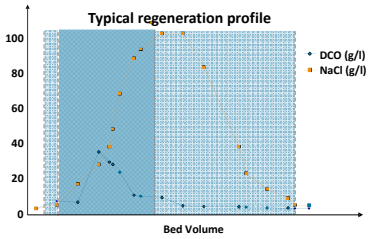


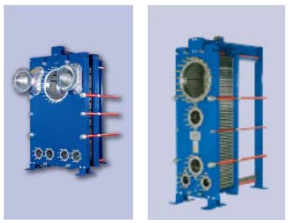
The atmospheric pre-concentration system uses low calories hot water: resin regeneration cost in chemicals is reduced by up to 50%

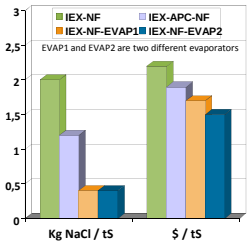
novasep
When purity is key.

Brine Evaporator System







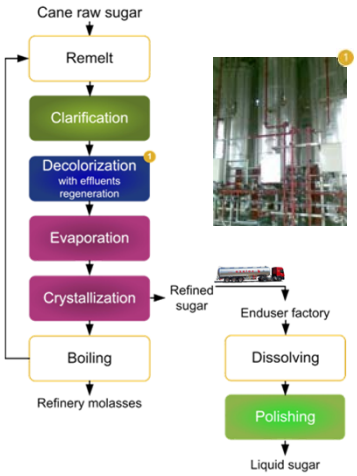


With the steam plate & frame evaporators, NaCl consumption is drastically reduced, further optimizing regeneration costs

High Grade Liquid Sugar for Local Markets

High Grade Liquid Sugar for Local Markets

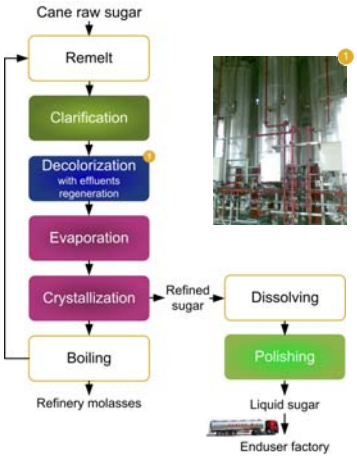
Production of crystalline refined sugar at the refinery, with shipping and dissolution to produce liquid sugar at the en-user factory



At the refinery	Crystalline refined sugar		
Crystallization	21-33 $/t		
Dissolution			
Direct Production			
Shipping cost	20 $/t		
Dissolution	2.5-7.5 $/t		
Average prod. cost	52 $/t		
Relative prod. cost	100%		

High Grade Liquid Sugar for Local Markets

Production of liquid sugar at the refinery,
using crystalline refined sugar as raw material

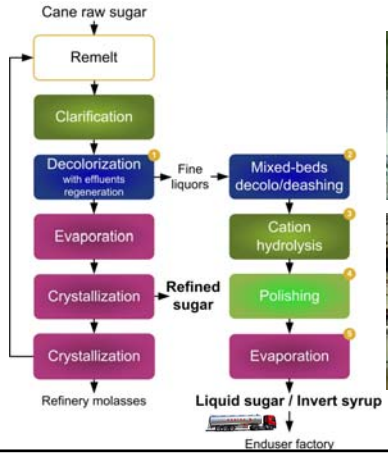


At the refinery	Crystalline refined sugar	Liquid Sugar	
Crystallization	21-33 $/t	21-33 $/t	
Dissolution		1.5-3 $/t	
Direct Production			
Shipping cost	20 $/t	27$/t	
Dissolution	2.5-7.5 $/t		
Average prod. cost	52 $/t	56$/t	
Relative prod. cost	**100%**	**110%**	

High Grade Liquid Sugar for Local Markets

Novasep's optimized solution!

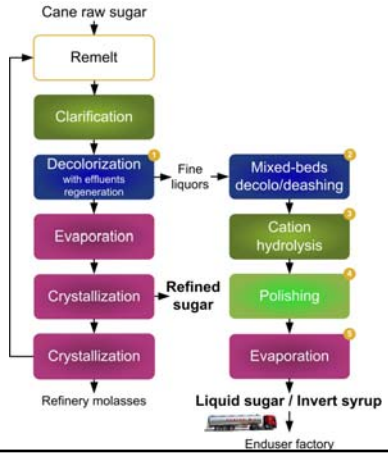
Direct production of liquid sugar from decolorized fine liquor as raw material at the refinery, concurrently with crystalline refined sugar



High Grade Liquid Sugar for Local Markets

Novasep's optimized solution!

Direct production of liquid sugar from decolorized fine liquor as raw material at the refinery, concurrently with crystalline refined sugar



At the refinery	Crystalline refined sugar	Liquid Sugar	Novasep's solution
Crystallization	21-33 $/t	21-33 $/t	
Dissolution		1.5-3 $/t	
Direct Production			5.6-10 $/t
Shipping cost	20 $/t	27$/t	27$/t
Dissolution	2.5-7.5 $/t		
Average prod. cost	52 $/t	56$/t	35 $/t
Relative prod. cost	**100%**	**110%**	**70%**

High Grade Liquid Sugar for Local Markets

- **Flexibility** in crystalline refined sugar/liquid sugar production, depending on the season
- **Higher value product** for specific local market
- Potential expansion of the total production capacity of an existing refinery:
  - Without any modification of the sugar house
  - Without generating additional refinery molasses
  - **Parallel processing of fine liquor** for producing refined sugar and liquid sugar
- Large-scale production of liquid sugar offers renewed opportunities for **complete integration of the liquid sugar process within the main refinery process**

Benefits

- Improvement of the performance of your mill and refinery
- Our NAP processes produce higher quality sugar directly at the mill
- Optimized ion-exchange decolorization systems for cane refinery liquors
- Integration of a line producing specific liquid sugar from fine liquors in the main refinery process to serve local market

REMOCIÓN DE AZÚCAR DE LA CACHAZA EN LOS INGENIOS AZUCAREROS EMPLEANDO DECANTADORES ALFA LAVAL

Por: Amol Chinchankar y Bob McCarthy
amol.chinchankar@alfalaval.com

Abstracto

En la mayoría de los países, el azúcar en la cachaza se remueve por medio de filtros rotativos al vacío (FRV). Una tecnología alternativa empleando decantadores centrífugos de tazón sólido ALFA LAVAL ha sido implementada para la remoción de azúcar de la cachaza con resultados positivos. Algunas de las ventajas de utilizar esta tecnología son:

- Aumento en la recuperación de azúcar maximizando la sequedad de la cachaza deshidratada.
- Reducción en el consumo de energía requerido para la remoción d azúcar de la cachaza.
- No se requiere Bagacillo como medio filtrante.
- Facilitar la disposición de la cachaza al producir una torta deshidratada con menor contenido de humedad y bajos niveles de pol.
- Evitar o reducir las pérdidas por inversión generadas por los largos tiempos de residencia en los filtros rotativos al vacío y crecimientos de bacterias asociados a la adición de bagacillo como ayuda filtrante.
- Menor área requerida para la instalación de los decantadores centrífugos en comparación con los filtros rotativos al vacío, ahorrando espacio y disminuyendo los costos de obra civil.

Dos grandes instalaciones fueron arrancadas en India la primera mitad del 2012 empleando decantadores ALFA LAVAL – una en Maharashtra y la otra en Tamil Nadu. El modelo de Decantador instalado en ambas plantas es el SGDM 400. Hay 4 decantadores SGDM 400 en Gangakhed Sugar & Energy Ltd en Maharashtra y 5 unidades en Mannari Amman Sugars Ltd. En Tamil Nadu. El desempeño de los decantadores fue establecido mediante la toma de muestras y análisis de la alimentación, cachaza deshidratada y líquido clarificado.

Tortas deshidratadas con muy baja humedad y niveles residuales de pol fueron producidas empleando los decantadores. La claridad del jugo recuperado fue tal que podía ser retornado al proceso para una recuperación de azúcar adicional. Ahorros sustanciales fueron generados al emplear decantadores en lugar de los filtros rotativos al vacío.

Introducción

Los filtros rotativos al vacío han sido utilizados tradicionalmente para la deshidratación de la cachaza en los ingenios azucareros. A pesar que los filtros promueven un proceso continuo, tienden a tener ciertas desventajas respecto a decantadores en términos de parámetros de desempeño y costos operativos. Esta observación fue hecha en un ingenio al Sur de india donde el primer decantador (SGDM 400) ALFA LAVAL fue suministrado y operado en una escala comercial para la remoción de azúcar de la cachaza en el 2007. Debido al éxito rotundo, 15 decantadores SGDM 400 adicionales fueron suministrados en 2009 y 2010 a cuatro nuevos ingenios para la remoción de azúcares en cachaza, los debidos análisis fueron

realizados en dos de las instalaciones arrancadas a comienzo del 2010 para evaluar el desempeño de los equipos.
Fue propuesto determinar la humedad y el pol de la cachaza deshidratada para ver la recuperación de azúcar y al mismo tiempo obtener un líquido clarificado con la calidad necesaria para retornar al proceso. El estudio también comprendió la evaluación económica de los costos operativos del decantador versus los filtros rotativos al vacío.

Investigaciones Previas

Hale et al. (1974) llevó a cabo pruebas de fábrica en un decantador suministrada por Sharples-Stokes. Llegaron a la conclusión de que uno de los mayores problemas era mantener un alto nivel de sólidos en la cachaza deshidratada. Ellos investigaron las opciones de acondicionamiento de la alimentación, incluyendo la adición de cal para elevar el pH, la dilución de la alimentación y la adición de floculante y bagacillo para mejorar la retención. La mejora más significativa se logra con un pH alto (~ 10) de alimentación.
Stewart et al. (1974) llevó a cabo ensayos en una centrífuga de tazón sólido MercoBowl en otra fábrica. Esta máquina tenía facilidades para agregar el agua de lavado en varias posiciones a lo largo de la sección de playa inclinada. Una recuperación máxima de pol del 91% se consiguió cuando el agua de dilución fue añadida a la alimentación. Una recuperación de pol alta era posible cuando el agua de lavado era aplicada a la torta en la sección de la playa, pero a expensas de una disminución del tiempo de retención. La cantidad de fibra en la cachaza afectó la retención de sólidos en la misma. El aumento de la proporción de fibra desde alrededor de 0,27 a 0,4 mejoró la retención de sólidos en la cachaza, pero no afectó la recuperación pol.
Stewart et al. (1975) demostró que a medida que el flujo a través de una centrífuga de tazón sólido aumentaba, la retención de sólidos en la cachaza deshidratada disminuía.
Stewart et al. (1976) investigó el efecto del bagacillo más fino sobre el rendimiento de la centrífuga. El rendimiento de la MercoBowl mejoró de manera significativa durante la temporada de 1975 comparado con desempeños anteriores. Esta mejora se demostró que era un resultado directo de la fuente más fina bagacillo disponible desde la nueva destructora de trabajo pesado. La retención de sólidos mejoró con valores sobre el 90% incluso durante flujos de alimentación altos y la pérdida de pol se redujo en un tercio.
Misión de Tecnología Azucarera, Nueva Delhi (1995) investigó y publicó los datos sobre el uso de decantadores centrífugos para la remoción de azúcar del fondo de los clarificadores basado en un proyecto a escala industrial ejecutado en Shree Valsad Sahakari Khand Mandali Udyog Ltd., Valsad, Gujarat. La duración de la prueba durante la temporada 1994-95 fue de tres meses y una Comisión reportó los siguientes resultados:

- Eliminación de sólidos> 95% con decantadores, frente a 60-70% con filtros de vacío
- Menor pérdida de azúcar en la torta
- Eliminación de bagacillo como ayuda filtrante por lo que la operación se vuelve más amigable con el medio ambiente y rentable.
- Ventajas adicionales de ahorro de energía y el espacio

El desempeño de los decantadores comparado con los filtros rotativos al vacío basado en los datos obtenidos durante las pruebas se muestra abajo:

PARÁMETRO		**SEPARACIÓN CENTRIFUGA (2 DECANTADORES)**		**FILTROS AL VACIO (2 FILTROS DE 40 m2 c/u, existentes)**
Flujo de Alimentación	m3/h	15 - 18		15 -18
Retención de Sólidos	% w/w	95 - 98		70
Consumo de Energía a máxima carga	kW	50		70 @ 70%
Adición de Polielectrolitos	Kg/Ton de sólidos secos	0,6 - 1,0		NIL
Adición de Bagacillo	Kg/Ton de sólidos secos	NIL		667
Filtrado o Clarificado		**Clarificado del Decantador**		**Filtrado**
Bx	%	13,0 - 14,0		14,0 - 15,0
Pureza		84 - 86		81 - 84
Insolubles	% w/w	0,10 - 0,15		1,0 - 1,5
Torta		**Primary Decanter**	**Secondary Decanter**	
Pol	%	10,0 - 12,0	1,5 - 2,4	1,6 - 4,0
Humedad	%	60,0 - 65,0	60,0 - 63,0	70,0
Sólidos	%	35,0 - 40,0	37,0 - 40,0	18,0
Bagacillo	%	NIL	NIL	12,0
Torta humeda	Kg/tc		20	35,0
Demanda de Agua				
Agua/Torta humeda	Kg/tc	1,9 - 2,5		1,0
Agua	Kg/tc	38 - 50		35,0
Pérdida de Azúcar		0,3 - 0,48		0,56 - 1,40
Requerimiento de espacio	m2	35		90,0

Alfa Laval India llevó a cabo una prueba en campo usando un decantador modelo NX 418 instalado en serie con un filtro rotativo al vacío en Agauta Sugars & Chemicals durante la zafra de 1996 con la participación de la Misión de Tecnología de Azúcar. A continuación se presentan las conclusiones alcanzadas en la prueba:

- La operación del decantador fue estable y consistente en términos de calidad del líquido clarificado y remoción de sólidos a un flujo de alimentación constante.
- El uso del bagacillo fue eliminado por completo evitando la contaminación del jugo y ambiental.
- Un buen nivel de torta se formó en los filtro rotativos al vacío con un espesor de 3 a 5 mm
- La adición de polielectrolito fue de 0,6 a 0,9 kg/ton de sólidos secos

Danish Sugar & Sweetener Engineering (DSSE, 2004) desarrolló un decantador para ser usado en la deshidratación de la cachaza específicamente. Los resultados suministrados por DSSE indicaron lo siguiente:

- La calidad de la caña y la concentración de los sólidos suspendidos tuvieron un efecto significativo en la capacidad y la pérdida de pol;
- El uso de un agente floculante adecuado fue esencial;
- El líquido clarificado tenía la apariencia de un jugo de limón claro;
- El uso de bagacillo fue necesario;
- La humedad de la torta en promedio fue de 50%;
- El promedio de pol en la torta fue de 3,2%

Bajaj Hindushtan Ltd., Unit Bilai (2007/08) llevó a cabo pruebas con ecantadores en conjunto con Chemical Systems, Delhi, y sus observaciones fueron:

- La operación del decantador fue fácil y sin complicaciones en comparación con el filtro rotativo al vacío
- El líquido clarificado del decantador de la segunda etapa debería ser llevado nuevamente a los molinos en vez del proceso para evitar un incremento en el consumo de vapor
- Esta pruebas demostraron que los decantadores tienen el potencial de reemplazar a los filtros rotativos

Sakthi Sugars Ltd., Modakuruchi (2007/08) instaló el primer decantador Alfa Laval en escala industrial para remoción de azúcar de la cachaza. La capacidad de este Ingenio era de 4,000 TPD. El decantador Alfa Laval (SGDM 400) ha dado un excelente desempeño en Sakthi Sugars. Sin embargo, la empresa no operó el Ingenio durante la última zafra debido a que no consiguieron suficiente caña para trabajar. Discusiones con su personal técnico reveló que están satisfechos con la instalación del SGDM 400.
Para efecto de este trabajo, los últimos resultados sobre decantadores Alfa Laval removiendo azúcar de la cachaza fueron recolectados en dos Ingenios que arrancaron su instalación de decantadores en la zafra del 2010.

¿Qué es un decantador centrífugo?

Un decantador es un sedimentador que usa la fuerza centrífuga para separar los sólidos suspendidos de uno o dos líquidos. Tiene un rotor cónico – cilíndrico equipado con un tornillo para la remoción y descarga continua de los sólidos sedimentados. La separación ocurre en la zona horizontal del rotor el cual está equipado con un tornillo de paso variable. El lodo es alimentado al rotor por medio de un tubo de alimentación estacionario y a través del distribuidor es acelerado gentilmente. La fuerza centrífuga genera la sedimentación de los sólidos en la pared del rotor. El tornillo y rotor giran en la misma dirección pero a diferentes velocidades, el tornillo un poco más lento que el rotor. Los sólidos son separados del líquido y deshidratados por fuerza centrífuga antes de ser descargados. El líquido clarificado se descarga por reboce a través de aperturas en el rotor. Un motor eléctrico y una transmisión por correas mueven el rotor. La potencia es transferida al tornillo por medio de una caja de engranajes planetarios de dos o tres etapas. La velocidad diferencial entre el tornillo y el rotor puede ser obtenida

por medio de un sistema completamente automático de motor secundario que compensa las variaciones en los sólidos de la alimentación. Una carcasa compacta sostiene las partes rotativas con rodamientos en los dos extremos. Aislantes de vibración son colocados en la parte inferior de la carcasa. Las partes rotativas son protegidas con un cobertor en la parte superior e inferior, en esta última se encuentran integradas las descargas de sólidos y líquidos. El rotor, tornillo, tubo de alimentación, descargas y otras partes en contacto con el producto son fabricadas en acero inoxidable. Los puertos de descarga, así como los álabes del tornillo y la sección de alimentación son protegidos con una aleación altamente resistente a la erosión de carburo de tungsteno. La carcasa es fabricada en acero al carbono con un recubrimiento epóxico.

Los componentes principales de un decantador son:

- Rotor
- Tornillo
- Caja de Engranajes
- Carcasa y cobertor
- Arreglos de alimentación y descarga
- Motor

Los decantadores son usados en un amplio rango de aplicaciones donde sus habilidades de entregar un líquido con buena clarificación y baja humedad en los sólidos descargados son apreciadas.

Corte de un Decantador Centrífugo

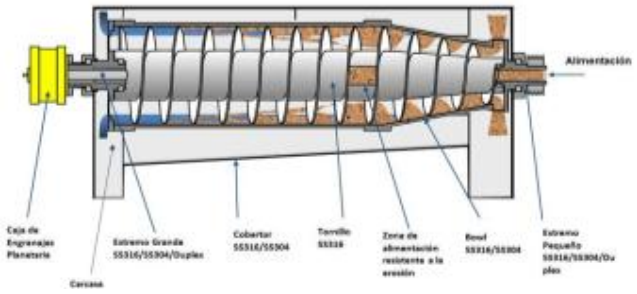
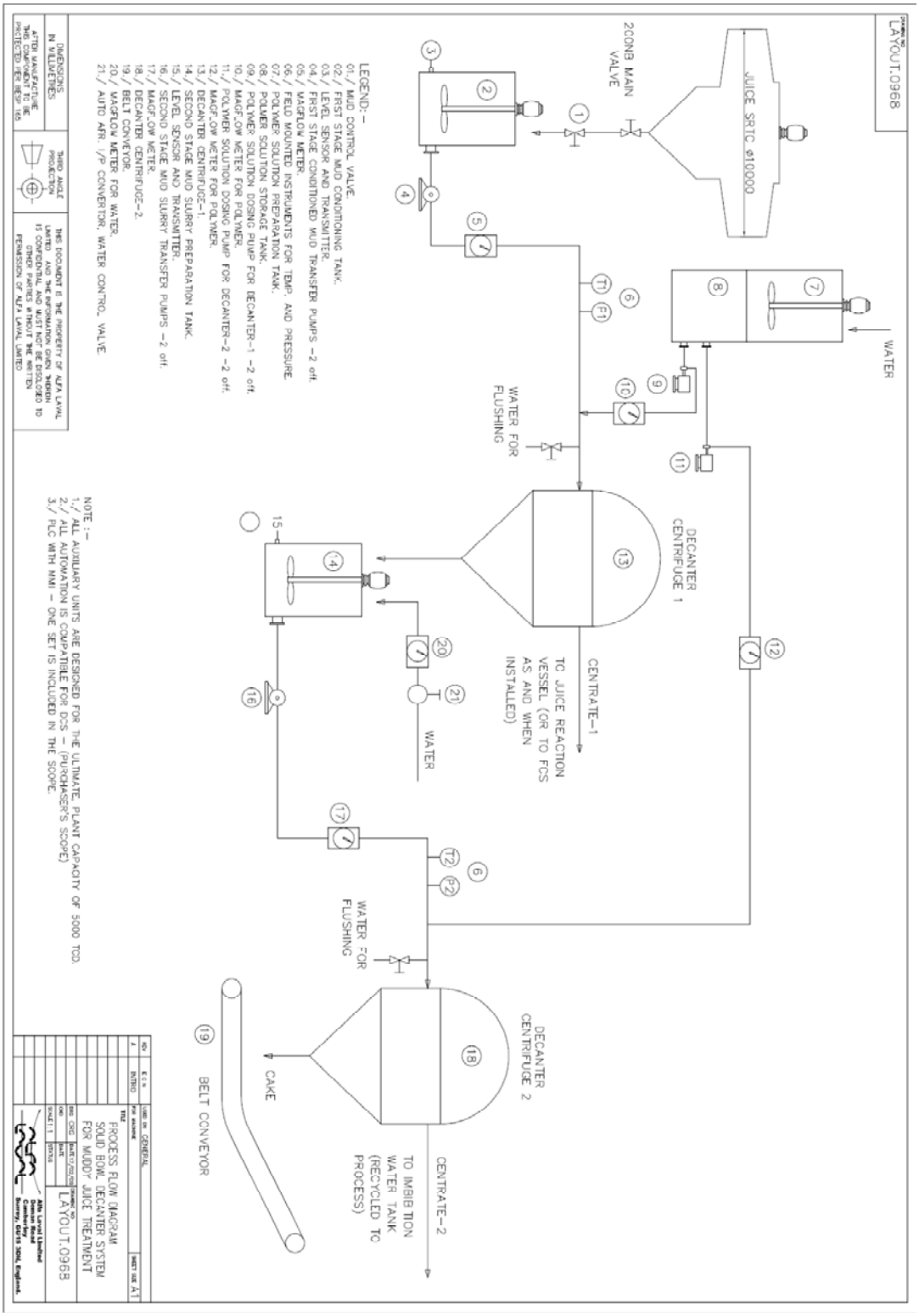


Diagrama de Flujo. Decantadores Alfa Laval. Remoción de Azúcar - Cachaza



Instalaciones a escala Industrial

1. **Gangakhed Sugar & Energy Ltd.**, Maharashtra, tienen instalados cuatro decantadores SGDM 400 fabricados por Alfa Laval para remoción de azúcar de la cachaza, dos instalados en cada una de las etapas. Este Ingenio fue arrancado en la zafra 2009 – 2010. Inicialmente la claridad del líquido fue un punto a mejorar, pero fue atacado rápidamente hasta mediante la selección de un polielectrolito más apropiado para esta aplicación, desde entonces el sistema de decantadores ha operado bien y el cliente está satisfecho.

Cuatro Decantadores SGDM 400 en Gangakhed Sugar & Energy

Una eficiencia de separación >90% fue alcanzada con los decantadores Alfa Laval. El consumo total de polielectrolito fue alrededor de 1,25 Kg/ton de sólidos secos para la primera etapa y de 0,5 Kg/ton de sólidos secos en la segunda etapa, esto equivale a 6 gr/TC para la primera etapa y 2,4 gr/TC en la segunda etapa.

2. **Bannari Amman Sugars Ltd.** – la unidad 4 tiene 5 decanters instalados para el desendulzado de cachaza. Hay dos decanters en la primera etapa, dos para la segunda etapa y el quinto se mantiene en stand-by. La corriente a clarificar es movida del tanque de cachaza con una bomba de cavidad progresiva (1 bomba en operación y 1 bomba en stand-by) que alimenta la primera etapa de decanters. La descarga del tanque de polímero preparado es efectuada en el tanque pulmón o de dosificación desde allí la solución es bombeada a los decanter usando una bomba de tornillo operada con un variador de frecuencia (1 bomba operativa y 1 bomba en stand by). La torta de sólidos obtenida de la primera etapa es mezclada con agua caliente y la espesa mezcla (slurry) obtenida es bombeada a la segunda etapa.

Una eficiencia de la separación mayor al 90% también fue lograda con los decanters Alfa Laval en Bannari Amman Sugar. Un ligero aumento del consumo de polímero en Bannari Amman puede ser atribuido al hecho de que el proceso no cuenta con sulfitación lo cual genera un porcentaje más bajo de sólidos suspendidos en comparación con Gangakhed Sugar donde un paso de doble sulfitación es empleado. Este aspecto debe ser estudiado más profundamente.

Para ambos ingenios, el concentrado de la primera etapa (la fase liquida) es reciclado en el clarificador principal para recuperar el azúcar después del tratamiento. El concentrado de la segunda etapa es tomado como agua de imbibición. La torta final de la segunda etapa es llevada por una cinta transportadora para ser depositada en una tolva y finalmente llevada por camiones o tracto camiones para su disposición final. La torta final es usada como una rica fuente de nutrientes para los campos.

Desempeño con un Sistema de Filtro de Vacío de Tambor Rotativo

Base: Ingenio de 5000 TDC

Requerimiento: 2 filtros. 14’ diámetro x 24’ largo

Desempeño de los parámetros generales en un sistema de FVTR:

Rata de alimentación de Cachaza: 20 to 25 m^3/hr @ 8-12% w/w Sólidos Suspendidos
Retención de sólidos: 70% (promedio)
Sólidos en la torta: 15 to 18% w/w
Bagacillo en la torta: 8 to 10% w/w
Humedad de la torta: 72 to 77% w/w
Contenido de azúcar en la torta: 2.5% pol (promedio)
Sólidos en suspensión en el filtrado: 1.5 to 3% w/w

FVTR - 2 filtros 14' dia x 24' long

Costos Operativos:
Base: 200 días temporada de Zafra
Consumo de Energía:

Bombas de vacio	2 und	110 KW
Motor (del tambor)	2 und	15 KW
Motor del agitador	2 und	8.0 KW
Bombas de filtración	2 und	37 KW
Bomba de agua caliente	1 und	5.5 KW
Mezclador cachaza de alimentación	1 und	15 KW
Alimentador de bagacillo	1 und	22 KW
Bomba de cachaza	1 und	22 KW
Bomba de agua de lavado	1 und	5.5 KW

Energía total consumida: 240 KWH
Considerando **(0,056 EUR/KW)**4INR/KW, El costo por temporada de Zafra es de INR4.608.000 **(EUR65.250,63)**

Bagacillo requerido por filtración: 1% en caña o 50TPD
Costo por tonelada de bagacillo INR 2.000 **(EUR28,57)**
Costo total de bagacillo por temporada de Zafra INR 20.000.000 **(EUR 28.320,58)**
Consumo de Polyelectrolito: No requerido
Consumo de agua de lavado: 200 m^3/dia @ 4% en caña
Considerando costo por m^3 de INR50 **(EUR 0,70)**, el costo total por temporada es de INR 2.000.000 por temporada de zafra

Considerando 1% de vapor equivalente a 0,5% de bagaso
El costo total para la evaporación del agua de lavado para toda la temporada es de INR 10.000.000 **(EUR 141.602,94)**

Costo Aproximado de Mantenimiento: INR 600.000 **(EUR 8.496,17)** por temporada de zafra
Costo Total de Operación: INR 37.208.000 (EUR 526.876,24) por temporada
Perdidas de azúcar @ 0.06%: INR15.000.000 (EUR 212.404,42) por temporada

Desempeño con Sistema de Decantación Centrífugo Alfa Laval

Base: Ingenio de 5000 TDC

Requerimiento: 4 decantadores centrifugos – dos para la 1° etapa y dos para la 2° etapa (se recomienda un tener un decanter en standby

Desempeño de parámetros generales en un sistema de Decanters

Rata de alimentación de Cachaza: 25 m³/hr @ 4-5% w/w de sólidos en suspensión
Retención de sólidos: > 90%
Sólidos en la torta: 25 al 30% w/w
Bagacillo en la torta: No requerido
Humedad de la torta: 70 al 75% w/w
Contenido de azúcar en la torta: 0.8 al 1.5% pol (promedio 1.2)
Sólidos suspendidos en la filtración: 0.5 to 1% w/w

Decanters - 5 unidades. (considerando uno en standby)

Costos Operativos:
Base: 200 días por temporada de Zafra

Consumo de Energía:

Motor principal del decanter	4 und	96 KW
Bomba de agua caliente	1und	5.5 KW
Mezclador primera etapa de alimentación	1 und	15KW
Bomba de Cachaza	1und	15KW
Bomba para concentrado primera etapa	1 und	15KW
Agitador de cachaza para la segunda etapa	1und	15KW
Bomba para la segunda etapa	1und	15KW
Bomba para el concentrado de la segunda etapa	NA	Por gravedad
Bomba para suministro de agua de dilución	1und	5.5KW
Agitador para preparación del polielectrólito	1und	2.2KW
Bomba para dosificación de polieletrólito	2 und	7.5KW

Consumo total de energía: 192 KWH
Considerando un costo por KW de 4INR, costo total por temporada INR3.686.000 **(EUR 52.194,84)**

Costo de Bagacillo: No aplica (No se requiere bagacillo
Consumo de Polielectrolito: 50 kgs/dia

Consumo de agua: 300 m³/día @ 6% en caña
El costo total de agua no se considera ya que es usada como agua de imbibición

Costo Aproximado de Mantenimiento: INR 2.000.000 **(EUR 28.320)** por temporada

Total Costos Operativos: INR 8.686.000 (EUR 122.996,32)por temporada
Perdidas de azúcar @ 0.03%: INR 7.500.000 (EUR 106.202,2) por temporada

Costos: Decanters ALFA LAVAL Vr Filtro de vacío de tambor rotativo

COSTOS/TEMPORADA	FILTRO DE VACIO TAMBOR ROTATIVO	ALFA LAVAL DECANTERS	AHORROS/TEMPORADA USANDO ALFA LAVAL DECANTERS
COSTOS OPERATIVOS	**37.208.000** **EUR 526.876,24**	**8.686.000** **EUR 122.996,39**	**28.522.000** **EUR 403.879,92**
PERDIDAS DE AZUCAR	**15.000.000** **EUR 212.404,41**	**7.500.000** **EUR 106.202,20**	**7.500.000** **EUR 106.202,2**
COSTOS TOTALES	**52.208.000** **EUR 739.280,66**	**16.186.000** **EUR 229.198,52**	**36.022.000** **EUR 510.082,13**

Nota: Todas las cifras están expresadas en Euros
Extra costo para el sistema de Decanters es de **EUR 198.244,13** en comparación con el sistema de FVTR

Por lo tanto, el periodo de payback con la alternativa de Decanters Alfa Laval es menor a 5 meses!

Teniendo en cuenta una vida útil del equipo de 20 años, el total de ingresos adicional que se puede estimar mediante el uso de los Decanters de Alfa Laval para desendulzado de cachaza será de INR 720.400 EUR 10.201,08 para un ingenio de 5000TDC.

Beneficio Adicional
En ingenios que también operan refinerías de azúcar, los mismos decanters Alfa Laval pueden también ser usados para el desenduzado de escoria así se generan ingresos adicionales reduciendo aun más el periodo de payback .

Conclusiones

Sobre la base de los datos de operación recolectados de dos grandes instalaciones, podemos afirmar con seguridad que los Decantadores Centrifugos de Alfa Laval pueden sustituir los tradicionales filtros de vacío de tambor rotativo para el des-enduzado de la cachaza en los Ingenios Azucareros. Las ventajas/beneficios de usar los Decanters de Alfa Laval pueden ser resumidas así:

- Ahorro de bagaso el cual no es requerido como en el caso de los filtros de tambor (como auxiliar de filtración) y se puede utilizar para la producción de energía en su lugar.
- Alta recuperación de azúcar debido a las bajas perdidas de azúcar en la torta de sólidos
- Ahorro en el consumo de energía

- Calidad superior de jugo (concentrado) comparado con el obtenido de los filtros de tambor. Agua de Lavado no es adicionada a la primera etapa de separación por lo tanto se reduce la carga de evaporación
- Bajo requerimiento de área
- Operación simplificada y continua
- Bajas perdidas de la inversión debido al corto tiempo de residencia
- Sin contaminación o polución ambiental debido a que la mezcla con bagaso es eliminada por completo
- El sistema puede ser mantenido limpio ya que el decanter y la tubería pueden ser lavados con agua caliente
- Sistema totalmente cerrado – libre de fugas y salpicaduras
- Los decanters pueden manejar bajas concentraciones de lodo a diferencia de los filtros de tambor
- Baja atención a la operación – operación continua
- No requiere equipos auxiliares (bombas especiales de alimentación o vacío)

Agradecimientos:

El autor agradece la contribución del Sr. Bob McCarthy, especialista en separación de Alfa Laval de Alfa Laval, por su orientación y apoyo en la instalación de sistemas y su éxito comercial. El autor agradece a sus colegas, a saber Sr. Sameep Phansekar, Sr. Dinesh Deo y Sr. GSV Subbarao, por sus valiosos aportes. Mi sincero agradecimiento también se debe a los constructores del Sistema de Decanters, M/s. Chemical Systems y M/s. Suviron Equipments, así como al personal de los ingenios azucareros donde los Decanters de Alfa Laval están instalados.

REFERENCIAS

Steindl R. J., Rainey T .J. and Plaza F. Low moisture mud from solid bowl decanters.
Sugar Technology Mission, New Delhi (1995). Technical bulletin on successful trials of two new technologies which included use of Decanter Centrifuges for de sweetening of clarifier underflow.
Karwa R.C., Shinde M.D. and Aher W. R. (1995). A new concept – Decanter technology for mud separation.
Alfa Laval India Ltd. (1996). Report on successful trials using Alfa Laval decanters at Agauta Sugars & Chemicals.
Singhal S., Kesarwani A. and Saraswat S.N. – Chemical Systems (2009). Mud removal system – a quantum jump in technology.
Thiruppathi N., Bannari Amman Sugars Ltd. (2010). Decanter – a gift to sugar industry.

Presentaciones orales

Agricultura cañera

ASOCIACIONES FENOTÍPICAS Y REPETIBILIDAD ENTRE CARACTERES DEL FOLLAJE Y OTROS DE INTERÉS PARA LA SELECCIÓN EN POBLACIONES CLONALES DE CAÑA DE AZÚCAR *(Saccharum* spp.) EN EL VALLE DEL JUZESTÁN IRANÍ.

PHENOTIPICS ASSOCIATIONS AND REPEATIBILITY AMONG FOLIAGE CHARACTERS AND OTHERS INSTERSTING TO THE SELECCTION OF SUGARCANE CLONAL POPULATIONS IN JUZESTÁN IRANIAN VALLEY.

Masoud Parvizi Almani[1], Rolando M. González[2], Hassan Hamdi[1] y M. Fooladvand[1]

[1]IRATIS-SCBD Co, Irán; *mparvizi_almani@yahoo.com*, [2]INICA-Grupo Azucarero AZCUBA, Cuba, *rolando@inica.azcuba.cu*

Resumen

Se estudiaron las asociaciones fenotípicas y la repetibilidad de los caracteres del follaje de la caña de azúcar, a partir de estimaciones de correlaciones de Pearson, en una población clonal proveniente de 15 cruces biparentales. En total fueron valorados durante dos cepas sucesivas, planta y primer retoño, 900 clones (60 de cada cruce) propagados en la localidad de Mian Ab, ubicada en el valle del Juzestán iraní. Los caracteres considerados fueron ángulo, longitud y ancho de la hoja; número de hojas activas, longitud y diámetro del tallo, y brix promedio. También se calculó el número de tallos/m^2 y el volumen de un tallo. Finalmente, como criterio de rendimiento de caña y azúcar se calcularon respectivamente el volumen del clon y el volumen brix. Los caracteres del follaje que en mayor medida contribuyeron a la expresión del área foliar y el índice de área foliar fueron el número de hojas activas y el área del limbo, y a la expresión de este último contribuyó principalmente el ancho de la hoja. Para ambas cepas el ángulo de inserción de las hojas al tallo, medido desde el plano horizontal, y el número de hojas activas tuvieron una incidencia positiva en el incremento de los valores de brix y volumen brix. Se alcanzaron valores significativos de repetibilidad de los caracteres en correspondencia con la cantidad de individuos estudiados, los mayores correspondieron al ancho de la hoja, área foliar e índice de área foliar.

Palabras claves: Mejoramiento genético, selección clonal, índice de área foliar

Abstract

There were studied the phenotypic association and repeatability of the sugar cane canopy from estimates of Pearson correlations, in 15 biparental crosses from clone population. There were valuated during two successive harvests, cane plant and first ratoon, 900 clones (60 of each crossing), planted in the Mian Ab region, located at Iranian Khuzestan Valley. The considered characters were angle, length and width of the leaf+3; active leaves number, stalk length, diameter and brix average. The number of stalks/m^2 and a stalk volume were also calculated. Finally, as a criterion for cane and sugar yield, the clone and brix volume were calculated, respectively. The foliage features, contributing to a greater extent to the leaf area

and leaf area index expression were the leaves active number and the limbo, and the expression of the latter, contributed mainly the width leave. For both stools leaves insertion angle to the stalk, measured from the horizontal, and the number of active leaves had a positive impact on increasing the brix and volume brix values. There were reached appropriate repeatability values of characters in correspondence with individuals studied number, the highest corresponded to the leaf width, leaf area and leaf area index.

Keywords: Plant breeding, clonal selection, leaf area index

Introducción

El coeficiente de correlación (r) es un parámetro muy utilizado en la Genética Vegetal para estimar la relación que existe entre caracteres. Las posibilidades de éxito de la selección de un material genético determinado está dado entre otras cosas, por el conocimiento y uso efectivo de las asociaciones de los caracteres involucrados (Ortiz, 1982).
El estudio de las correlaciones fenotípicas brinda la posibilidad de conocer los caracteres que se asocian entre sí, y permiten dilucidar cuándo seleccionar sobre un carácter determinado, en cuáles otros caracteres se está influyendo de manera indirecta y si la influencia es positiva o negativa (Martínez, 2010).
Jorge y otros (1989) se refirieron que al no contar en caña de azúcar con las correlaciones genéticas correspondientes, el mejorador se basa en las correlaciones fenotípicas para identificar las asociaciones que puedan ser favorables o desfavorables en la selección práctica.
Patil *y otros* (2011) expusieron que los caracteres agronómicos de la caña de azúcar poseen una herencia cuantitativa y son ampliamente influidos por el ambiente, también señalaron la utilidad de los análisis de coeficientes de correlación para guiar a los mejoradores en la selección de los mejores clones.
La "repetibilidad clonal" es la correlación existente entre diferentes plantas de un mismo clon. Esta técnica es muy útil para medir la efectividad de la selección de clones de caña de azúcar y para estimar la magnitud de la interacción genotipo x ambiente (De Souza-Vieira y otros, 2003).
Charumathi y Naidu (2012) expusieron que la estrategia de selección de un programa de mejoramiento y los caracteres que constituyen la base de la selección depende en gran medida de la magnitud de las asociaciones y la repetibilidad de esos caracteres entre etapas de estudio.
Aguilar (2011) se refirió a que la distribución del área foliar de la hoja y la radiación dentro del dosel de la planta están relacionados con el proceso fotosintético, la mayor proporción de energía radiante incidente que reciben redundará en una eficiencia fotosintética aumentada. Este autor, citando a Ustin (2001), expone que a pesar de la extensa literatura sobre las características ecofisiológicas a la forma de la hoja de cultivos como la caña de azúcar y su función fotosintética, la mayoría de los estudios no han ido más allá de su identificación cualitativa y la aplicación a evaluar productividad de ecosistemas agrícolas, sin examinar los fundamentos de la mecánica de los patrones observados entre la estructura interna de la hoja y la orientación y función fisiológica, así la mayoría de estos estudios han quedado a nivel de prototipos.
En Irán no existen antecedentes de estudios de este tipo. El programa de mejoramiento del cultivo es muy joven y las actividades realizadas estuvieron confinadas casi exclusivamente a la introducción y evaluación de variedades de otros países con similares características climáticas, limitando el alcance de un desarrollo cañero verdaderamente sustentable y acercarse a las potencialidades productivas.
El objetivo del presente estudio fue determinar el grado de asociación entre diferentes variables del follaje, y de estas con el Brix, el volumen del clon y el Volumen x Brix, como expresión de la concentración de sacarosa, rendimiento agrícola y rendimiento azucarero, en poblaciones clonales de caña de azúcar evaluadas en dos cepas sucesivas (planta y retoño).

Materiales y Métodos

La investigación fue realizada por el Instituto de Investigaciones y Entrenamiento de la Caña de Azúcar de Juzestán en la localidad de Min Ab, ubicada a los 31º 50´ de Latitud Norte y los 48º 33´ de Longitud Este, en el suroeste de Irán, a una altura de 40 msnm. De una población de posturas proveniente de 15 cruces biparentales, se tomaron 900 individuos al azar (60 de cada cruce) para su propagación clonal en la misma localidad en noviembre de 2008. Cada clon ocupó parcelas de dos metros, dejándose una separación de un metro entre clones en el mismo surco. La separación entre surcos fue de 1.52 m. Los clones fueron evaluados durante dos años sucesivos, en las cepas de planta y primer retoño, en el mes de noviembre, a inicios del período de maduración.
Se tomaron al azar 3 tallos de cada clon en los que se evaluaron directamente o estimaron con posterioridad los caracteres descritos en la Tabla I. El volumen del clon y el volumen brix fueron tomados

como criterio de rendimiento de caña y azúcar respectivamente. Todas estas evaluaciones se realizaron en correspondencia con lo establecido por Jorge y otros, 2002.

Tabla I. Relación de caracteres evaluados directamente en cada fenotipo

Carácter evaluado	**Unidad de medida**	**Especificaciones**
Caracteres evaluados directamente		
Ángulo de la hoja	grados sexagesimales (º)	Desde la horizontal hasta la parte media de la hoja.
Longitud del limbo	metros (m)	Desde el dewlaps hasta el ápice.
Ancho del limbo	centímetros (cm)	En la parte media de la hoja.
Hojas activas	u	Cantidad de hojas que poseían más del 50% del limbo verde.
Longitud del tallo	m	Desde la base hasta el último dewlaps visible (TVD).
Diámetro del tallo	cm	En la parte media del tallo.
Número de tallos en 2 m	u	Total de tallos de cada clon.
Brix Inferior	%	Sólidos totales disueltos en el jugo de caña.
Brix Superior		
Caracteres estimados a partir de los evaluados directamente		
Área del limbo	cm^2	Longitud del limbo x Ancho del limbo x 70 (Lerch *y otros*, 1977)
Área foliar	m^2	(Área del limbo x HAct x No. de tallos) / 10000
Índice de area foliar	-	Área foliar / m^2
Número de tallos	m^2	No. de tallos / (2 * 1,52)
Brix Promedio	%	(Brix inferior + Brix superior)/2
Volumen de un tallo	dm^3	3.1416/4 * Diámetro del $tallo^2$ * Longitud del tallo
Volumen del clon	dm^3/m^2	Volumen del tallo x Numero de tallos
Volumen brix	dm^3/m^2	(Volumen del clon x Brix promedio) / 100

Se estimaron las asociaciones fenotípicas entre las variables del follaje estudiadas en las cepas evaluadas, así como entre estas variables y el volumen del clon y el volumen brix. También se calculó la repetibilidad de cada carácter evaluado en el mismo clon en ambas cepas. Tanto las asociaciones fenotípicas como las repetibilidades fueron determinadas a través del coeficiente de correlación de Pearson, para lo cual se empleó el software estadístico InfoStat (2008).

Resultados y Discusión

Los valores del coeficiente de correlación (debajo de la diagonal negra) entre las variables del follaje y el nivel de significación de los mismos (encima de la diagonal negra), cuando los clones fueron evaluados en las cepas de planta, se presentan en la Tabla II. Como era de esperar se aprecia una correspondencia absoluta y directa entre las evaluaciones de área foliar e índice de área foliar, siendo éste último carácter más útil para la comparación de su valor entre diferentes superficies evaluadas, condiciones ambientales y cultivos (Gunnula y otros, 2011; Aguirre-Salado y otros, 2011).

Los caracteres del follaje que en mayor medida contribuyeron a la expresión del área foliar y el índice de área foliar fueron hojas activas y área del limbo, y en la expresión de este último, incidió más directa y positivamente el ancho del limbo que la longitud del limbo. La asociación encontrada entre estos últimos componentes, aunque numéricamente mucho más pequeña (0.14) también resultó significativa. De igual

manera se obtuvieron correlaciones directas y significativas entre ángulo de la hoja v.s. hojas activas (0.13), área foliar e índice de área foliar (0.17), siendo esta variable prácticamente indiferente con relación a la expresión de longitud del limbo y ancho del limbo. Estudios posteriores de estimación de heredabilidad, correlaciones genéticas y respuesta a la selección independiente y directa para cada carácter, y la evaluación de su efecto en los restantes, contribuirán a considerar el valor práctico de estos resultados.

En la Tabla III se muestran las asociaciones fenotípicas estimadas entre los mismos caracteres en la cepa de retoño. En ella se observa la misma correspondencia directa y absoluta entre las evaluaciones de área foliar e índice de área foliar mencionada en la cepa de planta. Por otra parte el ancho del limbo alcanza en esta cepa una mayor contribución a la manifestación del área foliar y el índice de área foliar, siendo su efecto superado solo por el área del limbo, pues las hojas activas alcanzan una asociación inferior. Se hacen más fuertes las asociaciones entre longitud del limbo y ancho del limbo y de estos caracteres con el área del limbo. También el ángulo de la hoja alcanzó una asociación directa y significativa con las hojas activas (0.16), pero reportó correlaciones negativas con el ancho del limbo y el área del limbo.

Tabla II. Coeficientes de correlación\probabilidades entre variables del follaje en la cepa de planta (n=900).

	Ángulo de la hoja	**Longitud del limbo**	**Ancho del limbo**	**Hojas activas**	**Área del limbo**	**Área foliar**	**Índice de área foliar**
Ángulo de la hoja	1.00	0.25	0.29	0.00	0.17	0.00	0.00
Longitud del limbo	0.04	1.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
Ancho del limbo	0.04	**0.14**	1.00	0.77	0.00	0.00	0.00
Hojas activas	**0.13**	-0.06	0.01	1.00	0.48	0.00	0.00
Área del limbo	0.05	**0.67**	**0.82**	-0.02	1.00	0.00	0.00
Área foliar	**0.17**	**0.37**	**0.38**	**0.57**	**0.50**	1.00	0.00
índice de área foliar	**0.17**	**0.37**	**0.38**	**0.57**	**0.50**	**1.00**	1.00

Tabla III. Coeficientes de correlación\probabilidades entre variables del follaje en la cepa de retoño (n=900).

	Ángulo de la hoja	**Longitud del limbo**	**Ancho del limbo**	**Hojas activas**	**Área del limbo**	**Área foliar**	**Índice de área foliar**
Ángulo de la hoja	1.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.19	0.19
Longitud del limbo	-0.04	1.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00
Ancho del limbo	**-0.11**	**0.28**	1.00	0.65	0.00	0.00	0.00
Hojas activas	**0.16**	-0.06	0.02	1.00	0.39	0.00	0.00
Área del limbo	**-0.11**	**0.72**	**0.85**	-0.03	1.00	0.00	0.00
Área foliar	0.04	**0.44**	**0.56**	**0.49**	**0.64**	1.00	0.00
Índice de área foliar	0.04	**0.44**	**0.56**	**0.49**	**0.64**	**1.00**	1.00

También las variables del follaje alcanzaron asociaciones directas y significativas con el volumen del clon, representativo del rendimiento agrícola (Tabla IV). Las más estrechas, en ambas cepas evaluadas, fueron observadas entre volumen del clon v.s. área foliar e índice de área foliar, y entre los caracteres componentes del área foliar la mayor asociación correspondió al ancho del limbo, por lo que podemos inferir que dicha característica interviene en mayor medida en la producción agrícola que la longitud del limbo y el hojas activas, como resultado de su mayor contribución a las estimaciones del área del limbo, área foliar e índice de área foliar antes advertida.

En correspondencia con la observación anterior, Sandhu y Gilbert (2011) informaron un incremento lineal entre el índice de área foliar y la etapa de crecimiento del cultivo, indicaron que el r^2 entre este índice y el rendimiento agrícola fue incrementándose hacia las etapas finales de desarrollo del cultivo, llegando a alcanzar valores de r^2= 0.66-0.87.

Tabla IV. Coeficientes de correlación (r) entre variables del follaje y el volumen de cada clon en las cepas evaluadas y probabilidades (n=900).

		Carácter	**r**	**Probabilidad.**
PLANTA	Volumen del clon *v.s.*	Ángulo de la hoja	0.24	0.00
		Longitud del limbo	0.10	0.00
		Ancho del limbo	0.26	0.00
		Hojas activas	0.07	0.05
		Área del limbo	0.25	0.00
		Área foliar	0.53	0.00
		Índice de área foliar	0.53	0.00
RETOÑO	Volumen del clon *v.s.*	Ángulo de la hoja	-0.02	0.55
		Longitud del limbo	0.12	0.00
		Ancho del limbo	0.34	0.00
		Hojas activas	0.18	0.00
		Área del limbo	0.30	0.00
		Área foliar	0.56	0.00
		Índice de área foliar	0.56	0.00

Las correlaciones estimadas entre los caracteres del follaje y las evaluaciones de Brix, como criterio de contenido azucarero, y volumen brix, como criterio de producción de azúcar, son mostradas en las Tablas V (cepa de planta) y VI (cepa de retoño). Se aprecia que para ambas cepas el ángulo de inserción de las hojas al tallo, medido desde la horizontal, y el número de hojas activas están asociados directa y significativamente con el brix promedio y el volumen brix, lo que sugiere que los clones con follaje más erecto y mayor cantidad de hojas activas en el momento evaluado concentran mayor cantidad de sacarosa en sus tallos, y alcanzan una mayor producción de azúcar por área.

Tabla V. Coeficientes de correlación (r) entre variables del follaje *v.s.* brix y brix-volumen de cada clon en la cepa de planta y probabilidades (n=900).

	r		**Probabilidad**	
	Brix promedio	**Volumen brix**	**Brix promedio**	**Volumen brix**
Ángulo de la hoja	**0.16**	**0.27**	0.00	0.00
Longitud del limbo	-0.05	**0.08**	0.13	0.01
Ancho del limbo	-0.04	**0.24**	0.28	0.00
Hojas activas	**0.08**	**0.08**	0.01	0.01
Área del limbo	-0.06	**0.22**	0.08	0.00
Área foliar	-0.03	**0.50**	0.44	0.00
Índice de área foliar	-0.03	**0.50**	0.44	0.00

Resulta interesante señalar que las asociaciones estimadas entre el Brix y los componentes del follaje: longitud, ancho y área del limbo, fueron en todos los casos negativas, algunas de las cuales llegan a

alcanzar significación estadística en la cepa de retoño. Taiz y Zeiger (2010) se han referido a que el ajuste del área foliar es un cambio muy importante a largo plazo que mejora la aptitud de la planta en un entorno de agua limitado, condición existente en el momento en que fueron realizadas las evaluaciones del presente estudio.

En sentido general, en ambas cepas, los valores superiores de las diferentes variables del follaje analizadas, contribuyen a obtener mayores producciones de azúcar por área y de nuevo se observa una mayor contribución del ancho de la hoja, componente del follaje que alcanza elevadas asociaciones con el volumen brix.

Tabla VI. Coeficientes de correlación (r) entre variables del follaje *v.s.* brix y brix-volumen de cada clon en la cepa de retoño y probabilidades (n=900).

	r		**Probabilidad**	
	Brix promedio	**Volumen brix**	**Brix promedio**	**Volumen brix**
Ángulo de la hoja	**0.10**	0.08	0.00	0.02
Longitud del limbo	-0.04	**0.10**	0.23	0.00
Ancho del limbo	**-0.14**	**0.28**	0.00	0.00
Hojas activas	**0.18**	**0.24**	0.00	0.00
Área del limbo	**-0.12**	**0.25**	0.00	0.00
Área foliar	0.00	**0.55**	1.00	0.00
Índice de área foliar	0.00	**0.55**	1.00	0.00

En la tabla VII se muestran los valores de repetibilidad estimados para las variables del follaje, los que se puedan considerar de elevados, a pesar de la magnitud del mismo, si tenemos en cuenta que son calculados a partir de las evaluaciones realizadas a 900 individuos, todos ellos resultaron significativos. Los caracteres más repetibles fueron el área foliar, el índice de área foliar y el ancho de la hoja.

Tabla VII. Repetibilidad de los caracteres del follaje evaluados en las cepas de planta y retoño.

Carácter	**r**	**Probabilidad**
Ángulo de la hoja	0.27	0.00
Longitud del limbo	0.11	0.00
Ancho del limbo	0.34	0.00
Hojas activas	0.19	0.00
Área del limbo	0.23	0.00
Área foliar	0.36	0.00
Índice de área foliar	0.36	0.00

Conclusiones

La investigación realizada permitió identificar la importante contribución del ancho de la hoja en la determinación del área foliar y el índice de área foliar en las poblaciones clonales estudiadas. Asimismo sugiere asociar la selección de clones con follaje más erecto y mayor cantidad de hojas activas, a principios de la estación de cosecha, con una mayor concentración de sacarosa en sus tallos y capaces de alcanzar una mayor producción de azúcar por área, lo que implica la obtención de beneficios adicionales en la estrategia de mejora. Sin embargo estos resultados requieren ser precisados con estimaciones de heredabilidad, realización de selecciones independientes sobre cada carácter y posterior evaluación del efecto alcanzado en los restantes. Las repetibilidades estimadas sugieren cierta confiabilidad en el uso de

las variables del follaje: ángulo de la hoja, ancho de la hoja y área foliar como criterios de selección de clones con elevada productividad.

Referencias

Aguilar N. (2011). Factores limitantes de la productividad del cultivo de caña de azúcar (Primera parte). *ATAM*, Vol. 24, No.1, 23-32.

Aguirre-Salado C.A., Valdez-Lazalde J.R., Ángeles-Pérez G., Santos-Posadas H. de los, Aguirre-Salado A.I. (2011). Mapeo del índice de área foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos SPOT 5 HRG: regresión y k-nn., Agrociencia, Vol. 45, No. 1, 105-119.

Charumathi M. and Naidu N.V. (2012). Repeatability of cane yield and yield components in seedling and succeeding clonal stages of selection in sugarcane. Proceedings of 71st Annual Convention of STAI, 271-281.

De Sousa-Vieira O., Rea R. y Briceño R. (2003). Uso de la repetibilidad clonal en la selección de ambientes en ensayos regionales de variedades de caña de azúcar en los estados Lara y Yaracuy. *Bioagro* vol.15 no.2 Barquisimeto-Cabudare, Venezuela. ISSN 1316-3361, 77-82.

Gunnula W., Kosittrakun M., Righetti T.L., Weerathaworn P. y Prabpan M. (2011). Normalized difference vegetation index relationships with rainfall patterns and yield in small plantings of rain-fed sugarcane. AJCS 5(13), ISSN 1835-2707, 1845-1851.

InfoStat (2008). *InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina, 142-143.

Jorge H., González R., Casas M.A. y Jorge I. (2002). Normas y Procedimientos del Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Publinica, Ciudad de La Habana ISSN 1028-6527: 315 pp.

Martínez M, Ortiz R. Ríos H. y Acosta R. (2010). Análisis de correlaciones en poblaciones cubanas de maíz. *Cultivos Tropicales*, vol. 31 no. 2, ISSN 0258-5936, 15pp.

Ortiz R. (1982). Asociación y repetibilidad de algunos caracteres en el lote clonal. *Ciencia y técnica en la Agricultura Cañera*. 2 (1), 32-46.

Patil S.B., Hapase R.S., Sushir K.V. and Repale J.M. (2011). Correlation and path coefficient analysis in sugarcane. *Balancing Sugar and Energy Production in Development Countries: Sustainable Technologies and Marketing Strategies*, New Delhi, India, 588-591.

H. S. Sandhu and R.A. Gilbert (2011). Relationship among leaf area index, visual growth ratings, and biomass yield in sugarcane. Proc. ASSCT. *International Sugar Journal* (Abstracts), Vol. 113, No. 1354, 745pp.

Jorge H., García H., Gimenez N. y Rodríguez E. (1989). Asociación y repetibilidad de algunos caracteres en clones de caña de azúcar. Rev. *ATAC* 48 (6), 2-6.

Taiz L. and E. Zeiger (2010). Plant Physiology. Fifth Ed. Sinauer Associates, Inc. Publisher: 782pp

TRAITS FOR EARLY-GENERATION SELECTION TO ENHANCE SUGARCANE PRODUCTIVITY UNDER A NORMAL IRRIGATED REGIME

Patil Sanjay B[1], Khadi, B.M[2] And Biradar P. S[3]

[1]Agricultural Research Station, Sankeshwar-591 314. Email:sbp_ars@rediffmail.com

[2]University of Agricultural Sciences, Dharwad-5, Email:bmkhadi@rediffmail.com

[3]Nandi Sugars, Hosur (Bijapur Dist.)

Karnataka India

ABSTRACT

Sugarcane is an important commercial crop cultivated predominantly as an annual irrigated crop in tropical and sub tropical India, sustaining the second largest organized agro-based industry. But the cost of sugarcane production is high because productivity even under a normal irrigated environment, which is country's major cane growing agro ecology, is moderate. Development of sugarcane varieties with improved cane and sugar productivity under existing normal irrigated environment assumes greater importance.

The current selection cycle in sugarcane is lengthy, extensive and expensive therefore practical breeding programs emphasize intensive assessment and early exploitation of useful genetic variability. The efficiency of selection depends to a large extent upon the genetic variability and magnitude of repeatability of important productivity related traits between seedling and subsequent clonal generations. In this context, studies were undertaken to identify traits for early generation selection involving 3,124 hybrid progenies derived from 45 diverse inter-varietal crosses.

The results of the investigation reveal that for advancing productive clones from base population (seedling stage), selection can be based on tiller number, number of millable canes (NMC) and hand-refractromatic brix (^{o}) as these are most reliable, repeatable and practicable (easy to assess). Further for isolation of most productive clones from pre-selected progenies in clonal stages, traits *viz*., single-cane weight (SCW) and inter-nodal length are most dependable, reliable and practicable. Hence, selection based on traits identified for specific stages for improving productivity under normal irrigated environment were effective and useful.

Key words: Early generation selection; normal irrigated; repeatability; sugarcane productivity

INTRODUCTION

Sugarcane varietal improvement involves genetic enhancement of the production potential. Sugarcane is grown mainly for sugar and its output is the ultimate character that must show improvement over the current standards. This could be achieved indirectly through several ways higher cane yield, better juice quality (sugar content), earliness of sugar accumulation, better ratooning ability, higher tolerance to insect pests, and abiotic stresses. Introgression of wild germplasm is time consuming and requires considerable efforts and resources with slower progress. In comparison, breeders recognized intercrossing of the already existing commercial varieties, a faster and more viable option to generate the variability required to cater the location specific immediate needs.

In view of the enormous initial population, some amount of culling is imposed even at the seedling stages in order to reduce the population to manageable size and to increase the frequency of desirable genotypes in subsequent clonal generations. Seedlings are eliminated based on (a) poor vigour (b) defects in agronomic characters and (c) susceptibility to pests and diseases.

The sugarcane breeding has been based mainly on visual discrimination of seedlings, ever since the first hybrid crop was raised. For improving efficiency of breeding for cane yield, identification of superior genotype or selection has to be initiated in first generation (sexual) itself. The early generation selection depends upon the nature and magnitude of phenotypic and genotypic variability for traits and repeatability between stages.

MATERIALS AND METHODS

The crosses involving diverse commercial sugarcane varieties comprising of elite clones known for high sugar, early maturity and tolerance to various stresses were effected at National Hybridization Garden (NHG), Sugarcane Breeding Institute, Coimbatore. Totally 3124 sturdy hybrid seedlings derived from 45 diverse inter varietal crosses were transplanted in an augmented randomized block design –II (Federer, 1956,1977), with 22 blocks with four commercial check varieties *viz.*, CoC 671, Co 86032, CoM 88121 and Co 740 at ARS, Sankeshwar (UAS, Dharwad) under normal irrigated environment. Each block comprised of 142 seedlings and four check varieties. The trial was planted with 0.9 m spacing between rows and 0.6 m between seedlings within a row. The gaps were filled with corresponding hybrid seedlings, after 15 days to ensure the cent percent population. Recommended cultivation practices were carried out during the crop season. The seedling population was evaluated for various cane yield traits *viz.*, tillers per seedling (at 90 days after transplanting), cane girth (cm), millable cane height (cm), number of internodes, internode length, number of millable canes (NMC), single cane weight (SCW) (kg), cane yield (kg per clump) and hand refractometer (HR) brix (%) (270 days after transplanting). A total of 828 seedlings were selected based on superior or on par cane yield and/or HR brix (%) compared to best commercial check. The selected 828 progeny clones were planted in 3 m row length in an augmented RBD-II with 13 blocks (CT-I). The seed rate of 12 eye buds m^{-1} and other recommended practices were followed for raising crop.

RESULTS AND DISCUSSION

The amount of variability present in breeding material plays an important role in the progress of improvement of crop plants through selection.

The progress achieved through selection not only depends on the amount of variability present in the population but also on the extent to which it could be transferred from parent to offspring. Heritability in broad sense is the ratio of genotypic variance to the phenotypic variance and it represents the proportion of heritable variation.

The analysis of variance showed highly significant differences for all the characters studied in the seedling (sexual) generation comprising of progenies of 45 diverse crosses involving diverse commercial varieties, thereby indicating the sufficient amount of genetic variability in the population (data not shown).

Range of variation is one of the simple approaches for examining the variability. In the present investigation very wide range of variation for all the characters under study in seedling generation was observed than the reported ranges of Singh *et al*. (1995), and Doule and Balasundaram (2003). Considering this, it may be concluded that, there is ample scope for selecting progenies (seedlings) with desirable productivities of both cane yield and HR brix (Table I).

Table I. Mean, range, and variability parameters for cane yield, its components and HR Brix (%) in seedling and Clonal generations under normal irrigated environment in sugarcane.

Characters	Generation	No. of seedlings/ clonal progenies	Mean	Range*			GCV (%)	PCV (%)	Heritability (%)	Genetic advance	GAM (%)
1. Tillers / seedling	Seedling	3124	5.15	1.00	-	38.00	225.03	251.98	89.30	6.63	128.68
	Clonal-I	828	42.42	2.00	-	100.00	291.67	628.87	46.38	15.61	36.79
2. Average cane girth (cm)	Seedling	3124	2.32	0.60	-	4.50	4.10	7.41	55.32	0.47	20.35
	Clonal-I	828	2.50	1.40	-	3.23	1.32	4.99	26.54	0.19	7.73
3. Average millable cane height (cm)	Seedling	3124	300.15	30.00	-	430.00	999.72	1198.97	83.38	103.04	34.33
	Clonal-I	828	254.93	24.00	-	350.00	28.89	216.75	13.33	6.45	2.53
4. Average number of Internodes	Seedling	3124	23.89	5.00	-	46.00	116.55	140.54	82.93	9.90	41.43
	Clonal-I	828	20.94	8.00	-	28.00	9.02	40.74	22.14	1.33	6.36
5. Average internodal length (cm)	Seedling	3124	13.19	1.11	-	32.00	98.68	112.22	87.94	6.97	52.84
	Clonal-I	828	12.35	1.00	-	18.80	12.33	21.80	56.55	1.91	15.48
6. Number of millable canes / clump	Seedling	3124	4.19	1.00	-	33.00	208.14	217.78	95.57	5.95	141.99
	Clonal-I	828	25.90	2.00	-	62.00	249.08	357.74	69.63	13.81	53.31
7. Average single cane weight (kg)	Seedling	3124	0.69	0.16	-	2.99	4.03	12.92	31.19	0.19	27.81
	Clonal-I	828	1.28	0.42	-	4.33	20.63	26.99	76.42	0.93	72.19
8. Cane yield (kg) / clump	Seedling	3124	2.69	0.27	-	27.49	179.46	181.90	98.66	4.50	167.04
	Clonal-I	828	28.78	1.10	-	40.00	37.04	56.17	65.93	5.46	18.98
9. Average HR Brix (%)	Seedling	3124	15.55	1.40	-	23.00	37.66	46.26	81.42	4.50	28.93
	Clonal-I	828	15.23	8.00	-	22.12	36.57	47.51	76.97	4.27	28.00

The GCV and PCV measures of variability gives an information regarding the relative amount of variation in different traits. In the present study, very high variability estimates were observed for tillers, millable cane height, number of internodes, internodal length, millable canes, cane yield and HR Brix per cent, indicating selection for these characters is expected to achieve profitable gains. Moderate estimates of GCV and PCV were recorded in the present investigation for cane girth and single cane weight.

Among the cane yield components, cane girth and single cane weight exhibited lowest values of GCV and PCV. The results of the present study are in accordance with the findings of Silva *et al*., (2002). The moderate variability values observed in the present investigation indicate the limited scope to improve these characters by selection alone.

Heritability and Genetic advance

In the present study, among cane yield and its seven important components, cane yield, number of millable canes, tillers, average internodal length, average millable cane height and average number of internodes had high heritability. The characters number of millable canes, tillers and cane weight (clump weight) had very high genetic advance as per cent of mean in addition to high heritability suggesting that these attributes were under additive genetic control (Panse, 1957) and these can be improved by straight selection.

The other cane yield components like average number of internodes and average internodal length had moderate genetic advance as per cent of mean where as the average millable cane height showed lower genetic advance. This finding is in accordance with the report of Ramdoyal and Badaloo (1998) for internodal length.

The average cane girth and average single cane weight exhibited moderate and lower heritability respectively and lower genetic advance as per cent of mean indicating predominance of non-additive gene action or more environmental influence, as also supported by larger difference between GCV and PCV values.

The heritability estimates for HR brix in seedling generation was high with moderate genetic advance as per cent of mean. Similarly, high heritability estimates were reported by Hemaprabha *et al*. (2003). The results obtained in the present study indicate, improvement can be achieved by resorting to direct selection based on HR brix.

Genetic parameters for various traits in clonal generation

Genotypic and phenotypic coefficients of variability

The range of variability for the above traits was sufficient to exercise selection for achieving higher sugar and cane productivity compared to existing varieties under normal irrigated environment. Similar results reported by Thippeswamy *et al.* (2001) in fairly large clonal collection under normal irrigated environment.

The present findings evindenced availability of large variability for important cane yield components (tillers per plot, average internodal length, number of millable canes, average single cane weight and HR brix per cent). Considering this, it may be concluded that the pre-selected clonal population used in the present study are valuable with wide variability for above traits. However, there is a still some scope to augment the population to represent more variation with respect to average cane girth, average millable cane height and average number of internodes, as they have shown comparatively lower amount of variability in the population studied.

Heritability and genetic advance

The traits *viz.*, average HR brix per cent, average single cane weight and number of millable canes exhibited higher heritability coupled with moderate to high genetic advance as per cent of mean. Ther higher heritability with higher genetic advance is indicative of additive gene action

(Panse 1957). This indicates considerable scope for selecting or identifying clones with high cane yield potential and relatively high HR birx per cent under normal irrigated environment.

Moderate heritability estimates were observed for cane yield, average internodal length, germination per cent and tillers per plot with moderately lower genetic advance as per cent of mean. Hence selection based on these attributes under normal irrigated environment is not expected to be of much use.

In the present study, lower heritability estimates were observed for average cane girth, average millable height and average number of internodes coupled with lower genetic advance as per cent of mean. These lower values for these traits might be attributed to the population for high cane yield features with high HR brix per cent. In these circumstances, there is urgent need to utilize other parental clones which can realy contribute towards improving these cane yield components under normal irrigated conditions.

Repeatability of traits between seedling and settling generations

The current selection cycle for a sugarcane is lengthy and more extensive. There is a necessity to reduce the locations/ environments for clonal evaluation, without loss of information and without any reduction in precision in order to improve the efficiency of the programme as economic factors are now exerting pressure on breeding programmes to become more efficient and produce better varieties while reducing costs. If the repeatability values for important selection traits high and significant, there is scope to excercise selection and also to reduce the locations for large clonal evaluations in early stages.

In the present investigations, inter stage repeatabilities between seedling and settling generations were estimated for nine important cane and sugar yield traits in the progenies 45 diverse inter varietal crosses (Table II).

Table II: Repeatability values for productivity related traits between seedling and clonal generation under normal irrigated environment in sugarcane.

Sl.No	Character	Between seedling & CT-I
1	Tiller number	0.118**
2	Cane girth (cm)	0.129**
3	Millable cane height	0.089*
4	No. of Internodes	0.031
5	Internodal length (cm)	0.30**
6	NMC	0.171**
7	SCW (kg)	0.648**
8	Cane yield/plot	0.048
9	HR Brix %	0.244**

Among the eight cane yield components and one quality trait HR brix per cent, tiller number, number of millable canes and single cane weight and HR brix per cent had highly significant and moderately higher repeatability values. Of these, single cane weight and HR brix recorded higher repeatabilities between seedling generation and clonal generations across the environments. In the present study, low to moderate repeatability values were highly significant due to high degrees of freedom. On the contrary, number of internodes, millable cane height, of internodal length and cane yield had very lower repeatability values.

Traits like number of internodes, millable cane height, internodal length and cane yield exhibited poor repeatability values indicating, major role of environmental factors which influence on these traits.

The environment interferes with the ability of the breeder to identify superior genotypes and predict their behaviour in advanced clonal stages. It is expected that environmental effects on ultimate expression of characters are larger at early selection stages due to small size of plots. To speed up the breeding process especially interms of reducing testing environments, early diagnosis is useful in the selection of sugarcane hybrid progenies. Identification of highly repeatable traits across the diverse environments in the early clonal populations reduces the breeding cost and intensifies the selection.

CONCLUSIONS

In the seedling population, very wide range of genotypic variations were observed for tillers, millable cane height, number of internodes, internodal length, NMC, cane yield and HR brix per cent, indicating selection for these characters is expected to achieve profitable gains. Comparatively moderate variability was observed for cane girth and single cane weight, suggesting more directed efforts to achieve improvement in these traits.

Similarly the other parameters like heritability and genetic advance as per cent of mean for above traits suggested better chances of improving these traits through straight selection, while for later traits *viz*., cane girth and single cane weight, the values were moderate and lower respectively, indicating predominance of non-additive gene action or environmental influence.

Most of the important cane and sugar yield parameters except cane girth, millable cane height and number of internodes were valuable with wide variability. However there is a need to augment the present population to represent more variation with respect to internode number and cane girth and millable height to exercise selection efficiently under normal irrigated environment.

There is considerable scope for selecting clones with higher productivities of both cane and sugar under normal irrigated environment, as traits like HR brix per cent, single cane weight and NMC exhibited higher heritability coupled with moderate to high genetic advance which is indicative of additive gene action.

Among various cane and sugar yield component traits, the tiller number, NMC, single cane weight and HR brix per cent had highly significant and moderately higher repeatability values. In addition to this, all these traits except single cane weight had higher heritability value, indicating effective selection can be imposed in the seedling generation itself.

REFERENCES

Federer, W.T., (1956). Augmented (or hoonuiaku) designs. BU-74-M.Feb.

Federer, W.T., (1977), *Experimental Design, Theory and Application*. McMillan, New York.

Doule,R.B. and Balasundaram,N., (2003), Genetic variability and genetic advance for population parameters at different ages of sugarcane. *Indian Sugar*, 53, 691-693.

Ramdoyal, K. and Badaloo,G., (1998), Inheritance of agronomic traits in commercial hybrid sugarcane populations in contrasting environments and indifferent crop cycles. *Journal of Genetics and Breeding.* 52, 361-368.

Hemaprabha, G., Natarajan, U. S. and Balasundaram, N., (2003), Breeding behaviour for juice quality through selfing and progeny evaluation in hybrid clones and inbred derivatives of sugarcane (Saccharum spp.).*Sugar Technology*, 5, 177-180.

Thippeswamy,S., Kajjidoni,S.T., Salimath,P.M., Goud,J.V. and Chetti,M.B., (2001), Variability, heritability and genetic advance for cane yield and its components in sugarcane, *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 14, 30-34.

Panse, V. G., (1957), Genetics of quantitative characters in relation to plant breeding. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 36, 58-61.

Silva, M., P. Goncalves, M. G. Landell, J. A. Bressiani, and M. Landell. (2002). Estimates of genetic parameters and expected gains from selection of yield traits in sugarcane families. *Crop Breed. and Appl. Biotech.* 2, 569-577.

Singh,R.K., S. Singh, and G.P. Singh. (1995). Genetic variability and yield relationship in adult sugarcane seedlings. *Sugarcane.* 1, 18-21.

ENFOQUE DE PROCESO EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR. GERENCIA AGRÍCOLA - ALUR

PROCESS APPROACH TO THE DESIGN OF A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF CANE SUGAR

Eduardo Casanova Cabeza[1], Héctor Rodríguez Caballero[2]. Juan Carnell[3], Fernando Hackembruch[3], Hugo Bittencourt[3], Germán Panissa[3], Juan Santana[3], Álvaro Tadeo[3], Alberto Elordoy[3], Sebastián Elordoy[3], Carlos Di Paola[3], Sergio Señoranes[3], José M. Sauceda[3]

1. ICIDCA, eduardo.casanova@icinaz.minaz.cu
2. INICA, hectalejandro2010@yahoo.es
3. Colectivo de técnicos de campo de la Gerencia Agrícola, ALUR (Alcoholes de Uruguay).

Resumen

Se diseñó e implantó un Sistema de Gestión de la Calidad para la producción de caña de azúcar. Se tomó como base el servicio de extensionismo que la Gerencia Agrícola de la empresa en cuestión tenía organizado para brindar asistencia técnica a sus proveedores de caña.

Se clasificaron los proveedores según su eficacia y eficiencia. Se elaboró la planificación estratégica de la Gerencia Agrícola, se definió su proceso clave, se procedió a su mapeó, se elaboró e implantó la documentación que asegurara una producción ordenada mediante un sistema de gestión de calidad. Este asegurará el cumplimiento de las mejores prácticas agrícolas según la experiencia local y la reconocida por la literatura más actualizada.

En una tabla se comparan los valores alcanzados por algunos de los indicadores de desempeño a los dos años de implantado el sistema. Se anexa, a modo de ejemplo, el método seguido en la elaboración de la ficha del subproceso de siembra.

Palabras clave: caña de azúcar, sistemas de gestión de calidad.

Abstracts

A quality management system for cane sugar production has been designed. The *extensionism* service that had been organized by the agricultural area in order to offer technical help to its providers was taken as a starting point / basis.

Providers were classified according to their efficiency and efficacy. The strategic plan was laid, its key process was defined, the documentation needed to guarantee an organized production was elaborated and established. This will provide the achievement of the best agricultural practice, according to local experience and to updated literature.

The level reached by some of the performance indicators two years after the system was applied is shown in a chart. To illustrate the method used, a record of the sowing sub-process is attached.

Key words: sugar cane, quality management system.

Introducción

La producción de caña constituye el eje central de la agroindustria cañera, sólo es posible alcanzar la eficacia y la eficiencia en el sector si se parte de una producción cañera que satisfaga ambos aspectos. Existen dos problemas estratégicos, que pueden considerarse comunes en casi todos los escenarios y que deben ser resueltos para obtener logros económicos significativos:

- **Altos costos de producción de caña**, influidos por diversos factores. (alza en los precios de los principales insumos y labores altamente costosas, como pueden ser: riego, fertilización, cosecha, etc).

- **Baja productividad en una parte importante de los productores**, en lo cual resulta determinante el manejo en las principales labores dentro del proceso productivo. (Preparación de suelos, siembra, calidad de la semilla, variedad, marco de plantación, control de malezas, fertilización y riego).

En la inmensa mayoría de los países cañeros la producción de encuentra en manos de productores independientes y está determinadas por las formas de tenencia de tierra que exista en la localización de que se trate. El componente materia prima, caña, en el costo de producción de azúcar fluctúa entre el 60 y el 65 % y por tanto también es interés de la industria el tener abastecedores de materia prima de calidad y a costos que le permitan una alta rentabilidad de sus instalaciones.

La implantación de sistemas de gestión de calidad en la producción cañera se dificulta por diversos factores que van desde la resistencia al cambio de los cañicultores, hasta la falta de una organización gerencial en la explotación agrícola de que se trate.

El trabajo que a continuación se expone se ha desarrollado tratando de dar solución a los problemas prácticos e institucionales que dificultan el diseño e implantación en la mediana y pequeña explotación agrícola de un sistema de calidad basado en una norma internacional, en el presente caso la ISO 9001 vigente.

Materiales y métodos

Asistencia técnica: extensionismo

La empresa industria donde se realizó esta experiencia poseía una gerencia agrícola con el fin de brindar a todo proveedor cañero la asesoría técnica necesaria. Dicha gerencia asumiría la tarea de, en función del cumplimiento en tiempo y forma de las labores correspondientes al proceso productivo cañero, proponer a la organización el otorgamiento o no del financiamiento requerido para la producción de caña con la calidad, en la cantidad y en el momento que lo requiriese la fábrica.
La existencia de este servicio de asistencia técnica sería el punto de partida para poder concebir una producción de caña basada en un sistema de gestión de la calidad.

Planificación estratégica con enfoque de proceso

Como pre requisitos se concibió la realización de la planificación estratégica con un enfoque de proceso de la Gerencia Agrícola con el objetivo de desarrollar un plan estratégico interno, que permitiera determinar el conjunto de objetivos, metas y procedimientos que garantizasen la interacción proactiva de la gerencia con su entorno, para contribuir a la eficiencia y eficacia de su gestión. Con este fin fueron concebidas y ejecutadas las siguientes etapas:

1) Conformación del Equipo de Dirección Estratégica
- Esquema de trabajo
- Capacitación inicial

2) Análisis Estratégico: Diagnóstico de situación inicial (DSI)
- Descripción de instalaciones
- Descripción de actividades y productos principales
- Recopilación de antecedente
- Mapeo de procesos / Procesos estratégicos, clave y de apoyo
- Análisis FODA
- Estructura organizativa / Organigrama
- Grupos de interés: clientes, proveedores, accionistas, etc.
- Análisis de la gestión operativa

3) Elaboración del Plan Estratégico de la Gerencia Agrícola
- Identificación de áreas clave de desempeño
- Identificación de brechas entre Misión-Visión
- Formulación de políticas
- Definición de objetivos generales y específicos
- Definición de indicadores de seguimiento
- Plan y modelo de implantación para el SG de la Gerencia Agrícola con asignación de recursos, responsabilidades y cronograma.
- Estrategias de difusión, comunicación
- Definición de políticas y estrategias de implantación

En las primeras etapas se procedió a la clasificación de los proveedores en cuatro grupos de trabajo:

GRUPO A. Productores que obtienen buenos resultados económicos – productivos, que en su gran mayoría tiene conocimiento sobre el cultivo de la caña de azúcar y su proceso de producción, y no presentan endeudamiento con la Empresa.

Con este tipo de grupo de trabajo se tendrían además flexibilidades de carácter financiero, con el objetivo de garantizar inversiones en herramientas de trabajo, que sustituirían a corto plazo las existentes, así como el apoyo gerencial para futuras acciones en otros aspectos.

GRUPO B. Productores que obtienen resultados económicos – productivos, aceptables, presentan endeudamientos que son fácilmente resarcibles, en su gran mayoría tienen conocimiento sobre el cultivo de la caña de azúcar y su proceso de producción, pero que su umbral productivo requiere de incrementos en torno a 8 – 10 toneladas por hectáreas más.

GRUPO C. Productores que obtienen resultados económicos – productivos deteriorados, presentan endeudamientos altos, que precisan de conocimiento sobre el cultivo de la caña de azúcar y su proceso de producción, su umbral productivo requiere de incrementos por encima de 15 toneladas por hectáreas más.

GRUPO D. Productores que sus resultados económicos – productivos son altamente desfavorables, endeudamientos extremos, altos, son los que presentan más desconocimiento sobre el cultivo de la caña de azúcar y su proceso de producción. Se evidenció que la desmotivación y la no presencia en el predio son factores de mucho peso.

Esta clasificación permitía, entre otras cosas, poder precisar la intensidad y el tipo de acciones a tomar en cada caso, precisar donde poder ejercer el benchmarking, en qué casos establecer controles más estrictos y dedicar mayor tiempo a la capacitación.

El servicio de asistencia técnica era prestado por la Gerencia Agrícola, pero el cañicultor tenía la facultad de contratar un consultor independiente o, en caso de considerar que poseía la suficiente experiencia, asumir estas funciones. Pero para la aprobación del financiamiento de las diferentes labores se debía contar con la aprobación de la Gerencia Agrícola, después de demostrar que había cumplido con los requisitos técnicos establecidos para cada subproceso o etapa del proceso productivo.

Resultados y discusión

En el proceso de elaboración de la planificación estratégica con enfoque de proceso se evidenció que el proyecto de producción de caña de la organización constituía un desafío y a la vez una oportunidad para el desarrollo productivo y social, que conllevaba aplicar la ciencia e introducir resultados locales y de otros países al proceso productivo, utilizar racionalmente los recursos humanos y los medios disponibles, para lograr rendimientos altos, reducir los costos de producción, que permitieran garantizar el éxito y la permanencia a mediano y largo plazo del Programa y lograr incrementar el nivel de vida de las familias vinculadas al mismo.

La Misión
La misión elaborada satisfacía las demandas establecidas:

- Expresa la *"razón de ser"*.
- Es una declaración precisa de lo que la gerencia hace.
- Era definida por la Alta Dirección.
- Estaba delimitada por los mandos superiores y las expectativas de los clientes.
- Y era fácil de recordar.

Misión

Producir caña de azúcar con altos rendimientos, utilización eficiente de los recursos y bajos costos de producción que garanticen ser competitivos, en el marco de una agricultura sostenible.

Los Valores
Los valores fueron definidos declarando las virtudes con que cuenta la Gerencia**,** por supuesto, la gerencia está integrada por personas y éstas a su vez deberán poseer estos valores para poder transmitirlos hacia las estrategias y a los resultados finales. Lo valores se establecieron: con un enfoque en el compromiso social, asumiendo los riesgos de la innovación de forma responsable, con una ética basadas en relaciones de ganar-

ganar con los cañicultores, así como con los clientes y asociados, asegurando un profesionalismo que garantice la auto-sustentabilidad de la empresa y con un involucramiento a través del desarrollo integral del personal.

La Visión
La visión fue elaborada teniendo en cuenta un estado futuro deseado, enfocada en la meta final, no en los medios para alcanzarla, representando las aspiraciones más elevadas de la gerencia, radical y concisa:

Visión

> **Nuestra visión es ser una gerencia agrícola sustentable, fortalecida a través de la mejora continua de sus procesos productivos, de la innovación, y del desarrollo de su capital humano. Aspiramos a ser reconocidos a nivel nacional e internacional, como una empresa líder y pionera en su modelo de producción de materia prima para la obtención de biocombustibles, alimentos y energía.**

El Proceso Clave
El proceso clave que definió la Gerencia Agrícola en ese momento era la labor de extensionismo, que permitiría dar solución a los problemas estratégicos definidos: **Altos costos de la producción de caña** y **Baja productividad en una buena parte de los productores.** Establecidos los problemas estratégicos, así como las soluciones estratégicas, se elaboró la matriz DAFO que permitió definir los objetivos principales y las tareas que permitirían lograr dichos objetivos.

El momento más importante, después de definido el proceso clave, era definir los subprocesos comprendidos en el mismo, quedando precisados de la siguiente manera: Planificación anual

1. Siembra: base y aprobación
2. Preparación de suelos
3. Sistematización de suelos
4. Semillas: selección y suministro
5. Siembra: fertilización, plantación y tapado
6. Labores culturales
7. Riego
8. Precosecha
9. Cosecha

Ficha de los subprocesos

Para cada subproceso se elaboró una ficha que comprendía los siguientes aspectos:

1. Establecer la misión del subproceso
   Debe identificar el para qué, propósito o razón de ser y el para quién se destina el subproceso, la finalidad y los clientes y usuarios. De considerarse necesario podía incluir una descripción inicial del subproceso breve y concisa, de forma que sirviera de orientación y presentación del mismo.

2. Elaborar el mapeo del subproceso en cuestión
   Mediante la elaboración de un diagrama de flujo simple y empleando los símbolos convencionales se realizó el mapeo de cada subproceso.

3. Requisitos de calidad para las entradas
   Para cada subproceso se identificaron los requisitos de entrada al mismo. Especificándose los indicadores de calidad correspondientes. Estos indicadores serían preferiblemente los que podían ser medidos cuantitativamente, sólo cuando esta posibilidad no existía se tomarían indicadores que se evaluaban cualitativamente.

4. Requisitos de calidad para las salidas
   Se tendrían en cuenta los mismos criterios que para el caso de las entradas.

5. Planificación de la actividad: métodos que se emplearán, recursos necesarios, cronograma de actividades, procesos de apoyo necesarios, etc.

   En el desarrollo de este punto se tendrían en cuenta las experiencias acopiadas por los productores categorizados como A, de manera que se había evidenciado en la práctica el logro de los mejores resultados al aplicar los métodos de ejecución de cada actividad con éxitos productivos y económicos alcanzados en la práctica.
   Para cada subproceso se llenaría un registro que contemple los siguientes aspectos:
   a) Método que se emplea para la ejecución de la actividad:
   b) Recursos necesarios para la ejecución de la tarea:
   c) Cronograma de ejecución de las actividades:
   d) Procesos de apoyo necesarios:

6. Establecer controles: punto a controlar, frecuencia, qué y cómo controlar, método de control a emplear, etc.
   Cada actividad debía ser controlada, de manera que se pudiera corregir cualquier desviación (no conformidad detectada) que se haya cometido durante la ejecución de cada actividad. Se elaboraría un registro que tendría en cuenta los siguientes aspectos:
   a) Punto de la actividad donde se efectuará el control:
   b) Frecuencia con que se realizará el control:
   c) Qué indicador se controla y
   d) Cómo se controla (cómo se mide), qué método se empleará para su control.
   e) De no existir propondrá un registro donde se recoja cada control, o se ratificará el uso del existente.

7. Precisar responsable: precisar contenido de trabajo, incluyendo los participantes.
   Se definiría para cada subproceso quien es el responsable y se indicarán cuales son los participantes en la ejecución de la actividad en cuestión.

8. Documentación necesaria: procedimientos, instrucciones, registros.
   En la elaboración de cada documento se tendrían en cuenta la experiencia de los cultivadores categorizados como A. De manera que las mejores experiencias serían las tomadas en cuenta a la hora de elaborar y aplicar los procedimientos e instrucciones que se decidieran poner en práctica.
   Para la definición y elaboración de la documentación necesaria para cada subproceso y sus actividades se seguirán los siguientes pasos:
   a) Identificación de la necesidad.
   b) Autorización de la elaboración de los procedimientos.
   c) Elaboración de diagramas de flujo.
   d) Definición del alcance.
   e) Recolección y documentación de la información actual.
   f) Preparación de un borrador del procedimiento.

g) Solicitud de comentarios sobre el borrador del procedimiento e incorporación de cambios. Cada persona responsabilizada en revisión de la documentación dejará constancia de su aprobación.
h) Aprobación.
i) Aplicación experimental del procedimiento y retiro del anterior (en caso de existir)
j) Revisión del procedimiento en caso de ajustes.
k) Formalización del procedimiento.

Se dieron las recomendaciones siguientes para la elaboración de cada documento:

- Identifique las exigencias
- Identifique la(s) disposición(es) a realizar para poder cumplir con las exigencias

"Deber + verbo en infinitivo	Indica obligatoriedad
Verbo en tiempo futuro	Indica propósito
"PODER" + verbo en infinitivo	Indica acción permisible

Para el caso de los procedimientos se estableció el formato que debía cumplirse:

a) Título: El título del documento estará en relación con la actividad que se realiza.
b) Objetivo y Alcance: Define de forma breve para qué se necesita el documento. El alcance viene dado por su aplicación en las áreas y la variedad de productos o servicios que abarca.
c) Referencias: Es la documentación relacionada para desarrollar los Procedimientos y Documentos y el documento que describe la Gestión del Proceso.
d) Definiciones: Términos que son necesarios para desarrollar la actividad (sólo sí se requiere para el personal que ejecuta la actividad).
e) Responsabilidades: Están claramente identificadas y establecidas las responsabilidades generales y específicas para el cumplimiento del procedimiento y de cada actividad.
f) Desarrollo: Describe la forma en que se realizan las actividades o procesos; deben dar respuestas a las siguientes interrogantes, ¿Qué se hace?, ¿Cómo se realiza?, ¿Dónde se realiza y registra?, ¿Cuándo se realiza (frecuencia)?, ¿Quién la realiza? (destacar el cargo).
g) Registros: Se identificarán los Registros relacionados con la actividad colocando código y titulo del registro.
h) Anexos. Se pondrán anexos necesarios al documento.

9. Precisar qué se debe saber hacer y capacitación necesaria (tanto para el responsable como para los participantes)
   Se propondrá para cada subproceso que se defina qué conocimiento se necesita tener por parte del personal de la gerencia y qué conocimiento se precisa trasmitir al productor cañero. Como en la elaboración de toda la documentación y definición de las actividades se tendrían en cuenta las experiencias acopiadas por los productores categorizados como A, pues al capacitar al resto de los productores se le estarían transmitiendo todo lo que se ha comprobado como exitoso en la práctica. Todo lo cual dio lugar a un amplio programa de capacitación, tanto para el personal de la Gerencia, como para los cañicultores. En la mayoría de los casos iban dirigidos a "saber hacer" y se ejecutarían fundamentalmente en las áreas de trabajo.

Análisis de riesgos

Se debían identificar los riesgos relevantes que enfrentaría cada subproceso en la obtención de sus objetivos, tanto de origen interno como externo. La identificación del riesgo es un proceso que debía

realizarse con cierta regularidad, y generalmente integrado a la estrategia y planificación de la Gerencia. En este proceso se recomendaba "partir de cero", esto es, no basarse en el esquema de riesgos identificados en estudios anteriores.

Como puede apreciarse, al final de la elaboración de las fichas de cada subproceso se contaba con todo un sistema de calidad documentado, donde se habían identificado las etapas de cada subprocesos, sus requisitos de calidad de entrada y salida, la documentación requerida (los procedimientos y registros necesarios), se habían establecido los puntos de control, la capacitación requerida y los riesgos que prever.

En el Anexo 1 se muestra un ejemplo de la ficha elaborada para el subproceso siembre. Como podrá apreciarse se han tenido en cuenta los aspectos más relevantes recogidos en el epígrafe 2.5.

La elaboración e implantación de este amplio plan se tomó dos zafras. La implantación se realizaba en la misma medida en que eran aprobados los procedimientos e instrucciones de cada subproceso. Nunca se trasmitió que el sistema que se implantará era “intocable”, pues la práctica, como criterio de la verdad sería la regla de la mejora continua. Como la empresa contaba con un sistema de gestión de calidad diseñado para el resto de las áreas se hicieron las adaptaciones necesarias, de manera que los procedimientos generales y los obligatorios establecidos fueran aplicables a la Gerencia Agrícola.

Tabla I

Año	**Primero**	**Segundo**
Hectáreas a cosechar	**6,094**	**6,075**
Hectáreas cosechadas	**5,242**	**5,815**
T. Declaradas	**367,259**	**397,911**
Frentes de cortes	**185**	**105**
Prod.. Caña/ha	**56.5**	**66.0**
Prod. Azúcar/ha	**4.6**	**6.3**
Rend. base refino	**8.21**	**10.39**
Días de zafra	**138**	**152**

En la tabla anterior se muestra un cuadro comparativo de algunos de los resultados obtenidos en el proceso de implantación del sistema de gestión propuesto. Como puede apreciarse las cifras indican un incremento de los indicadores más significativos: caña y azúcar por área. Debe aclararse que aún quedan potencialidades por explotar y que debe esperarse un mejor desempeño en los próximos años, en la misma medida que el sistema madure y se complete la capacitación de los integrantes del sistema.

Conclusiones

- Se realizó la Planificación Estratégica con enfoque de proceso a la Gerencia agrícola.
- Se mapeó el proceso clave de la Gerencia y se elaboraron las fichas de los subprocesos, definiéndose los aspectos básicos de un sistema de gestión de calidad para la actividad cañera.
- Se realizó una clasificación de los productores que facilitó la implantación del sistema diseñado y sirvió de base para el proceso de capacitación de los productores menos aventajados.

- Se organizó un servicio de extensionismo basado en los principios de un sistema de gestión de calidad para la producción agrícola.
- Se diseñó e implantó un sistema documentado de gestión de calidad para cada uno de los subprocesos de producción de caña de azúcar.
- Se vinculó el resultado técnico con las posibilidades de financiamiento.

Referencias

- ISO 9000. Sistemas de Gestión de la Calidad. Fundamentos y vocabulario.
- ISO 9001. Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
- ISO 9004. Sistemas de Gestión de la Calidad. Directrices para la mejora del desempeño.
- ISO 14000. Sistemas de Gestión Ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
- ISO 18000. Seguridad y Salud en el Trabajo. Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. Vocabulario.
- ISO 18001. Seguridad y Salud en el Trabajo. Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo. Requisitos
- ISO 22000. Sistemas de Gestión de la Inocuidad de los Alimentos. Requisitos para cualquier organización de la cadena alimentaria.

EL RENDIMIENTO EN LA CAÑA DE AZUCAR. ALGUNAS RELACIONES CON LA BIOLOGIA Y EL MANEJO AGRONOMICO DEL CULTIVO.

Guillermo Gálvez, Maira Ferrer y Carlos Lamela.
guillermo@inica.minaz.cu

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar
Carretera de Central Martínez Prieto km 2 ½, Boyeros, Habana

Resumen

El presente trabajo tiene como principal objetivo mostrar algunos aspectos de las complejas relaciones del rendimiento, tanto de biomasa como de azúcar, en el cultivo de la caña de azúcar.
Los genotipos actuales son híbridos complejos sintetizados de S. *officinarum,* las cañas nobles; S. *barberi,* las canas indias; S. *sinense*, las cañas chinas y dos especies silvestres S. *spontaneum* y S. *robustum*. Esa evolución, más el trabajo de más de un siglo de genetistas, mejoradores, fisiólogos, agrónomos y otros, han conferido a la caña de azúcar actual (*Saccharum spp*.) las formidables características de altas producciones de biomasa, azúcar, alcohol, energía y otros derivados. Sin embargo la formación y obtención del rendimiento es un fenómeno complejo que tiene su fundamento básico en los genes de cada genotipo en su interacción con el ambiente en que se desarrolla, como factores principales.

SUGARCANE YIELD. SOME RELATIONS WITH BIOLOGY AND AGRICULTURAL MANAGEMENT.

Summary.

The main goal of this paper is to show some aspects of the complex relations of sugarcane yield for producing both biomass and sucrose.
The present sugarcane genotypes are complex hybrids synthetized from S. *officinarum,* the noble canes; S. *barberi,* the Indian canes; S. *sinense*, the Chinese canes, and two wild canes, S. *spontaneum* and S. *robustum*. That evolution, plus the work had done for more than a century by geneticists, breeders, physiologists, agronomists and others, have provided modern sugarcane (*Saccharum spp*.) with great characteristics such as higher productions of biomass, sugar, energy, alcohol and other byproducts. However, forming and obtaining yield is a complex phenomenon having as fundamental basis such principal factors as the genes of each genotype and their interaction with the environment.

Palabras claves: rendimiento, caña de azúcar, genética, mejoramiento.
Key Words: yield, sugarcane, genetic, improvement.

Introducción.

La agricultura y el manejo de la caña de azúcar es una actividad de importancia económica y social en más de 100 países, siendo la producción de azúcar en el 2010 de poco más de 168 millones de t, de la cual la gramínea fue responsable del 72 %, ISO Quarterly Market Outlook (2011),
A partir de 1980 se ha producido un aumento en el consumo y por lo tanto en la producción de azúcar, especialmente por el mayor consumo y producción de algunos países.
Los rendimientos en producción de biomasa y contenido azucarero se han incrementados en los últimos 50 años, particularmente por el uso de mejores prácticas entre las que se destacan genotipos mejores adaptados a ambientes específicos, y el uso adecuado de nutrientes y el agua, entre otros factores.
Por otra parte los costos de producción de la caña de azúcar han aumentado notablemente en los últimos años debido principalmente al aumento de los precios de los combustibles (Tabla I). Los costos actuales, en países de altos rendimientos, exceden los 2.800 dólares norteamericanos por hectárea, mientras que la contribución a los costos se refleja en la tabla I en dos países altamente productores y eficientes de azúcar de caña.

Tabla I Contribución indicativa de cada categoría de costos al coste total de la caña en 2009/10 para una explotación representativa en Australia y Brasil

	Proserpine (Australia)	**Piracicaba (Brasil)**
Insumos agrarios variables	27,40%	20,10%
Costes de las tierras	11,50%	17,60%
Capital y depreciación	16,50%	18,50%
Mecanización	22,70%	9,60%
Costes administrativos	12,60%	15,10%
Mano de obra	9,30%	19,10%

Sin embargo con los precios actuales del azúcar y el etanol en el mercado mundial (más de 20 centavos de dólar la libra y más de 80 centavos el litro de alcohol anhidro respectivamente), resulta bastante obvio que la producción de azúcar, alcohol, energía y otros derivados a partir de la caña de azúcar es un negocio, siempre que se obtengan los rendimientos que hagan rentable dicho agronegocio. Por lo tanto, los aumentos de rendimiento del cultivo es la tarea principal de la agricultura de la caña de azúcar, para hacer que el agronegocio sea eficiente y por consiguiente rentable.

Materiales y Métodos.

En Cuba, los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar, casi siempre se han comportado con valores por debajo del promedio mundial. Si se analiza cualquier serie histórica de los rendimientos como la que se muestra en la Tabla II (serie histórica de 1950-1951 hasta 1990-1991), se observa que los rendimientos agrícolas se mueven entre poco menos de 30 t/ha hasta un máximo de 60 t/ha. Sin embargo un análisis más detallado muestra que entre 1951 hasta 1960 los rendimientos se mueven con valores cercanos a 40 t/ha. Sin embargo en ese periodo hay varios factores que deben tenerse en cuenta, entre otros los siguientes:

- El uso de los fertilizantes era mínimo en el periodo anterior a 1960, como promedio menos de 0,2 kg por t de caña producida Cuellar y col. (2002). Sin embargo el uso de los fertilizantes en el periodo 1980-1989 era de 4,2 kg. de fertilizantes total (N+K+P) es decir un aumento del 2.000 por ciento, mientras que el incremento de los rendimientos promedios fue de 37 % solamente

comparados con el periodo 1951-1960. La cantidad de fertilizantes utilizada en ese periodo era similar a la de Australia reportados por Calcino (1994), sin embargo los rendimientos Australianos superaban las 80 t cana/ha en secano y más de 110 t cana / ha. en las áreas bajo riego.

- Las cepas duraban en producción más de 10 cosechas antes de 1960, mientras que en el periodo 1980-1989 duraban como promedio poco más de 4 cosechas, lo que hace el agronegocio menos eficiente por la necesidad de la reposiciona de la plantación.
- El uso de los combustibles por tonelada de la gramínea producida era mucho mayor en el periodo 1980-1989, y especialmente el número de tractores por área cultivada era uno de los más altos de América Latina, por ejemplo superior a Argentina según Álvarez y Peña, (2001).

Cualquier análisis conlleva a la conclusión de que el incremento de los rendimientos logrados en el periodo 1980-1989, no alcanzo del potencial posible y en cualquier caso no debe ser calificado de eficiente.
Sin embargo bajo esas mismas condiciones la antigua provincia de La Habana con 16 centrales, casi todos medianos y pequeños tuvo un rendimiento promedio de más de 70 t cana/ha durante el mismo periodo, y tuvo centrales con rendimientos de más de 90 t cana/ha. Esos resultados, en conjunto demandan un análisis más detallado que escapan a los objetivos que se pretenden en este.

Tabla II. Rendimientos de las diferentes zafras de Cuba desde 1951 hasta 1991 Álvarez y Peña (2001, modificado).

AÑO	DIAS ZAFRA	RENDIMIENTO T caña/ha	CAÑA MOLIDA Millones de t m.	MOLIDA DIARIA 1000 tm/dia	AZUCAR Millones tm.	RECOBRADO %
1.	96	35,6	44,9	468	5,82	12,95
2.	104	37,2	54,3	522	6,88	12,67
3.	86	44,2	40,5	471	4,46	11,01
4.	143	55,8	79,8	558	8,54	10,70
5.	101	41,4	51,5	510	5,92	11,50
6.	91	37,5	43,5	478	4,32	9,93
7.	92	45,0	47,5	516	5,25	11,05
8.	95	45,6	49,6	517	5,93	11,96
9.	99	44,4	50,8	513	6,31	12,42
10.	99	44,0	52,0	525	6,16	11,85
11.	104	53,1	56,2	540	6,49	11,55
12.	119	56,3	67,0	563	7,35	10,97
13.	128	58,9	73,0	570	7,99	10,95
14.	109	46,0	61,6	565	6,67	10,83
15.	114	55,1	66,4	582	7,36	11,08
16.	124	55,1	73,5	593	8,21	11,17
17.	113	58,0	68,7	608	7,11	10,35
18.	126	57,4	78,4	622	8,21	10,47
19.	103	50,0	66,8	649	8,00	11,98
20.	104	51,6	68,3	657	7,26	10,63
21.	99	52,1	66,9	674	7,12	10,64
22.	100	56,8	68,4	680	7,42	10,85
23.	109	60,0	75,0	689	8,12	10,83

El rendimiento de la caña de azúcar. Factores más importantes que contribuyen a este.

Un análisis integral de este tema debe conllevar tener en cuenta diferentes factores de tipo biológico, agronómico, económico y social, como los siguientes:

- La planta de caña de azúcar, su evolución. Aspectos de su genética y su fisiología. Relaciones entre estos.
- El suelo como sustento de la planta. Interrelaciones con esta.
- La nutrición de la planta y sus relaciones con el rendimiento.
- El agua, su relación con la planta y sus rendimientos.
- Los estreses bióticos y abióticos que afectan la caña de azúcar.
- El manejo sostenible del cultivo desde el punto de vista agronómico.
- Los productos "derivados" de la caña de azúcar. Alcohol y energía.
- El mercado mundial del azúcar, el alcohol y la energía.
- Los costos totales de la producción de la caña de azúcar. Los precios actuales que se pagan al productor de la caña de azúcar.
- Impacto de las modernas tecnologías de la información, el uso de las Bases de Datos (BD), los Sistemas de Apoyo a las Decisiones (DSS), los Sistemas de Información Geográfica (GIS), la modelación del rendimiento y la agricultura de sitio especifico o agricultura de precisión, entre otros.

Sin embargo la forma resumida en que deben presentarse estos trabajos no permite un análisis tan amplio, por lo que nos limitaremos a exponer algunas ideas básicas, que pueden conllevar a sugerencias concretas posteriormente.
La figura 1 refleja de forma resumida las relaciones muy complejas de la productividad (rendimiento) de las plantas cultivadas, es decir la relación e interrelación planta-suelo-manejo-ambiente.

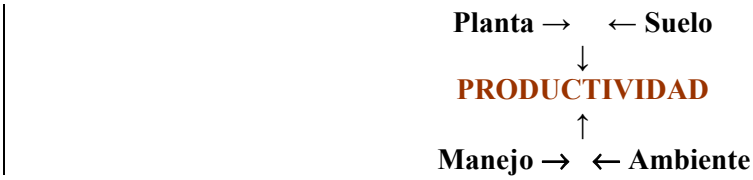


Figura I. La relación planta-suelo-manejo-ambiente sobre la productividad de las plantas.

Por lo tanto esto sugiere que para actuar sobre la productividad se debe trabajar en función de la planta, el suelo, el manejo y el ambiente, o sobre alguno de ellos si los demás están expresados en forma óptima o al menos suficiente para lograr el incremento deseado.
En forma de algoritmo este sería:

Productividad = planta + suelo + manejo + ambiente

La complicación es obvia, pues lo complejo es conocer la ponderación de cada una de las partes, que, además, pueden descomponerse en muchas variables.
Según Moore, (2005), los problemas fundamentales del rendimiento están agrupados en tres categorías:

1. Fisiológicos.
2. Ambientales.
3. Agronómicos.

Discusión general.

A partir de ese esquema general cada cultivo en particular posee características específicas que deben tenerse en cuenta para lograr optimizar los rendimientos deseados.
En particular la caña de azúcar es una planta maravillosa del ciclo C4 del carbono, con potenciales de rendimientos de biomasa por año y por área solo superada por algunas plantas de los bosques tropicales. La figura II muestra los límites del rendimiento en caña de azúcar Muchow, (1997), Gálvez, (2003) para ciclos de 12 meses. Una inspección primaria nos vuelve a informar lo lejos que aún estamos de alcanzar esos potenciales que posee la gramínea.

Figura II. Límites para los rendimientos en la caña de azúcar Muchow, (1997, modificado Galvez, 2003)

Valor máximo → 1,7 g de peso seco/MJ
↓
5.000 MJ/m^2 ~ 8,5 kg/m^2 ~ 85 t/ha (peso seco) ~ 283 t/ha (peso fresco)

Asumiendo como promedio ~ 1,4 MJ (para todo el ciclo
↓
233 t/ha (peso fresco)

ALGUNOS VALORES REALES OBTENIDOS

Australia → 211 t/ha (90 % del valor teórico)
Cuba 203 → t/ha (87 % del valor teórico)

Moore (2005) muestra ejemplos excepcionales de cómo han aumentado los rendimientos de varios cultivos entre los cuales destacan el arroz, el trigo y el maíz, tres plantas de la familia de las gramíneas, al igual que la caña de azúcar, las cuales han multiplicado su rendimiento varias veces en los últimos 60 años. Lo anterior es una muestra palpable de cómo la ciencia, la innovación y el desarrollo logra resultados de aumentos trascendentales de los rendimientos
En Cuba es muy importante conocer el ejemplo actual de los rendimientos que se están logrando en algunas áreas del cultivo de la caña de azúcar en Cuba, a partir de mejores posibilidades de manejo, la aplicación de la ciencia y las tecnologías desarrolladas en Cuba y el estímulo socio-económico adecuado a los productores. Es particularmente notable el rendimiento obtenido en las áreas agrícolas del central J. Rabí, Matanzas, donde el uso adecuado de modernas inversiones en la tecnología, unido a un estímulo a los productores está logrando incrementos en los rendimientos muy notables. La participación de investigadores del INICA ha sido destacada en estos resultados.
La Tabla III de Ferrer y col. (2013, datos en proceso de publicación) reflejan dichos resultados**.** Estos datos muestran los rendimientos potenciales estimados por métodos científicos, y los rendimientos reales obtenidos con las aplicaciones adecuadas de tecnologías, especialmente de la fisiología y el agua de riego.

Sin embargo los rendimientos promedios de la mayoría de las unidades agrícolas de la caña de azúcar en Cuba están todavía alejados de los valores ya logrados en las áreas de caña de azúcar del central J. Rabí y de otros centrales.

Tabla III. Rendimientos potenciales, rendimientos reales estimados y rendimientos reales obtenidos en 11 empresas azucareras del país. (Ferrer, y col., 2012).

Empresas	Tipo de suelo	Rendimiento potencial o meta estimado tc/ha	Rendimiento real estimado tc/ha	Rend. real obtenido (zafras 2009-2010 y 2010-2011) tc/ ha	No. cosechas
30-Nov	F.Cuarcítico	172.8	87.7	79.5	6
	G. Ferralitizado	172.8	88.1		
H. Molina	F. Cálcico	162.3	111.9		
	Fers. Cálcico	162.3	108.7		
	G. Ferralitizado	162.3	110.0		
A.Lincoln	F. Cálcico	162.3	105.1		
J. Rabí	**F. Cálcico**	**173.6**	**119.6**	**119.0**	**15**
P. Figueredo	Vertisuelo	165.3	117.8		
	G. Sialitizado	165.3	117.8		
1ro Enero	F. Cálcico	160.2	**103.8**	**85.7**	**25**
	Fers.Cálcico	160.2	104.2		
	S.Cálcico	160.2	103.6		
Brasil	G.Sialitizado	178.1	91.5		
	F.Cálcico	178.1	**94.9**	**104.2**	**2**
	Ferritizado	178.1	95.2		
	S. Cálcico	178.1	93.1		
	Vertisuelo	178.1	95.0		
	F. Cuarzítico	178.1	95.0		
A.Rodríguez	G.Sialitizado	205.7	96.5		
	F. Cálcico	205.7	**103.1**	**98.6**	**5**
	S Cálcico	205.7	103.8		
	Fers.Cálcico	205.7	102.0		
J.A.Mella	Vertisuelos	172.9	97.7		
		172.9	96.7		
A. Mtnez	S. Cálcico	198.6	95.3	65.5	4
U. Noris	G. Sialitizado	195.1	94.7	87	2
promedios		**177.33**	**101.8**	**91,35**	

El uso de la modelación y el rendimiento de los cultivos.

Las modernas tecnologías de la información, entre las cuales están las herramientas relacionadas con la modelación, pueden ser utilizadas para contribuir a dilucidar algunos complejos problemas relacionados con el rendimiento de las plantas cultivadas, especialmente los relacionados con su estimación y predicción más precisa. Algunos de los usos actuales son los siguientes según Jones y col. (2006, modificado):

- Realizar experimentos en la computadora para complementar experimentos de campo y registros históricos de los cultivos
- Posibilitar un entendimiento integral de cómo los cultivos responden a la variabilidad y cambio climático.
- Brindar información a los modelos económicos para evaluar los impactos, la seguridad alimentaria y realizar análisis de políticas.
- Combinar los modelos agrícolas con modelos climáticos regionales/globales.
- Combinar los modelos agrícolas con modelos hidrológicos.
- Determinar las mejores prácticas de manejo para apoyar las decisiones de riesgo económico y ambiental.

Los modelos de simulación respecto a cultivos agrícolas, son una categoría de modelos ambientales que, típicamente predicen el rendimiento de los cultivos, el crecimiento y desarrollo de las plantas y la dinámica de la humedad y otros nutrientes.
Sin embargo a pesar de que los científicos en diversas áreas como la biología, la agricultura, la economía, y las ciencias técnicas, entre otros, han estado construyendo modelos de simulación por ya más de 30 años, la aceptación de éstos dentro del flujo de la investigación científica fue muy lento hasta hace poco más de una década.
En algunos países como Australia, la mayor parte de los países europeos y Estados Unidos la aceptación y uso práctico ha sido más rápido.
Sin embargo debemos decir que la búsqueda por encontrar explicaciones a los aspectos de la biología de las plantas, especialmente a entender su comportamiento genético y fisiológico ha tomado gran importancia. Un buen ejemplo de esto es el modelo GECROS de Yin y Struik, (2011), que permite un traslado y extrapolación de la información del nivel de un órgano simple en una escala de tiempo breve. Por ejemplo dichos autores refieren a la extrapolación de parámetros de tasas fotosintéticas de las hojas por segundo en estudios de ambientes controlados.
Sin embargo en la caña de azúcar la aceptación y el desarrollo de los modelos ha sido bastante lento, aunque ha habido diferentes de desarrollos como los siguientes (Shine y col., 2011):

- Modelos estadísticos empíricos, como los cuadrados mínimos ordinarios y la regresión lineal y múltiple.
- Modelos dinámicos del crecimiento y desarrollo de la planta y modelo de desarrollo. Ejemplo de esto es el modelo CANEGRO desarrollado en África del Sur reportados por Imman-Baber, (2000).
- Modelos mecanisticos como el del uso de la eficiencia de la radiación (RUE).
- Modelo hibrido entre un modelo mecanistico con los cuadrados mínimos ordinarios.

Shine y col., (2011), trabajando con un total de 5.906 datos desde el año 2000 hasta el 2009 de las 3 variedades más importantes de la Florida, EEUU, compararon 3 modelos (modelo térmico de regresión; Allen, 1977; modelo térmico de regresión, añadiéndole el enfoque de emergencia de las hojas; Sinclair y col., (2004); y el modelo Canegro v. 3.5.; Inman-Bamber, (2000) encontraron que el mejor resultado se obtuvo con un modelo hibrido (figura III).

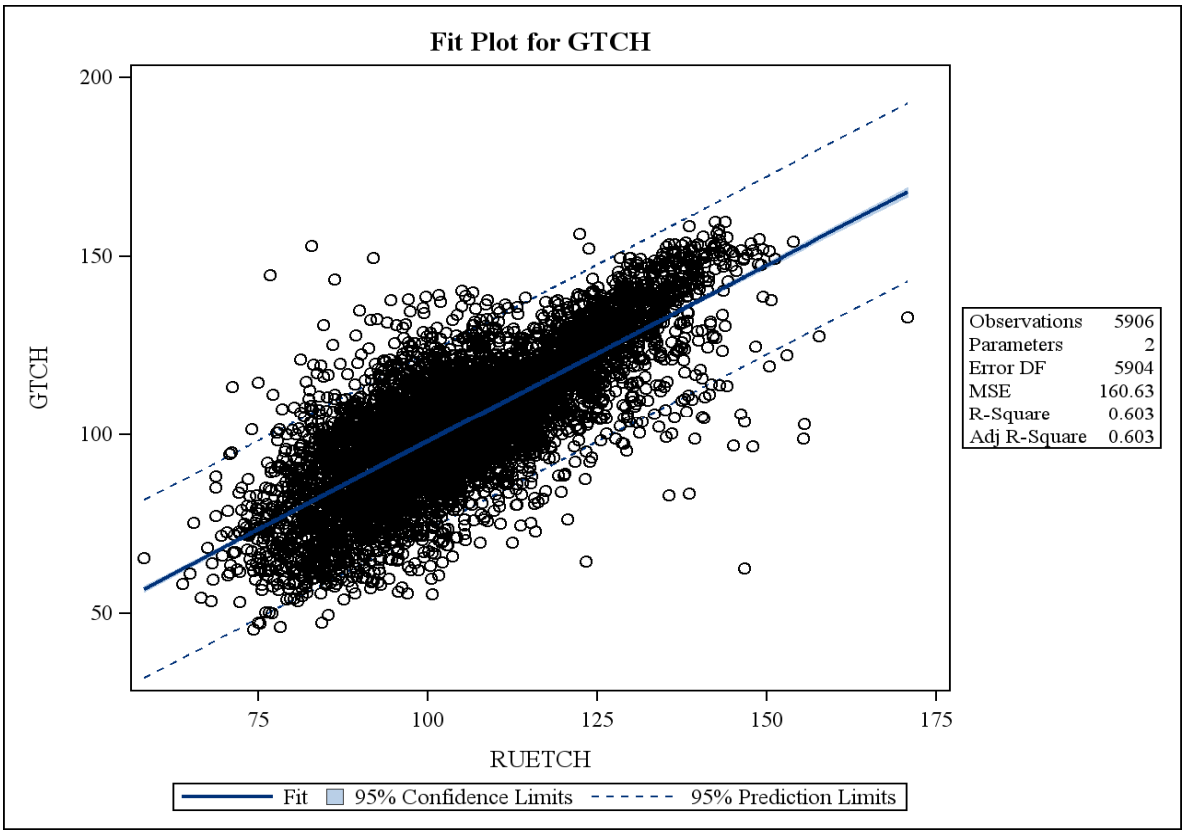


Figura III. Resultados reales vs modelados usando el modelo hibrido del Uso Eficiente de la Radiación (Radiation Use Eficiency, RUE).

Consideraciones generales.

- El análisis del rendimiento en los cultivos agrícolas es un problema complejo, que depende de varios factores, entre los cuales destacan la planta, el suelo, el manejo y el ambiente.
- En la caña de azúcar en Cuba los rendimientos históricos tuvieron un patrón de valores bajos. Cuando hubo posibilidades de mayores suministros de fertilizantes, agua y combustibles, entre otros (periodo 1980-1991) los rendimientos aumentaron, pero no en la proporción que hiciera que el agronogeocio fuera rentable en un ambiente internacional competitivo. Sin embargo en dicho periodo, con los mismos suministros, hubo zonas del país con rendimientos internacionales competitivos.
- Existen reservas de potencialidades de rendimiento muchos mayores y hay áreas agrícolas de Cuba que muestran resultados de incrementos notables del rendimiento que se acercan a los potenciales de esas áreas. Las modernas tecnologías de la información, especialmente la modelación de cultivos agrícolas, a partir de Bases de Datos existentes, pueden contribuir a entender los complejos temas del rendimiento
- El papel de la ciencia y la tecnología son de primera importancia para acercarse a dichos potenciales, en ese tema un importante rol deben jugar el INICA y otros centros del Ministerio de la Agricultura y las Universidades Cubanas.
- En cualquier algoritmo sobre el rendimiento las variables económicas y sociales juegan un papel importante, tema que debe tenerse en cuenta en las condiciones cubanas.

Referencias.

- Allen, R.J. (1977) A five-year comparison on solar radiation and sugarcane production in the Everglades Agricultural Area. Proceedings Soil and Crop Soc. Florida. 36. pp: 197-200.
- Álvarez, J. and Pena, L. (2001). Cuba's Sugar Industry. Florida University Press, 202 p.
- Calcino, D. V. (1994). Australian sugarcane nutrition manual. SRDC-BSES, Australia, 60 p.
- Cuellar, I. A. y otros. (2002). Manual de Fertilización de la Caña de Azúcar en Cuba. Editorial PUBLINICA, La Habana, 127 p.
- Ferrer, M.; Gálvez, G.; Lamela, C., López G. (2013). Uso de los grados días acumulados por ciclos de crecimiento monomodal en la estimación de los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar (*Saccharum spp. hibrido)*. Revista ATAC, en edición.
- Gálvez, G. (2003). El rendimiento en la caña de azúcar. Curso de Problemas Actuales de la Agricultura Cubana. Maestría de Gestión de Cooperativas, 2003, 15 p.
- Inman-Bamber, N.G. (2000). History of the CANEGRO model. Proc. Int. CANEGRO workshop. August 4-7, 2000, pp: 5-8.
- ISO (2011). Quarterly Market Outlook.
- Jones, J., D. Makowski and D. Wallach (2006). Introduction to Section I1. In: Working with Dynamic Crop Models. Evaluation, Analysis, Parameterization, and Applications. Edited by Daniel Wallach, David Makowski, James W. Jones, ELSEVIER, pp: 251-256.
- Moore, P.H. (2005). Moore, P. (2005).Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the gene-to-crop continuum. Field Crops Research, 92, pp: 119-135.
- Muchow, R. (1997). Muchow, R.C., Robertson, M.J., Wood, A.W. and Keating, B.A.(1997). Assessing limits to sugarcane yield. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., 19, pp: 221-228.
- PECEGE (2011). Canegrowers/Rex Consulting/Queensland University, "Comparativo das Praticas Agricolas de Brasil e Australia", 2011. ISSN-2117-4358.
- Safra 2007/08 (2009). Custos de Produção de Cana-de Açúcar, Açúcar e Etanol no Brasil:", Mayo 2009, ISSN 2177-4358.
- Shine, J. Gilbert, R.A. and Jones, J.W. (2011).Modelling the sugarcane crop. Paper presented at the ASSCT, 2011.
- Sinclair, T.R., Gilbert, R.A., Perdomo, R.E., Shine, Jr., J.M., Powell, G. and Montes, G. (2004) Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. Field Crops Res. 88, pp:171-178.
- Yin, X. and Struik, P. (2011). Modelling the crop: from system dynamic to systems biology. Journal of Experimental Botany, Vol. 61, No. 8, pp: 2171–2183,

EVALUACIÓN DE LA ACIDEZ EN EL JUGO DE DIFERENTES PARTES DEL TALLO DE CAÑA DE AZÚCAR, CICLO 2010/2011

EVALUATION OF THE ACIDITY IN THE JUICE FROM DIFFERENT PARTS OF SUGAR CANE STALK, CYCLE 2010/2011

HÉLIO FRANCISCO DA SILVA NETO[1]; LUIZ CARLOS TASSO JÚNIOR[2]; BRUNO FERNANDES MODESTO HOMEM[3]; FERNANDO ABACKERLI DE PAULI[4]; MARCOS OMIR MARQUES[5]

[1] Bolsista CNPq, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil; e-mail: heliofsn@hotmail.com
[2] Bolsista CAPES - Pós-doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil;. E-mail: lctasso@yahoo.com.br
[3] Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil; e-mail: bruno.homem@hotmail.com
[4] Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil; e-mail:; fernando_abackerli@hotmail.com
[5] Professor Dr. Adjunto III do Departamento de Tecnologia Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP – Brasil. e-mail: omir@fcav.unesp.br

Resumen

Los niveles de acidez presentes en el jugo de caña de azúcar pueden causar varios problemas en su procesamiento. Así, este estudio tuvo como objetivo comparar los valores de acidez total, volátil y fija presentes en el jugo de nudos y entrenudos del tallo de caña. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, en arreglo factorial 3x2 con cuatro repeticiones, siendo tres variedades de caña de azúcar (IAC91-1099; IAC95-5000 y CTC7) divididos en nudo y entrenudo. Los tallos fueron colectados, separados en nudo y entrenudos. Después de la extracción del jugo de cada parte, fueron realizados los análisis de acidez total y volátil y posteriormente de acidez fija. Los resultados fueron sometidos al análisis de variancia por la prueba de F y comparados por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. El cultivar CTC7 presentó loa menores concentraciones de acidez total y fija. El cultivar IAC91-1099 presentó altos niveles de acidez fija en ambas partes del tallo, y alta acidez volátil en el nudo. En relación al tallo, los valores de acidez volátil no mostraron tendencia definida. El nudo presentó, en general, mayores valores de acidez fija, pero algunos cultivares mostraron resultados opuestos.

Palabras clave: entrenudo, etanol, *Saccharum* spp.

Summary

The present levels of acidity in the juice of cane sugar can cause many problems in its processing. This study aimed to compare the values of total acidity, volatile and fixed in the juice of the stem nodes and internodes of sugarcane. The experimental design was completely randomized, 3x2 factorial arrangement with four replications, with three varieties of cane sugar (IAC91-1099; IAC95-5000 and CTC7) divided into node and internode. The stems were collected in separate node and internode. After extraction of juice from each party, were the analysis of total acidity and volatile acidity and subsequently fixed. The results were subjected to analysis of variance by F test and compared by Tukey test at 5% probability. CTC7 cultivar had the lowest concentrations of total acidity and fixed. Cultivar IAC91-1099 showed high levels of acidity fixed on both sides of the trunk, and high volatile acidity on the node. In relation to the stem, the values of volatile acidity showed no definite pattern. The node has, in general, higher fixed acidity, but some cultivars have shown opposite results.

Keywords: ethanol, internode, *Saccharum* spp.

INTRODUCCIÓN

En Brasil, el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp) ocupa lugar destacado en la economía nacional, es grande generadora de empleos con afiliación patronal, productora de alimentos, co-generación de energía eléctrica, alcohol química, combustibles y fertilizante, a parte de su preocupación con la conservación del suelo y medio ambiente.

La calidad de la caña de azúcar como materia prima, tiene una gran relación con la calidad del producto final. Dentro de las diversas variables utilizadas en la evaluación de calidad de la materia prima, los niveles de acidez presentes en el jugo de le cana se destacan, en la medida en que estos ácidos pueden ocasionar innúmeros problemas para el proceso de industrialización de la caña de azúcar (Zaninetti Filho, 2008).

La acidez fija es proveniente del ácido láctico presente en el jugo, oriundas de bacterias del género *Lactobacillus* sp (Alcarde, 2002). La presencia de ácido láctico en el proceso inhibe o metabolismo de levaduras, reduciendo así el rendimiento fermentativo durante el proceso de producción de etanol (Oliva Neto; Yokoya, 2001). A su vez, acidez volátil es proveniente del ácido acético presente en el jugo, producido por bacterias del género *Acetobacter* sp (Alcarde, 2002). Este tipo de acidez es la principal fracción ácida de aguardientes (Lima y Nóbrega 2004), que presentes en grandes valores disminuyen la calidad de este producto (Cardoso, 1999).

La acidez total es definida como la sumatoria de la acidez volátil con la acidez fija. Se constituye como la principal forma de determinación de la acidez en la industria de la caña, siendo expresada en ácido sulfúrico por litro de jugo (Pereira, 2007).

Marques et al. (2010), estudiaron los diferentes sistemas de corte de caña de azúcar y observaron que la caña quemada y picada presentó mayores valores de acidez total en relación a los otros sistemas de corte analizados tales como a caña cruda entera y caña quemada entera.

De esta forma, las partes del tallo nudo y entrenudo también presentan diferentes niveles de acidez. Silva Neto et al., (2010a) analizaron el proceso de deterioración que ocurre en las diferentes partes del tallo resultantes del tiempo de almacenamiento, y observaron aumento en los niveles de acidez tanto para los nudos como para los entrenudos. Pero, los índices de acidez fija, total y volátil de los nudos fue siempre mayor al presentado por los entrenudos.

Silva Neto (2010b) estudió la influencia de la calidad de la materia prima afectada por la presencia de impurezas vegetales y observó que a presencia de estas impurezas puede influenciar en el aumento de los índices de acidez. Así, el presente trabajo tuvo como objetivo comparar los valores de acidez total, volátil y fija presentes en el jugo extraído de nudos y entrenudos del tallo de cultivares de caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue desarrollado en la Hacienda de Enseñanza, Investigación y Producción de la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias/UNESP-Jaboticabal, SP. Su altitud promedio es de 575 metros sobre el nivel del mar, y su localización geográfica está definida como: latitud 21º 15' 22''S y longitud 48º 18' 58'' WG.

El clima es de tipo tropical con invierno seco, y clasificado, de acuerdo con el Sistema Internacional de Koppen, como Aw. A pluviometría promedio anual es de 1.425 mm, con concentración de lluvias en el verano y seco en el inverno. El experimento fue instalado en un latossolo vermelho Eutrófico típico (Embrapa, 1999), A moderado, textura muy arcillosa relieve suave ondulado.

Os cultivares analizados fueron: IAC91-1099, IACSP95-5000 y CTC 7. El diseño experimental utilizado fue de bloque completos el azar, en arreglo factorial 3x2, con cuatro repeticiones. El tratamiento principal fue compuesto por los tres cultivares de caña de azúcar (IAC91-1099, IAC95-5000 y CTC 7). El tratamiento secundario fue compuesto por las dos partes del tallo de caña (nudo y entrenudo). En cada bloque habían las parcelas representando los cultivares de caña. Las parcelas experimentales fueron compuestas de 5 hileras de caña con 12 metros de largo, espaciadas a 1,5 m, totalizando 90 m², siendo consideradas como área útil, las 3 hileras centrales, descartando un metro en las extremidades, asa como la primera y la quinta hilera, resultando en 45 m².

Para a retirada de las muestras, fue colectado un grupo de tallos de cada cultivar, totalizando cuatro grupos por bloque. Cada grupo contenía 20 tallos retirados en secuencia, en la hilera de siembra dentro de la parcela útil. La evaluación fue realizada el día 05/10/2010, en la condición de caña de tercer corte (soca). Los tallos fueron cortados manualmente, deshojados, despuntados, etiquetados y encaminados al Laboratorio de Tecnología de Azúcar y Etanol del Departamento de Tecnología de la FCAV/UNESP.

En el laboratorio, los tallos fueron separados en nudos y entrenudos con ayuda de sierra eléctrica del tipo "tico-tico". Cada parte del tallo fue encaminada para el desfibrador de caña. Después, se procedió a la homogeneización del material desintegrado, siendo pesado 500 gramos, luego se transfirió el material para la prensa hidráulica. De de prensada se obtuvo una masa húmeda (material fibroso que será descartado) e el jugo extraído. En el jugo extraído fueron realizados los análisis de acidez.

La determinación fue realizada de acuerdo con el método propuesto por Amerine y Ough (1974), adaptada por Marques (1998).

RESULTADOS E DISCUSIÓN

En la Tabla I están presentados los valores de acidez total, volátil y fija de los cultivares de caña de azúcar y de las partes del tallo (nudo y entrenudo). El cultivar IAC91-1099 se destacó por presentar los mayores valores de acidez total (1,19 $gH_2SO_4\ L^{-1}$ de jugo) y acidez fija (2,16 $gC_3H_6O_3\ L^{-1}$ de jugo), siendo superiores a los promedios encontradas por Zaninetti Filho (2008) que para el cultivar CTC 6 obtuvo 0,66 g $gH_2SO_4\ L^{-1}$ de jugo (acidez total) y 0,63 $gC_3H_6O_3\ L^{1}$ de jugo (acidez fija).

Tabla I. Valores promédios[1] de acidez total (g gH_2SO_4 L^{-1} de jugo), volátil (g $C^2H^4O^2$ L^{-1} de jugo) y fija ($gC_3H_6O_3$ L^1 de jugo) para los cultivares en estudio y las diferentes partes del tallo (nudo y entrenudo), a parte de las variables estadísticas.

Tratamientos	**Acidez Total (g H_2SO_4 L^{-1})**	**Acidez Volátil (g $C_2H_4O_2$ L^{-1})**	**Acidez Fija (g $C_3H_6O_3$ L^{-1})**
Cultivares(C)			
IAC91-1099	1,19 a	0,007 b	2,16 a
IAC95-5000	1,10 b	0,014 a	1,99 b
CTC 7	0,83 c	0,009 b	1,50 c
Teste F	143,14**	8,72**	142,68**
Partes (P)			
Nudo	1,06	0,01	1,91
Entrenudo	1,02	0,01	1,85
Prueba F	3,76 ^{NS}	0,03 ^{NS}	3,70 ^{NS}
Estadística			
Prueba F (Bloque)	8,91**	1,98 ^{NS}	8,69**
Prueba F (Interacción C x P)	1,04**	0,01 ^{NS}	1,88*
CV (%)	3,66	30,55	3,72

[1] Promedios seguidos de letras iguales, en la columna, para cada atributo, no difieren entre sí según Prueba de Tukey al 5% de probabilidad. ^{NS} * e ** - No significativo, significativo al 5 y 1% de probabilidad por Prueba F, respectivamente. CV – coeficiente de variación.

Los cultivares IAC95-5000 y CTC7 obtuvieron mejor desempeño, presentando menores valores de acidez total (1,10 y 0,83 g H_2SO_4 L^{-1} de jugo, respectivamente). Sin embargo, aun para estos cultivares los valores encontrados están sobre el valor recomendado por Ripoli y Ripoli (2004) como medida de calidad que es 0,80 gH_2SO_4 L^{-1} de jugo.

En relación a la acidez fija los valores obtenidos por los cultivares IAC95-5000 y CTC7 fueron de 1,99 y 1,50 g $C_3H_6O_3$ L^{-1} de jugo, respectivamente. Estos valores son superiores a los encontrados por Zaninetti Filho (2008) para tales cultivares, pero en condiciones de caña planta. Una posible explicación para lo ocurrido seria de que mayores valores de acidez son encontrados en caña soca en comparación con caña planta (Pereira 2007).

Cuando fueron comparados los valores de acidez entre las partes del tallo, se observa que, aunque estadísticamente no hubo diferencia entre ellos, los mayores valores de acidez total y fija fueron obtenidos por el nudo (1,06 g H_2SO_4 L^{-1} de jugo y 1,91 g $C_3H_6O_3$ L^{-1} de jugo, respectivamente). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Silva Neto et al. (2010a), en que el nudo presentó mayores valores de acidez total cuando fue comparado al entrenudo. Según este mismo autor, este resultado pode ser debido al metabolismo de la caña ser mas activo en el nudo y por eso los mayores índices de acidez total y fija en esta parte del tallo. El nudo y el entrenudo presentaron un nivel de acidez volátil semejantes. Estos resultados están bastante menores al valor encontrado por Silva Neto (2010b) que fue de 0,051 g $C_2H_4O_2$ L^{-1}

En la Figura 1, están presentados los desdoblamientos de la interacción obtenida entre los cultivares y las partes de la planta para acidez total. En la comparación entre los cultivares el IAC91-1099 presentó mayores valores de acidez total tanto en el nudo como en el entrenudo. Para el nudo, el cultivar IAC95-5000 presentó valores intermedios y el cultivar CTC7 los menores valores. Valores similares fueron obtenidos cuando se avaluaron los entrenudos. Este elevado valor de acidez ocasiona aumento en los costos de producción de azúcar, pues exige mayor cantidad de cal para el ajuste del pH, durante la etapa de clarificación del jugo (Delgado y Azeredo Cesar 1977).

En la Figura 2, es presentado el efecto de la interacción obtenida entre los cultivares de caña de azúcar y las partes del tallo para acidez fija. En la comparación entre las partes de la planta, el cultivar IAC95-5000 presentó el mayor valor de acidez en el nudo. Eso puede haber ocurrido por el hecho del nudo presentar una mayor área de exposición en relación a su tamaño, cuando se comparó al entrenudo. En este mismo sentido Kroes y Harris (1994) destacan que el hecho del tallo estar picado, puede aumentar la exposición a los microorganismos, lo que de acuerdo con Marques et al. (2010) podría ocasionar mayor acidez.

En la comparación entre los cultivares para cada parte del tallo, el cultivar IAC91-1099 se destacó por presentar el mayor valor de acidez fija tanto en el nudo como en el entrenudo (2,14 y 2,17 g $C_3H_6O_3$ L^{-1} de jugo) respectivamente. En estas condiciones, ocurre reducción del rendimiento fermentativo durante la producción de etanol, una vez que Olivia Neto y Yokoya (2001) destacan que elevados valores de acidez fija pueden inhibir el metabolismo de levaduras.

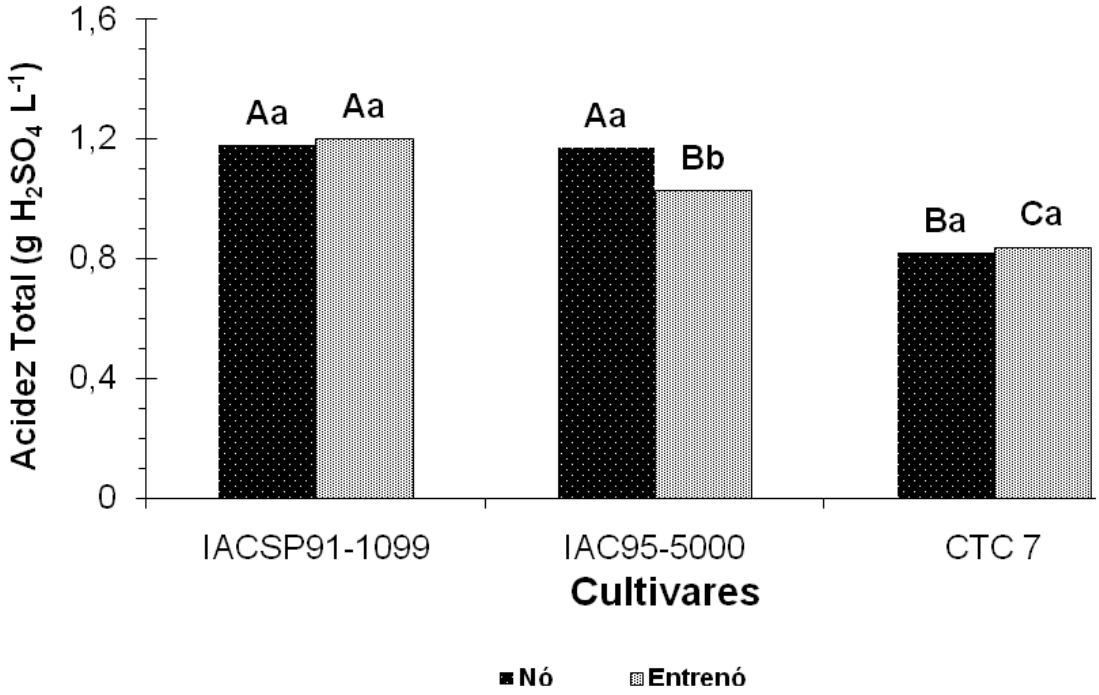


Fig. 1 – Análisis del desdoblamiento de la interacción cultivares x partes de la planta, para acidez total (gH_2SO_4 L^{-1} de jugo). Letras mayúsculas: comparación entre los cultivares para una misma parte del tallo. Letras minúsculas: comparación entre las partes del tallo de un mismo cultivar. Promedios seguidos de letras iguales, en la columna, para cada atributo, no difieren entre si según prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

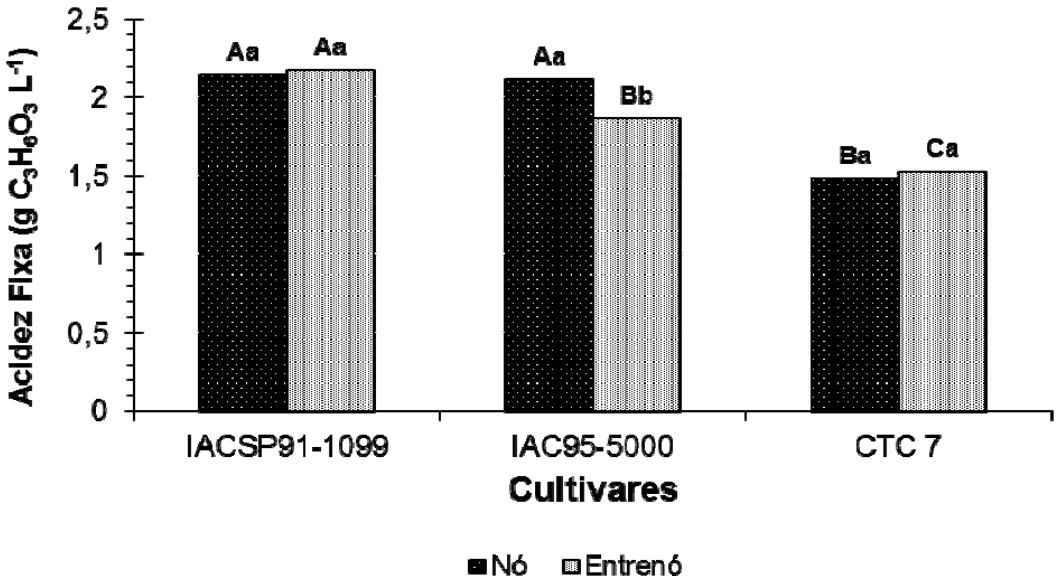


Fig. 2 - Análisis del desdoblamiento de la interacción cultivares x partes de la planta, para acidez fija ($gC_3H_6O_3\ L^{-1}$ de jugo). Letras mayúsculas: comparación entre los cultivares para una misma parte del tallo. Letras minúsculas: comparación entre las partes del tallo de un mismo cultivar. Promedios seguidos de letras iguales, en la columna, para cada atributo, no difieren entre si según prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

CONCLUSIONES

Fue posible verificar la distinguir entre los cultivares, en cuanto a los niveles de acidez evaluados, siendo que el cultivar CTC7 presentó los menores niveles de acidez total e fija. El cultivar IAC95-5000 presentó niveles intermediarios para los mismos factores analizados sobre el cultivar anterior.

El cultivar IAC91-1099 obtuvo los resultados menos satisfactorios, presentando elevados niveles de acidez total y fija, en ambas partes del tallo, y de acidez volátil en el nudo. Tales resultados nos permiten inferir sobre la necesidad de mayor atención en jugos de este cultivar.

En la comparación entre las partes del tallo y cultivares, los valores de acidez volátil no presentaron un patrón definido, dificultando la definición sobre que parte del tallo presenta mayores valores para esta fracción de acidez.

En este sentido, el nudo obtuvo, en general, mayores valores de acidez total y fija, aunque algunos cultivares presentaron resultados divergentes, indicando la necesidad de mayores estudios sobre este tema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcarde, A. R. 2002. Effect of radiation on physiological parameters of the ethanolic fermentation. World Journal of Microbiology & Biotechnology, v 18, n. 1, p.41-47.

Amerine, M. A.; Ough, C.S. 1974. Wine and must analysis. London: Wiley, 144p.

Cardoso, M. G. 1999. **Cachaça: qualidade e produção.** Extensão, Lavras/MG, Brasil, v.8, n.53, p. 1-26. (Boletim Técnico Série)

Delgado, A. A.; Azeredo César, M. A. 1977. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1977. 752p. v.2.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Solos, 412p.

Kroes, S., Harris, H.D. 1994. Efects of cane harvester basecutter parameters on the quality of cut. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists,** v.16, n. 3, p.169-177.

Lima, A. K. dos S.; Nóbrega, I. C. da C. 2004. Avaliação de Parâmetros de Qualidade em Aguardentes de Cana Produzidas no Estado da Paraíba. **Boletim Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**. Paraíba. 2004. V.22, n.1, p. 85-86, jan.-jun.

Marques, M. O. **Determinação da acidez total, acidez volátil e cálculo da acidez fixa em caldo de cana-de-açúcar.** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1998. 3p. Roteiro de aula prática.

Marques, D.; Silva Neto, H. F.; Júnior, L. C. T.; Mendes, S. M.; Marques, M. O. 2010. Qualidade da cana-de-açúcar influenciada pelo sistema de corte, para cultivares tardias. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, 17. São Paulo/SP. Brasil. 16 a 19 de novembro de 2010. USP, Piracicaba, Brasil. .

Oliva Neto, P; Yokoya, F. 2001. Susceptibility of Saccharomyces cerevisiae and lactic acid bacteria from the alcohol industry to several antimicrobial compounds. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.32, n.1, p.10-14.

Pereira, C. B. 2007. **Acidez do caldo na caracterização de cultivares de cana-de-açúcar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal/SP, Brasil, 53 f.

Ripoli, T. C. C.; Ripoli, M. L. C. 2004. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2004. 302p.

Silva Neto, H. F.; Tasso Júnior, L. C.; Silva, J. D. R.; Marques, D.; Marques, M. O. 2010 . Nós e entrenós de cana de açúcar armazenados por 168 horas. In: Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniéria Agricola, 9 (CLIA) – Congresso Brasileiro de Engenharia Agricola, 39 (CONBEA). Vitoria/ES. Brasil. 25 a 29 de julho 2010. Vitória/ES, Brasil.

Silva Neto, H. F. 2010. **Aspectos agrotecnológicos, florescimento, impurezas vegetais e produção de bagaço de cultivares de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal/SP, Brasil. 100f.

Zaninetti Filho, R. C. 2008. **Acidez do caldo na caracterização de 18 cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) cultivada no município de Jaboticabal, SP.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal/SP, Brasil. 50 f.

CONDICIONES PARA LA PRODUCCION DE CANA DE AZUCAR EN KHUZESTAN, IRAN Y EL APOYO DE LAS INVESTIGACIONES PARA ALCANZAR RESULTADOS SUPERIORES

SUGARCANE CONDITION TO PRODUCTION IN KHUZESTAN, IRAN AND RESEARCH TO HIGH RESULT

Hassan Hamdi[1], Héctor García Pérez[2], Masoud Parvizi Alemani[1] y Víctor Caraballoso Torrecilla[2].
[1] Instituto de Investigaciones de la caña de azúcar y el desarrollo de subproductos co. Ahwaz, Irán. Correo electrónico, hhamdius@yahoo.com
[2] Instituto de Investigaciones de la caña de azúcar, Cuba. Correo electrónico, hectorgp@inica.azcuba.cu

Resumen
En Irán, el cultivo de caña de azúcar comercial se somete a una excepcional variedad de condiciones climáticas. Los meses de verano tienen temperaturas máximas diarias de más de 45º C y en los meses de invierno los valores son muy bajos y se producen, normalmente varios días de heladas. La precipitación media anual es de 240 mm y se concentra en los meses fríos, de noviembre a abril, por lo que se necesita del regadío desde la plantación hasta el comienzo de la cosecha, que es a mediados de octubre. Actualmente, los principales cultivares comerciales de caña de azúcar en la región son CP48-103, CP57-614 y CP69-1062, los que fueron obtenidos a mediados del siglo pasado y en su mayoría son susceptibles al mosaico, carbón y otras enfermedades. Para prevenir un decrecimiento continuando del rendimiento y para hacer económica la producción en los campos de caña de azúcar, se llevan a cabo en diferentes investigaciones Agronomía, Sanidad Vegetal y Mejoramiento Genético de caña de azúcar. El establecimiento de las investigaciones y la experiencia de los ejecutivos han permitido el establecimiento de redes de riego y drenaje, la recuperación de suelos, el establecimiento de un balance nutricional de las plantas, el control de plagas y la introducción de nuevas variedades para la llanura caliente y salina de Khuzestan.

Palabras claves: Khuzestan, caña de azúcar, Irán

Abstract
Commercial sugarcane in Iran is subjected to an exceptional range of climatic conditions. The summer months have daily maximum temperatures over 45 C and winter months commonly have several days of frost. Because of the 240 mm average annual rainfall occurs only in the cool months, November to April, the entire crop is irrigated up to the beginning of the annual harvest in mid October. Presently commercial sugarcane cultivars grown in the region (CP48-103, CP57-614 and CP 69-1062) have been released about half century ago and partly susceptible to mosaic, smut and other diseases .In order to prevention of yield decline and continuing for economic production in sugarcane fields, different research studies are conducted every year in Agronomy, Plant Protection and Sugarcane Breeding. Research founding and executive experiences have been obtained in irrigation and drainage networks, soil reclamation, plant nutrition, pest management and introduce new cultivars for hot and saline plain of Khuzestan.

Key words: Khuzestan, sugarcane production, Iran,

Descripción del cultivo de la caña de azúcar en Khuzestan

Historia

Se estima que el consumo de azúcar per cápita en Irán es de alrededor de 30 kg y que se consumen directa e indirectamente alrededor de 2 millones de toneladas de azúcar refinada al año. A pesar de las malas condiciones climáticas y las fluctuaciones económicas en el país, la producción total de azúcar os

2007 fue de aproximadamente 1 300 000 toneladas, de las cuales el 40% fue de 8 fábricas de caña de azúcar y el resto (60%) se obtuvo de 40 fábricas de azúcar de remolacha. El resto de las necesidades de azúcar e el país se importan cada año, desde el mercado internacional.
Según Noel Deere, Alejandro Magno trajo la caña de azúcar a Persia y el azúcar blanco se produjo por primera vez en Gondishapur, la antigua ciudad de la provincia de Khuzestan. El significado de Khuzestan es "tierra de azúcar", donde se cultivó hasta el siglo 12 dC, cuando la región fue destruida por diferentes razones. En 1958, el cultivo de la caña de azúcar reinició en Haft Tappeh y más tarde en las plantaciones de Karun. Recientemente, un nuevo proyecto de desarrollo de la caña de azúcar se inició para producir azúcar, la alimentación del ganado, pulpa y papel y otros subproductos.
Ampliar el área de cultivo de caña de azúcar en las llanuras del sur de Khuzestan, ha aumentado la capacidad de producción de azúcar y se nota un futuro claro e importante para ser autosuficiente en azúcar y subproductos, a esto corresponde un papel importante las investigaciones.

Geografía
La provincia de Khuzestan está situada en el suroeste de Irán y las plantaciones de caña de azúcar se encuentran en las latitudes de 31 a 32º N y longitud de 48º E, entre 6 y 80 m sobre el nivel del mar.
En Khuzestan las cadenas montañosas se extienden desde el noroeste hasta el sureste y es famosa por las llanuras de la Mesopotamia, las que se extienden hasta el Golfo Pérsico en el sur.

Clima
Los promedios de temperaturas máximas y mínimas diarias en enero y julio son 5,1 y 45,2º C, respectivamente. La evaporación anual es de alrededor de 3 000 mm y la humedad relativa es muy baja en los meses de verano. La mayoría de las lluvias se producen entre noviembre y abril, con un promedio anual de sólo 240 mm en el centro de la región. Debido al clima cálido y seco, la caña de azúcar necesita de regadío y si se le unen prácticas agronómicas adecuadas, se producen altos rendimientos de caña (Sund y Clements).
En la provincia de Khuzestan, la luz del sol, varía mucho a lo largo del año. La luz del día, de esta región excepcional ha sido comparada con las áreas de cultivo de caña de azúcar de otros lugares del mundo, tales como Florida y Hawái. Las radiaciones diarias medias anuales de Clewiston, Florida, New Orleans, Luisiana y Hawái están alrededor de 390, 395 y 595 calorías gramo por centímetro cuadrado por día (g cal/cm^2/día), respectivamente, mientras que en la ciudad de Ahwaz, es de 447 g cal/cm^2/día. La luz del sol en Khuzestan, tuvo como promedio, durante los años 1970 a 2005, 203 en enero y 692 g cal/cm^2/día, en junio.
Los Fisiólogos indican que la radiación diaria mínima necesaria para la formación de materia seca es de aproximadamente 250 g cal/cm^2/dia y estos valores son muy favorables en el área de Khuzestan, en lo fundamental en verano, cuando los días son muy largos.

Suelo
La mayoría de los suelos de la región son de tipo aluvial, que se fueron sedimentando gradualmente en dependencia del tamaño de las partículas del suelo y la textura de la Cordillera Zagroos hasta el Golfo Pérsico. La textura de los suelos bajo cultivo en la región se diferenció de arcilla arenosa a franco arcillo limoso y arcilloso. Estos tipos de los suelos, especialmente en el sur de la región a menudo tienen un alto porcentaje de sales solubles en el manto freático, peligrosas, para la garantía de un rendimiento de caña de azúcar estable, lo que hace, en este caso económicamente necesaria una red de drenajes.
Todos los suelos se caracterizan por la presencia de un alto porcentaje de $CaCO_3$ (40-50 %), dando un pH que varía de 7,5 a 8,2, excepto para la llanura donde existen inundaciones los suelos esta es de fracciones gruesas y tienden a ser homogénea a una profundidad de 2 m y más.
El Carbono orgánico del suelo es inferior a 1%, y poco a poco se incrementó en los campos de cultivo. Además, el fósforo y el nitrógeno son muy bajos, mientras que el habitacice nivel de potasio es suficiente. La densidad aparente del suelo es de alrededor de 1,5 gr/cm^3 y como la textura del suelo es pesada la

permeabilidad y la velocidad de infiltración es de aproximadamente 2 a 5 mm / h (clasificado como lento o muy lento).

Sistemas de plantación

En la región, la caña de azúcar se cultiva utilizando dos métodos. En las plantaciones más viejas, es decir Haft Tappeh y Karun la caña se siembra en una sola hilera a una distancia de 1,5 metros, aunque en los nuevos proyectos de plantación, la siembra en hileras dobles con 1,83 metros de distancia entre líneas ajustado al ancho de la cosechadora, para evitar la compactación del suelo.

La plantación de los esquejes de caña comienza a mediados de agosto y continúan hasta finales de octubre. Todos los tallos se cortan a mano, en trozos de unos 60 cm de largo con tres o cuatro yemas por trozo. Después son agrupadas y tratadas con un fungicida y cargada en carros para ser trasladadas a las áreas de siembra. Los obreros colocan los trozos de caña en el fondo del surco, los que se cubren mecánicamente con el empleo de implementos de discos y después se aplica el herbicida pre-emergente e inmediatamente se realiza un riego de agua.

En el nuevo proyecto, las cañas se cortan por una cosechadora y se plantan a mano en surcos poco profundos o son plantados completamente mecanizados con el uso de una plantadora. Debido a la baja calidad de los trozos de caña de azúcar, se utiliza una alta densidad de esquejes en ambos casos.

Riego

Debido al calor y la alta tasa de evaporación de la zona, los campos de caña de azúcar se riegan con mucha frecuencia en el verano, período de mayor crecimiento. Cada campo tanto de planta como en retoño recibe alrededor de 25 riegos. Anualmente al menos 30 000 metros cúbicos de agua se suministra cada año a una hectárea de caña de azúcar.

Debido a la naturaleza del suelo, se debían utilizar sifones de aluminio o tubos de PVC, de 1,5 a 2 pulgadas, para el suministro de agua desde una zanja a cada surco. En la actualidad, especialmente en el nuevo proyecto el desarrollo de la producción de caña de azúcar, un sistema de riego con tubos de polietileno se utiliza de campos de caña, el que ahorra agua, algo valioso en esta región árida.

Período de crecimiento y rendimiento de la producción

La existencia de altas temperaturas del aire y el suministro de cantidades de agua al suelo lleva a una buena germinación de la caña a finales de agosto en las condiciones de Khuzestan. Desde la siembra y hasta principios de noviembre, periodo donde las temperaturas descienden, solo se produce una pequeña parte del crecimiento se lleva a cabo en las nuevas plantación de caña de azúcar. Desde ese momento y hasta marzo se produce muy poco o ningún crecimiento. La temperatura sube rápidamente a finales de marzo y la caña de azúcar poco a poco comienza a crecer, se inicia así el periodo de crecimiento, efectivo a principios de mayo en las condiciones climáticas de Khuzestan.

Una alta tasa de crecimiento se produce en julio y principios de agosto. A continuación, el crecimiento de la caña de azúcar se reduce gradualmente y finalmente a principios de octubre se detiene o demasiado baja para la medición. La acumulación de materia seca en esta región es una de las más altas en todo el mundo. En los campos comerciales el rendimientos de la caña es de alrededor de 100 toneladas por hectárea y la sacarosa por ciento de rendimiento, es de aproximadamente 10%, dependiendo de las variedades y el tiempo de madurez. Se encontró que más de 200 toneladas de caña por hectárea fue lograda en dos campos comerciales, en el norte de la provincia.

Madurez

La caña que se desarrolla en los meses sin lluvias, desde mediados de abril hasta principios de octubre se madura mediante la retención del agua de riego en el final de septiembre para las variedades de maduración temprana y por las temperaturas que caen en otoño e invierno. La tasa de mejora de la calidad del jugo puede ser retrasado por las lluvias de invierno y reducirla o detenerla temporalmente ya que las temperaturas llegan cerca de la congelación.

Heladas y congelación

En las áreas de cultivo de caña de azúcar de Khuzestan, generalmente la temperatura baja ocurre desde finales de noviembre hasta enero, al punto que cae en torno a cero y en algún momento por debajo de este. La mayoría del follaje de caña de azúcar se seca y el proceso de maduración es interrumpido cuando la temperatura es inferior a - 2º C, a esto se llama heladas. Pocas semanas después, la pureza de caña se recuperó y el proceso de extracción de azúcar continúa sin dificultades. También en la congelación cuando la temperatura baja alrededor de 5 a 6º C bajo cero las células y tejidos se destruyen rápidamente y la caña de azúcar comienza a deteriorarse y debe ser cosechada y enviada a la fábrica lo más rápidamente posible, esto ocurre antes de mayo y junio, cuando las temperaturas aumenta rápidamente.

Con una frecuencia de pocos años una congelación severa se sucede en el norte de la provincia, sin embargo, la explotación de la caña de azúcar se está ejecutando y se ha continuado con éxito en la región, alrededor de medio siglo.

Incidencia de la investigación en el incremento de los rendimientos

A continuación se presentan las principales líneas de trabajo por las áreas con que cuenta el centro de mejora de la compañía.

División de Agronomía

El rendimiento del cultivo depende de la calidad y la cantidad de agua de riego disponible, la fertilidad del suelo, la salinidad y el nivel del manto freático. Debido a la importancia de esta división se llevaron a cabo diferentes proyectos de investigación sobre la producción de caña de azúcar en la región. Los proyectos de investigación se centran en:

- Determinación de las necesidades de agua y el intervalo de riego conveniente y estudiar otros métodos para reducir la demanda de agua.

Desde la introducción del sistema de riego Hydro Flume de Australia en 1983, más de 90% de los campos comerciales de caña de azúcar están cubiertos por este método de riego eficiente.

- Estudiar y analizar los efectos de la salinidad y el nivel freático en el rendimiento de la caña de azúcar y el seguimiento de las rede de drenaje.

Todas las tierras bajo el cultivo de caña de azúcar han sido drenadas y los suelos salinos fueron lixiviados con fresca del río. Estudios exhaustivos se han llevado a cabo para reducir los costos y mejorar la eficiencia de la red de drenaje a través del uso de nuevos filtros sintético, sustituto del sistema de suelo de baldosas.

- Determinación de los requisitos en el suministro de nutrientes de caña de azúcar para mantener un alto rendimiento y reducir los índices de contaminación ambiental.

Al respecto, de 400 kg de fertilizante de fosfato de amonio, aplicado por hectárea pre siembra se redujo en un 60% para obtener beneficios y disminuir la contaminación del agua. La cosecha en verde de la caña de azúcar

Se ha practicado utilizando cubierta de basura, para evitar la evaporación del agua en el suelo e incrementar la materia orgánica, lo que contribuye a mejorar las propiedades físicas del suelo. Hay diferentes obstáculos para esta misión.

- Estudiar y evaluar diferentes métodos de siembra que mejoren el sistema de recolección y reducir el tráfico y la compactación del suelo para evitar la disminución del rendimiento.

De acuerdo con la experiencia de Australia, en los métodos de siembra de caña de azúcar, se seleccionaron filas dobles para nuestras condiciones agronómicas, especialmente la cosecha mecanizada con la misma cosechadora australiana que se utiliza en la región.

Es de mencionar que los nuevos proyectos de la caña de azúcar para 84 000 hectáreas fueron diseñados para la plantación de dos hileras, con 1,83 m de distancia entre dos filas. El método tradicional de siembra en el viejo ingenios de la compañía se va transformando hacia la nueva forma de manera gradual.

Mejoramiento genético y biotecnología

Obviamente, los primeros trabajos de mejoramiento genético para introducir nuevas variedades de caña de azúcar adaptables comercialmente fueron realizados en el central Haft Tappeh en 1962. Consultores de la FAO de diferentes institutos de investigación de la caña de azúcar de Cuba, Egipto y la India visitaron la región y realizaron experimentos para producir e introducir nuevos cultivares.

Los programas se basaron en:

- Introdución de variedades de alto rendimiento, resistentes a las principales plagas y enfermedades y tolerantes a estreses ambientales como salinidad, sequía, heladas y congelación.
- Inducir la floración en condiciones controladas de invernadero y fotoperiodo.

Para inducir la floración en caña de azúcar de forma artificial, se construyó una casa de cristal estándar que incluía un cuarto oscuro. Con la regulación adecuada del fotoperiodo, la temperatura y la humedad relativa, muchos cultivares florecieron en dichas condiciones. Por lo tanto, muchos cruces se han ejecutado y las semillas verdaderas fértiles se han obtenido.

- La obtención de Fuzz o semillas verdadera de caña de azúcar a través de diferentes trabajos de mejoramiento y selección de clones superiores, ha sido un logro de esta área.

En 1999, alrededor de 20 gramos de semilla botánica de 10 cruces diferentes se introdujeron al país. Posteriormente fueron importados desde el INICA, Cuba, 21 variedades comerciales de caña, con diferentes orígenes de todo el mundo y además de 40 cruces, esto fue a través de un convenio con la FAO en el año 2000. Al mismo tiempo, llegaron 50 cruces desde Sudáfrica y una pequeña cantidad de semillas verdad recibida del centro de investigaciones de Egipto. A partir de ese momento se amplió la colaboración con el instituto de investigación de Cuba, para recibir nuevas variedades y semillas verdadera (fuzz).

- Planificación para utilizar la biotecnología en la propagación de variedades de forma rápida y saneada, las que se ubicarían teniendo en cuenta el suelo y las condiciones climáticas de cada región.

La industria azucarera en Irán se está ampliando, y el programa de mejoramiento genético de la caña de azúcar en este cultivo tendrá que estar preparadas con las herramientas necesarias para incrementar la producción de azúcar y la producción de otros derivados. Por otro lado, las condiciones climáticas excepcionales en Khuzestan, principal región para la producción de caña de azúcar en Irán necesita especial atención debido a sus diferencias con las zonas de producción de caña de azúcar bajo condiciones tropicales del mundo. Es por ello que los científicos del mundo han hecho valiosos esfuerzos, especialmente de Cuba, para iniciar y perfeccionar el programa de mejoramiento genético, que incluye la introducción de nuevas variedades de caña de azúcar en corto plazo.

Los resultados de los últimos 7 años de trabajo duro muestran que el programa de mejoramiento genético ha pasado su período crítico y el plan se ha basado en la dirección correcta.

De forma general se ha trabajado con cientos de miles de posturas salidas de los invernaderos y pasadas por las diferentes etapas para ser evaluadas en el campo como posible variedades comerciales, empleando diferentes caracteres en cada una de las etapas planificadas. Los resultados preliminares son prometedores pues se han seleccionado más de 26 clones en las etapas finales, algo que se considera un éxito de la estrategia emprendida.

Los dos primeros clones seleccionados se encuentran plantados en campos comerciales, en diferentes lugares y se espera en un par de años se concluya con la evaluación final y se pueda introducir al menos uno de ellos para la producción de azúcar comercial.

Bibliografía utilizada:

1-Abrantes, I.R (2007). Las valoraciones y recomendaciones de carácter general relacionados con las obras del Proyecto de Mejoramiento Genético que viene desarrollando el Centro de Investigación de la caña de azúcar.

2-Hamdi, H. et al (2005). Los avances en el programa de mejoramiento de caña de azúcar en Irán, Proc. ISSCT 25, 523-526
3-Sund, K. A. y Clements, HF (1974) La producción de caña de azúcar en condiciones salinas del desierto en Irán, 64 pp, HSPA publicación, Bul. No ...
4-Sund, KA (1965) Los efectos de las temperaturas bajo cero en el cultivo de caña de azúcar 1963/64, Haft Tappeh, Irán. Proc. ISSCT 12:561-568
5-Sund, K. A. (1968) la influencia del clima frío en el cultivo y cosecha de caña de azúcar en Haft Tappeh, Irán. Proc. ISSCT 13: 608-614
6-Gowing, DP y Bani Abbasi, N. (1975) Observación de la caña de maduración en el invierno iraní, proc. ISSCT 16: 1593-1597

BAJOS RENDIMIENOS AGRÍCOLAS EN CAÑA DE AZÚCAR ASOCIADOS A ALTOS CONTENIDOS DE ALUMINIO, BAJOS DE CALCIO Y OTROS ELEMENTOS ESENCIALES EN SUELOS DE ÁREAS ABASTECEDORAS DEL INGENIO MAHUIXTLAN, EN VERACRUZ.

LOW AGRICULTURAL OUTCOMES IN SUCARCANE CROPS ASSOCIATED TO HIGH CONTENTS OF ALUMINUM, LOW CONTENTS OF CALCIUM AND OTHER ESSENTIAL ELEMENTS AT THE SOILS OF THE SUPPLY AREAS OF MAHUIXTLAN SUGAR FACTORY IN VERACRUZ.

Dr. Andrés Rodríguez Veloso.

Asesor técnico en fertilización y calidad de de los fertilizantes ISQUISA S.A. de C.V.
andres.rodriguez@isquisa.com

RESUMEN

Las aplicaciones continúas de dosis altas de N P K en cada ciclo en áreas abastecedoras de caña de azúcar al ingenio Mahuixtlan no han sido garantía para obtener altos rendimientos agrícolas en la totalidad de las zonas de abastecimiento. Es conocido que la obtención de rendimientos agrícolas bajos, medios o altos, pueden estar dados por innumerables factores, donde la pérdida de la fertilidad del suelo y/o el desbalance entre los elementos esenciales y no esenciales, son las hipótesis (o factores limitantes) más frecuentes que explican esta problemática. Con la finalidad de encontrar los factores limitantes que pudieran explicar la disparidad de los rendimientos entre las zonas de abastecimiento al ingenio se realizó un muestreo de suelo representativo. La interpretación conjunta de los resultados analíticos del laboratorio y de los rendimientos agrícolas correspondientes a cada uno de los predios muestreados permitió documentar que, en los suelos de los predios de rendimientos agrícolas más bajos (menos de 60 ton/ha), se encontraron los contenidos más altos de aluminio y más bajos de calcio (expresados tanto en valores absolutos, *ppm*; como en términos relativos,*% de saturación de la C.I.C*) y contenidos más bajos de zinc y azufre en forma de sulfatos. Por el contrario, en los predios de rendimiento medios (entre 60 y 80 ton/ha) y altos (más de 80 ton/ha), los contenidos de aluminio en los suelos disminuyeron y los contenidos de calcio, zinc y azufre aumentaron proporcionalmente. Se sugirió aplicar un mejorador de suelo para disminuir los contenidos de aluminio.

ABSTRACT

The continuous application of high doses of NPK in each cycle on sugar cane crops that supply Mahuixtlan sugar factory have not guaranteed high agricultural outputs on the entire area of supply. It is known that the extent of agricultural outputs, low, medium or high, can be caused by several factors, where the loss of soil fertility and/or the unbalance of essential and non essential elements are the most frequent hypotheses that explain this problem. With the aim of finding the restricting factors that could account for the disparities of the outputs in the area, a soil sampling was made. The conjoint interpretation of the analytical results from the lab and the agricultural outputs from each sampled sector allowed to supply documentary evidence that,

in the low output sectors (less than 60 ton/ha) the highest aluminum and the lowest calcium contents were found (both in absolute and relative values) as well as the lowest zinc and sulphur contents in the shape of sulphates. On the contrary, in the medium and high output sectors (between 60 and 80 ton/ha and above 80 ton/ha respectively), the aluminum in the soil decreased and the calcium, zinc and sulphate contents increased proportionally. A soil enhancer was suggested in order to decrease the aluminum content.

Palabras clave: caña, rendimiento, aluminio, zinc, suelo
Key words: sugarcane, outcome, aluminum, zinc, soil

INTRODUCCIÓN

La demanda de nutrientes de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*), por tratarse de un cultivo con un alto potencial productivo, es alta también, así como su capacidad de extracción anual de nutrientes del suelo, lo que puede conducir a una reducción del nivel de fertilidad natural de los suelos o a propiciar un desbalance entre los nutrientes si la dosificación de los fertilizantes es muy inferior a los requerimientos del cultivo y/o del suelo. Por tal motivo, la tendencia regularmente es a sugerir fuertes aplicaciones de fertilizantes minerales para tratar de alcanzar buenos rendimientos agrícolas y al mismo tiempo contribuir a conservar las riquezas naturales de los nutrientes del suelo.

Pero las aplicaciones de dosis altas de N P K por si solas no siempre garantizan altos rendimientos agrícolas, como ha venido sucediendo en las áreas de abastecimiento de cañas de azúcar al ingenio Mahuixtlan. Ver tabla I. Sin lugar a dudas otros procesos como la disminución del pH, el incremento del contenido de calcio y/o un desbalance general entre los elementos del suelo pueden interferir en la obtención de los rendimientos esperados a pesar de fertilizarse adecuada o abundantemente.

La aplicación tradicional generalizada de fertilizante mineral, que se han venido aplicando en los últimos años en Mahuixtlan han sido 750 Kg/ha de Triple 16 más 150 Kg/ha de Urea (total 900 Kg/ha/año) para un aporte de 189 unidades de N/ha/año, 120 unidades de P2O5 /ha/año y 120 unidades de K2O /ha/año. Suficiente para alcanzar un rendimiento agrícola superior a las 120 ton/ha/año estimados a partir los índices de extracción por nutrientes propuestos por Zende 1983, Malavolta 1982, Barnes 1974 citados en boletín 1 Caña de azúcar SQM México (2000).

Tabla I. Comportamiento del rendimiento agrícola (zafra 2011-2012) de diferentes predios cañeros seleccionados para el muestreo de suelos representativo de las áreas de abastecimiento de caña de azúcar al ingenio Mahuixtlan. Veracruz.

Predios con rendimientos agrícolas superiores a las 80 ton/ha.	Predios con rendimientos agrícolas comprendidos entre 60 y 80 ton/ha.	Predios con rendimientos agrícolas inferiores a las 60 ton/ha.
Promedio = 94.18 ton/ha	**Promedio = 71.66 ton/ha**	**Promedio = 49.40 ton/ha**
Valores individuales 117.61, 108.92, 94.81, 89.07,84.74 82.94, 81.17, 80.25	Valores individuales 79.88, 78.75, 77.27, 74.99, 74.50, 70.33, 69.07, 64.63, 64.12, 63,59	Valores individuales 59.83,54.31, 52.49, 52.38, 46.06, 43.25, 37.54

Evidentemente son pocos los predios cañeros cuyos rendimientos agrícolas se acercan a la meta de rendimiento esperado (120 ton/ha) en función de la cantidad de fertilizante aplicado. Varias pueden ser las

causas o los factores limitantes, que impiden alcanzar al menos el rendimiento agrícola para el cual se fertilizó. Según Raij (1987) Es preciso identificar los factores limitantes, así como evaluar la disponibilidad de los nutrientes existentes en el suelo, antes de seguir ignorando las condiciones del suelo y continuar empleando las mismas formulaciones que dejan más costos que beneficios.

Chirinos et al (1971) han indicado que resulta de gran utilidad confeccionar mapas de fertilidad, resumir e interpretar la información obtenida después de hacer muestreos masivos y representativos de suelos en una amplia zona geográfica para evaluar el estado nutricional, identificar las limitaciones químicas para la disponibilidad o no de los nutrientes e incluso describir las características agroecológicas en una región cañera. Con esta información será posible elaborar recomendaciones a determinadas áreas sin la previa realización de un análisis de suelo, solo basándose en los valores medios de la región previamente caracterizada.

Si a esta técnica de muestreo representativo y de análisis de suelo a la región cañera sugerida por Chirino et al (1971) se le adiciona, incluir los rendimientos agrícolas de los predios muestreados; la información que se genera podrá darnos la pauta o tendencia recíproca entre el comportamiento de los rendimientos asociado al comportamiento de los contenidos de los elementos esenciales del suelo y a las condiciones químicas para la disponibilidad es éstos y viceversa.

El objetivo central de este estudio fue evaluar mediante un grupo de varios análisis de suelo, las posibles causas o factores limitantes que pudieran estar afectando los rendimientos agrícolas en las áreas de abastecimiento del ingenio Mahuixtlan; desde el punto de vista de las propiedades químicas del suelo, como parte de un proceso de servicio técnico encaminado a ratificar o rectificar la dosificación de N P K y/o incluir algún programa de mejoramiento del suelo en caso necesario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se coordinó con el departamento técnico del ingenio Mahuixtlan y con las organizaciones de productores la labor del muestreo de suelo, para que esta fuera representativa integralmente de toda el área de abastecimiento del ingenio y que quedaran representadas las área que cualitativamente sus rendimientos agrícolas clasificaran de bajos (menos de 60 ton/ha) medios (entre 60 y 80 ton/ha) y altos (más de 80 ton/ha). En cada predio cañero seleccionado se tomó una muestra de suelo compuesta, formada de 20 sub muestras o perforaciones hechas con barrena de 0 a 30 cm de profundidad. Se elaboró un formato de registro donde se relacionaron los predios seleccionados para el muestreo con la documentación necesaria para su identificación, así como información de interés. Ver en Tabla 2 ilustración del formato de registro.

Tabla II. Ilustración del formato de registro de los predios cañeros seleccionados para el muestreo de suelo representativo en I. Mahuixtlan.

Muestra	Productor	Ejido ó Prop	Campo	Régimen	Organización	Zona
1	Delfina M.	La Planilla	Llano del	Riego	CNC	4
Superficie	**RENDIMIENTO TON/HA**			Fertilización	Complejo	Nitrógeno
en ha	2011-2012	2010-2011	2009-2010	Fecha	(16-16-16)	UREA
23.84	94.81	94.90	113.34	22/01/2011	750 Kg/ha	150 Kg/ha

La toma de muestras transcurrió durante los meses de Febrero y Marzo del 2012. Las sub muestras se tomaron dentro de cada predio siguiendo un recorrido en forma de zigzag. El suelo obtenido en el ejercicio del muestreo, se puso a secar a la sombra y luego de removerlo para uniformar las partes de tierra de cada sub muestra se seleccionó un Kilogramo, el cual fue enviado a un laboratorio de prestigio con acreditación EMA y N° de acreditación SA- 006-008/11donde se solicitaron los análisis de fertilidad correspondientes.

Los rendimientos agrícolas del ciclo 2011- 2012 de cada predio cañero, fueron ordenados previamente por su magnitud de mayor a menor y se acoplaron con sus correspondientes resultados analíticos, lo que permitió hacer una interpretación conjunta de ambos resultados. Para facilitar la interpretación de los resultados se calculó la media aritmética de los rendimientos agrícolas y de cada indicador o parámetro del suelo evaluado. Los resultados se presentan a continuación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla III se presentan los rendimientos agrícolas de los predios cañeros seleccionados como representativos del área de abastecimiento del ingenio Mahuixtlan (zafra 2011-2012), expresados en ton/ha y Fordenados por su magnitud de mayor a menor juntos con sus correspondientes contenidos de cationes intercambiables (básicos y ácidos) expresados en porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C). La totalidad de los rendimientos agrícolas se subdividieron y clasificaron por su magnitud en tres grupos; **altos** (más de 80 ton/ha), **medios** (entre 60 y 80 ton/ha) y **bajos** (menos de 60 ton/ha). Se calcularon los valores medios (media aritmética) tanto de los rendimientos agrícolas como de los demás parámetros evaluados del suelo por cada grupo formado. En la parte inferior de la tabla III se presentan los valores medios mencionados.

Los resultados de la tabla III infieren en primera instancia que en las áreas donde los rendimientos agrícolas clasificaron de **medios** y **bajos;** los contenidos de calcio en el suelo fueron respectivamente bajos (*57.04 y 51.35 % de saturación por calcio*) y consecuentemente los contenidos de aluminio fueron altos (*14.29 y 21.49 % de saturación por aluminio*). Otro ángulo de interpretación del mismo resultado lo tenemos con del porcentaje de saturación por los cationes básicos (88 y 78 %) en las áreas de mayores rendimientos y/o por la magnitud del porcentaje de saturación por los cationes ácidos (acidez intercambiable 12 y 22 %) respectivamente. Resultados similares han indicado por BSES (1985), Marinho et al (1980)
También los contenidos de potasio (*3.05 % de saturación por potasio*) fueron más bajos en el grupo cuyos rendimientos agrícolas clasificaron de **bajos** (menos de 60 ton/ha). Resultados similares han encontrado Raij B (1974), Filha O et al (1993) y Rossett R et al (2004). Ver tabla III.

En la tabla IV se presentan los rendimientos agrícolas de los predios cañeros seleccionados como representativos del área de abastecimiento del ingenio Mahuixtlan (zafra 2011-2012), expresados en ton/ha y ordenados por su magnitud de mayor a menor juntos con sus correspondientes contenidos de % materia orgánica y los contenidos de fósforo, zinc, manganeso, hierro, cobre, boro y azufre en forma de sulfato

expresados en ppm. La totalidad de los rendimientos agrícolas se subdividieron y clasificaron por su magnitud en tres grupos al igual que en la tabla anterior. Se calcularon los valores medios (media aritmética) tanto de los rendimientos agrícolas como de los demás parámetros evaluados del suelo por cada grupo formado. En la parte inferior de la tabla IV se presentan los valores medios mencionados.

En la tabla IV llama la atención que la magnitud de los contenidos de fósforo promedios en el suelo cada vez fueron mayores en la medida que los rendimientos agrícolas promedios cada vez fueron menores independientemente del método analítico empleado. Varios investigadores consideran que contenidos superiores a 10 ppm son suficientes para cubrir los requerimientos del cultivo, Olsen et al (1954). Por otra parte la acumulación de fósforo en el suelo se puede entender dado las altas dosis de este elemento que han sido aplicadas en esta área de abastecimiento de caña (120 unidades de P2O5 /ha/año) y al poco consumo por parte del cultivo dado los bajos rendimientos agrícolas.

Los contenidos de zinc, azufre y cobre presentaron una tendencia opuesta al fósforo. Los contenidos promedios de zinc, azufre y cobre fueron cada vez más bajos en la medida que los contenidos medios del rendimiento agrícola cada vez fueron menores. El antagonismo entre el fósforo con el cobre y el zinc es bien conocido y señalado por varios investigadores en diferentes cultivos; también la deficiencia del zinc y el cobre se ha vinculado con la disminución de los rendimientos y sobre todo el zinc en la reducción del tamaño de los entrenudos. En caña de azúcar han encontrado pérdidas significativas de rendimientos agrícolas Bowen (1968) y Rashid et al (1985) Agarwala et al (1985) entre otros.

Los contenidos medios de hierro y manganeso fueron altos en los tres grupos de diferentes rendimientos agrícolas por lo que no se puede definir ninguna tendencia como en los elementos antes mencionados. Por su parte los contenidos medios del boro siempre clasificaron de bajos en los tres grupos de diferentes rendimientos y por su parte los porcentajes de materia orgánica también siempre clasificaron altos en todos los casos. Ver tabla IV.

Tabla III. Comportamiento del rendimiento agrícola y de los resultados del análsis de suelo. Zafra 2011-2012. I. Mahuixtlan										
Zona y	Rend.	**Cationes básicos intercambiables**				**Cationes ácidos intercambiables**			**meq/100 g**	**meq/100 g**
Muestra	ton /ha	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. K	% Sat. Na	% Sat H	% Sat. AL	Suma	C.C.Bases	Acidez Inter
Z-4 M-4	117.61	76.05	12.03	6.20	2.48	1.97	1.27	100%	12.25 (97%)	0.41 (3%)
Z-8 M-11	108.92	64.23	20.7	5.25	4.04	3.21	2.57	100%	8.82 (94%)	0.53 (6%)
Z-4 M-1	94.81	72.28	11.23	7.99	3.12	2.99	2.39	100%	9.48 (95%)	0.54 (5%)
Z-8 M-10	89.07	76.09	12.54	5.59	3.38	1.80	0.6	100%	8.15 (98%)	0.19 (2%)
Z-10 M-17	84.74	42.47	5.73	7.90	3.85	10.87	29.18	100%	4.56 (71%)	1.88 (29%)
Z-8 M-7	82.94	73.38	20.1	3.68	2.72	0.12	0	100%	16.93 (99%)	0.03 1%)
Z-4 M-3	81.17	52.13	12.5	8.60	2.86	6.64	17.27	100%	6.65 (76%)	2.09 (24%)
Z-5 M-21	80.25	37.59	6.47	12.57	4.69	10.49	28.19	100%	4.1 (61%)	2.58 (39%)
Z-6 M-25	79.38	90.55	3.48	4.48	1.49	0	0	100%	16.75 (100%)	0
Z-8 M-24	78.75	66.64	14.69	6.53	5.03	3.95	3.16	100%	7.05 (93%)	0.54 (7%)
Z-5 M-20	77.27	67.65	0	12.56	5.48	7.95	6.36	100%	4.31 (86%)	0.72 (14%)
Z-5 M-23	74.99	31.75	0	9.65	4.56	15.05	38.99	100%	2.38 (46%)	2.8 (54%)
Z-8 M-12	74.50	63.23	22.74	2.15	1.82	2.79	7.27	100%	18.67 (90%)	2.09 (10%)
Z-4 M-2	70.33	57.86	13.61	8.23	2.99	5.19	12.12	100%	8.59 (83%)	1.81 (17%)
Z-7 M-6	69.07	71.09	0	10.17	11.7	7.04	0	100%	1.32 (93%)	0.1 (7%)
Z-8 M-22	64.63	52.33	14.38	4.13	3.33	6.95	18.88	100%	6.84 (74%)	2.38 (26%)
Z-6 M-5	64.12	45.80	2.93	9.16	4.3	10.26	27.55	100%	4.24 (68%)	2.58 (32%)
Z-10 M-18	63.59	38.31	16.45	4.44	4.24	9.79	26.77	100%	5.09 (73%)	1.86 (27%)
Z-8 M-8	59.83	72.45	17.86	7.69	2	0	0	100%	22.32 (100%)	0
Z-7 M-15	54.31	95.10	1.64	1.93	1.33	0	0	100%	23.57 (100%)	0
Z-7 M-13	52.49	47.01	0	5.13	4.59	11.64	31.63	100%	3.12 (57%)	2.38 (43%)
Z-8 M-19	52.38	63.89	17.73	2.63	2.74	3.83	9.18	100%	15.31 (88%)	2.09 (12%)
Z-8 M-9	46.06	73.00	22.88	1.59	2.53	0	0	100%	32.1 (100%)	0
Z-10 M-16	43.25	45.79	14.72	3.39	3.7	8.59	23.81	100%	5.86 (76%)	1.83 (24%)
Z-7 M-14	37.54	52.72	9.52	3.47	4.3	8.65	21.34	100%	5.02 (70%)	2.15 (30%)
Muestra	ton /ha	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. K	% Sat. Na	% Sat H	% Sat. AL	Suma	C.C.Bases	Acidez Inter
Media	94.18	65.23	13.54	6.46	3.22	3.94	7.61	100%	8.69 (88%)	1.19 (12%)
	71.66	57.04	8.54	7.82	4.92	7.39	14.29	100%	6.47 (78%)	1.83 (22%)
	49.40	51.35	12.61	3.05	3.33	8.17	21.49	100%	11.57 (70%)	4.96 (30%)
	V. Ref.	**(65-75)**	**(15-20)**	**(4 - 7)**	**(< 5)**	**(0 - 5)**	**(0 - 0)**	100%	**(100-95)**	**(0 - 5)**

Tabla IV. Comportamiento general del rendimiento agrícola y de los resultados del anásis de suelo. Zafra 2011-2012. I. Mahuixtlan

Zona y	Rend.	**Nitrógeno**	**Fósforo**		**Elementos menores**					
Muestra	ton /ha	Mat. Org.	Por Bray I	Por Olsen	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	S- SO_4
Z-4 M-4	117.61	4.26	39	0.5	3.41	64.95	64.35	1.63	0.53	8.92
Z-8 M-11	108.92	3.78	59	41	1.19	75.21	81.65	1.68	0.36	0.34
Z-4 M-1	94.81	4.41	63	0	1.85	69.8	98.91	2.13	0.57	14.94
Z-8 M-10	89.07	3.28	18	25	1.17	90.25	68.16	1.41	0.34	0.73
Z-10 M-17	84.74	3.39	9	18	3.36	88.44	71.65	0.83	0.58	27.58
Z-8 M-7	82.94	3.85	47	44	1.70	57.38	63.79	1.73	0.42	3.03
Z-4 M-3	81.17	4.41	23	21	2.04	71.43	116	1.74	0.56	14.23
Z-5 M-21	80.25	3.88	8.97	29.4	1.16	67.69	63.37	1.83	0.56	18.82
Z-6 M-25	79.38	4.00	26.32	47.87	3.09	52.74	61.06	1.51	0.46	24.31
Z-8 M-24	78.75	3.21	19.40	21.61	0.29	10.41	74.70	0.53	0.42	6.48
Z-5 M-20	77.27	4.50	124	146	1.90	40.92	105	1.85	0.83	33.28
Z-5 M-23	74.99	4.29	43.91	58.42	0.55	40.08	76.26	1.38	0.59	11.72
Z-8 M-12	74.50	6.64	147	62	0.2	77.58	138.28	1.02	0.45	1.9
Z-4 M-2	70.33	4.37	55	11	2.05	71.21	88.89	2.15	0.51	26.06
Z-7 M-6	69.07	2.09	0	22	0	7.17	64.16	0.63	0.54	2.54
Z-8 M-22	64.63	2.29	22.58	23.56	0	31.37	68.98	0.74	0.39	9.87
Z-6 M-5	64.12	2.09	0	22	0	7.17	64.16	0.63	0.54	2.54
Z-10 M-18	63.59	2.70	12	18	0	27.71	57.23	0.36	0.36	1.43
Z-8 M-8	59.83	3.49	117	105	2.84	34.47	46.4	1.67	0.42	8.4
Z-7 M-15	54.31	3.53	38	27	0.06	8.81	119.5	0.87	0.51	4.53
Z-7 M-13	52.49	1.98	88	52	0.09	20.25	108.76	0.61	0.17	13.89
Z-8 M-19	52.38	3.46	52.09	43.19	0.11	62.89	116.83	1.28	0.49	3.42
Z-8 M-9	46.06	3.31	14	16	0.38	54.35	40.66	1.1	0.28	6.69
Z-10 M-16	43.25	2.95	50	39	0	102.64	124.86	0.71	0.26	1.81
Z-7 M-14	37.54	2.70	29	21	0.37	60.51	105.75	0.75	0.09	1.42
Muestra	ton /ha	Mat. Org.	Por Bray I	Por Olsen	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	S- SO_4
Media	94.18	3.90	33.00	22.36	1.98	73.14	78.49	1.62	0.49	11.07
	71.66	3.62	45.02	43.24	0.99	36.63	79.87	1.08	0.50	12.01
	49.40	3.06	55.44	43.31	0.20	49.13	94.68	0.99	0.31	5.29
	V. Ref.	**(1.8-2.3)**	**(21-40)**	**(5.5-11)**	**(1.3-2.5)**	**(7-12)**	**(9-12)**	**(0.9-1.2)**	**(0.9-1.4)**	**(8-12)**

Al resumir la interpretación de las tablas III y IV se puede inferir que en las áreas donde los rendimientos agrícolas fueron más **bajos** (menos de 60 ton/ha) con promedio de 49.40 ton/ha, los contenidos de los elementes esenciales más reconocidos como influyentes sobre el rendimiento agrícola (calcio, potasio, aluminio, fósforo y zinc) alcanzaron valores que infieren o describen una tendencia; más no se pueden reconocer como valores de referencia como tal, ni incluso para el área de donde se obtuvieron. No obstante si los resultados del muestreo representativo se reordenan considerando el parámetro capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y se incluye los contenidos de los cationes expresados como valores absolutos, se tendrán valores más confiables para ser tomados al menos regionalmente como de referencia. Ver tablas V, VI, VII y VIII.

En la tabla V se presentan los resultados de las áreas, cuya capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) resultaron ser menores de 10 meq. /100 g de suelo y los rendimientos agrícolas promediaron por encima de las 80 ton/ha. En esta condición uniforme de capacidad de intercambio catiónico, con promedio 7.91 meq. /100 g de suelo los rendimientos agrícolas fueron disminuyendo en correspondencia con la disminución de los contenidos de calcio tanto expresado en porcentaje de saturación como en ppm. En consecuencia los contenidos de aluminio fueron aumentando, asociados a la disminución del rendimiento agrícola y por supuesto a los contenidos de calcio. En la tabla Va se presentan un resumen de los valores medios del calcio, aluminio, zinc, fósforo y potasio, de las áreas con rendimientos agrícolas, alto, medio y bajo.

Tabla Va Comportamiento de los contenidos medios de calcio, aluminio, zinc, fósforo y potasio en áreas con rendimientos agrícolas alto medio y alto de suelos con
Menos de 10 meq. /100 g de suelo.

Ordenamiento por C.I.C **(< de 10)** **(med 6.79)**

ton /ha	% Sat. Ca	Ca ppm	% Sat. AL	AL ppm	Zinc	Por Bray I	Cobre	K ppm
88.83	***54.50***	***886***	***15.56***	***100.08***	***1.78***	***23.59***	***1.49***	***221.00***
70.34	***53.36***	***621***	***17.38***	***103.62***	***0.39***	***31.70***	***1.83***	***172.28***
44.42	***48.50***	***659***	***25.59***	***153.00***	***0.15***	***56.00***	***0.69***	***103.00***

En la tabla VI se presentan los resultados de las áreas, cuya capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) resultaron estar entre 10 y 20 meq. /100 g de suelo. En esta condición uniforme de capacidad de intercambio catiónico, con promedio 13.21 meq. /100 g de suelo y donde los rendimientos agrícola promediaron por encima de las 95 ton/ha, encontramos el mejor balance entre los cationes básicos calcio, magnesio y sobre todo potasio. También los contenidos de zinc y cobre fueron más altos que los de la tabla V. No obstante a pesar de ello los contenidos de aluminio de cierta forma son más altos donde los rendimientos fueron menores En tabla VIa se presentan un resumen de los valores medios del calcio, aluminio, zinc, fósforo y potasio, de las áreas con rendimientos agrícolas, alto, medio y bajo.

Tabla VIa. Comportamiento de los contenidos medios de calcio, aluminio, zinc, fósforo y potasio en áreas con rendimientos agrícolas alto medio y alto de suelos con
10 a 20 meq. /100 g de suelo.

Ordenamiento por C.I.C **(de 10 a 20)** **(med. 17.40)**

ton /ha	% Sat. Ca	Ca ppm	% Sat. AL	AL ppm	Zinc	Por Bray I	Cobre	K ppm
98.45	***73.90***	***1,954***	***1.22***	***12.0***	***2.32***	***50.00***	***1.83***	***288***
74.85	***74.20***	***2,118***	***6.06***	***56.7***	***2.57***	***40.66***	***1.83***	***314***
52.38	***63.89***	***2,414***	***9.18***	***135.9***	***0.11***	***52.09***	***1.28***	***144***

En la tabla VII llama la atención que a pesar del alto contenido de aluminio (expresado en ppm) el rendimiento agrícola clasifica de medio, lo que pudiera estar dado por los altos contenidos de calcio y magnesio que no dejan una condición favorable para su asimilación. No obstante por ser este resultado analítico de un suelo de alta capacidad de intercambio catiónico (23.37 meq. /100 g de suelo) el valor de aluminio expresado en % de saturación de la C.I.C es relativamente bajo. Esto no lleva a pensar que en la medida que el contenido de calcio en el suelo baje, el aluminio presente se hace disponible y el rendimiento agrícola puede disminuir. Por otra parte los bajos contenidos de zinc y potasio pueden estar influyendo también para que el rendimiento agrícola no se mayor. En este caso es recomendable.

Tradicionalmente la toxicidad por aluminio se combate aplicando calcio (en calando con cal agrícola o cal dolomítica) para interferir en la asimilación del aluminio. No obstante puede ser una magnífica alternativa eliminar la presencia del aluminio con un desalinizador que capture el aluminio, formar una sal soluble (por ejemplo al aplicar una mezcla de polímeros de ácido carboxílico y ácido fosfónico) que pueda ser lavada con la lluvia o el riego.

En la tabla VIII de forma resumida se agruparon los contenidos medios de los rendimientos agrícolas y sus correspondientes resultados del análisis de suelo, tomando en cuenta la magnitud de la capacidad de intercambio catiónico. Este nuevo agrupamiento de la información reafirma de forma general, que la variación de los rendimientos agrícolas de las áreas representativas de las zonas de abasto de caña de azúcar al ingenio Mahuixtlan; están influenciadas por los contenidos de aluminio, calcio, zinc y potasio fundamentalmente.

La disminución de los rendimientos agrícolas está asociada con altos contenidos de aluminio en el suelo y consecuentemente con bajos contenidos de calcio. Este comportamiento se presenta en las diferentes áreas aunque la capacidad de intercambio catiónico sea de menos 10 meq. /100 g de suelo de (15 a 20) o más de 20. Además las áreas con rendimientos bajos también mostraron los contenidos más bajos de zinc y cobre, así como los contenidos más altos de fósforo.

CONCLUSIONES

En la interpretación conjunta de los análisis de suelo y los rendimientos agrícolas de predios cañeros representativos del área de abastecimiento de caña al ingenio Mahuixtlan, se encontró que la disminución de los rendimientos agrícolas estaba asociada con altos contenidos de aluminio y consecuentemente bajos contenidos de calcio expresados tanto de forma absoluta (ppm) como en forma relativa (porcentaje de saturación de la C.I.C) constituyendo este hecho un factor limitante.

Otros elementos como el zinc, cobre e incluso el potasio también en segunda instancia, también estaban asociados a los bajos rendimientos agrícolas, constituyendo otro factor limitante de interés.

Tabla V. Comportamiento del rendimiento agrícola y análisis de suelo; ordenados por la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Ordenamiento por C.I.C (< de 10) (med. 7.91)

Muestra	ton /ha	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. K	% Sat. Na	% Sat H	% Sat. AL	C.I.C.	C.C.Bases	Acidez Inter
Z-8 M-11	108.92	64.23	20.7	5.25	4.04	3.21	2.57	9.35	8.82 (94%)	0.53 (6%)
Z-8 M-10	89.07	76.09	12.54	5.59	3.38	1.80	0.6	8.34	8.15 (98%)	0.19 (2%)
Z-10 M-17	84.74	42.47	5.73	7.90	3.85	10.87	29.18	6.44	4.56 (71%)	1.88 (29%)
Z-4 M-3	81.17	52.13	12.5	8.60	2.86	6.64	17.27	8.74	6.65 (76%)	2.09 (24%)
Z-5 M-21	80.25	37.59	6.47	12.57	4.69	10.49	28.19	6.68	4.10 (61%)	2.58 (39%)
	88.83	***54.5***	***11.58***	***7.98***	***3.76***	***6.6***	***15.56***	***7.91***	***80%***	***20%***

		Cationes básicos intercambiables				**Cationes ácidos inter.**		**Acidez**
Muestra	ton /ha	Ca ppm	Mg ppm	K ppm	Na ppm	H ppm	AL ppm	pH (al agua)
Z-8 M-11	108.92	1,202	232	192	87	3.0	21.6	6.02
Z-8 M-10	89.07	1,269	126	182	65	1.5	4.5	6.43
Z-10 M-17	84.74	547	44.3	109	57	7.0	169.2	4.97
Z-4 M-3	81.17	911	131	291	57	5.8	135.9	4.97
Z-5 M-21	80.25	501	52	333	72	7.0	169.2	5.33
	88.83	***886***	***117***	***221***	***68***	***4.9***	***100.08***	***5.54***

Ordenamiento por C.I.C (< de 10) meq./100 g (med. 7.91)

		Fósforo	**Elementos menores**						
Muestra	ton /ha	Por Bray I	Por Olsen	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	S- SO_4
Z-8 M-11	108.92	59	41	1.19	75.21	81.65	1.68	0.36	0.34
Z-8 M-10	89.07	18	25	1.17	90.25	68.16	1.41	0.34	0.73
Z-10 M-17	84.74	9	18	3.36	88.44	71.65	0.83	0.58	27.58
Z-4 M-3	81.17	23	21	2.04	71.43	116	1.74	0.56	14.23
Z-5 M-21	80.25	8.97	29.4	1.16	67.69	63.37	1.83	0.56	18.82
	88.83	***23.59***	***26.88***	***1.78***	***78.6***	***80.16***	***1.49***	***0.48***	***12.34***

Tabla VI. Comportamiento del rendimiento agrícola y análisis de suelo; ordenados por la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Ordenamiento por C.I.C **(de 10 a 20)** **(med. 13.21)**

Muestra	ton /ha	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. K	% Sat. Na	% Sat H	% Sat. AL	C.I.C.	C.C.Bases	Acidez Inter
Z-4 M-4	117.61	76.05	12.03	6.20	2.48	1.97	1.27	12.66	12.25 (97%)	0.41 (3%)
Z-4 M-1	94.81	72.28	11.23	7.99	3.12	2.99	2.39	10.02	9.48 (95%)	0.54 (5%)
Z-8 M-7	82.94	73.38	20.1	3.68	2.72	0.12	0	16.96	16.93 (99%)	0.03 1%)
	98.45	***73.9***	***14.45***	***5.96***	***2.77***	***1.69***	***1.22***	***13.21***	***97%***	***3%***

		Cationes básicos intercambiables				**Cationes ácidos inter.**		**Acidez**
Muestra	ton /ha	Ca ppm	Mg ppm	K ppm	Na ppm	H ppm	AL ppm	pH (al agua)
Z-4 M-4	117.61	1,925	182	306	72	2.5	14.4	6.19
Z-4 M-1	94.81	1,448	135	313	72	3.0	21.6	5.85
Z-8 M-7	82.94	2,489	409	244	106	0.2	0	6.71
	98.45	***1,954***	***242***	***288***	***83***	***1.9***	***12***	***6.25***

Ordenamiento por C.I.C **(de 10 a 20)** **(med. 13.21)**

		Fósforo	**Elementos menores**						
Muestra	ton /ha	Por Bray I	Por Olsen	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	S- SO_4
Z-4 M-4	117.61	39	0.5	3.41	64.95	64.35	1.63	0.53	8.92
Z-4 M-1	94.81	63	0	1.85	69.8	98.91	2.13	0.57	14.94
Z-8 M-7	82.94	47	44	1.70	57.38	63.79	1.73	0.42	3.03
	98.45	***50.00***	***14.83***	***2.32***	***64.04***	***75.68***	***1.83***	***0.50***	***8.96***

Tabla VII. Comportamiento del rendimiento agrícola y análisis de suelo, ordenados por la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Ordenamiento por C.I.C **(más de 20)** **(med. 20.76)**

Muestra	ton /ha	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. K	% Sat. Na	% Sat H	% Sat. AL	C.I.C.	C.C.Bases	Acidez Inter
Z-8 M-12	74.50	63.23	22.74	2.15	1.82	2.79	7.27	20.76	18.67 (90%)	2.09 (10%)

		Cationes básicos intercambiables				**Cationes ácidos inter.**		**Acidez**
Muestra	ton /ha	Ca ppm	Mg ppm	K ppm	Na ppm	H ppm	AL ppm	pH (al agua)
Z-8 M-12	74.50	2,625	566	174	87	5.8	135.9	5.55

Ordenamiento por C.I.C **(más de 20)** **(med. 20.76)**

Muestra	ton /ha	Por Bray I	Por Olsen	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	S- SO_4
Z-8 M-12	74.50	147	62	0.2	77.58	138.28	1.02	0.45	1.9

Tabla VIII. Resumen del comportamiento de los rendimientos agrícolas y de los análisis de suelo ordenados por la capacidad de intercambio catiónico del suelo. I. Mahuixtlan.

Ordenamiento por C.I.C			(de 10 a 20)					(med. 13.21)		
Muestra	ton /ha	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. K	% Sat. Na	% Sat H	% Sat. AL	C.I.C.	C.C.Bases	Acidez Inter
	98.45	73.9	14.45	5.96	2.77	1.69	1.22	13.21	97%	3%
Muestra	ton /ha	Ca ppm	Mg ppm	K ppm	Na ppm	H ppm	AL ppm	pH (al agua)		
	98.45	1,954	242	288	83	1.9	12	6.25		
Muestra	ton /ha	Por Bray I	Por Olsen	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	S- SO_4	
	98.45	50.00	14.83	2.32	64.04	75.68	1.83	0.50	8.96	

Ordenamiento por C.I.C			(< de 10)					(med. 7.91)		
Muestra	ton /ha	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. K	% Sat. Na	% Sat H	% Sat. AL	C.I.C.	C.C.Bases	Acidez Inter
	88.83	54.5	11.58	7.98	3.76	6.6	15.56	7.91	80%	20%
Muestra	ton /ha	Ca ppm	Mg ppm	K ppm	Na ppm	H ppm	AL ppm	pH (al agua)		
	88.83	886	117	221	68	4.9	100.08	5.54		
Muestra	ton /ha	Por Bray I	Por Olsen	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	S- SO_4	
	88.83	23.59	26.88	1.78	78.6	80.16	1.49	0.48	12.34	

Ordenamiento por C.I.C			(más de 20)					(med. 20.76)		
Muestra	ton /ha	% Sat. Ca	% Sat. Mg	% Sat. K	% Sat. Na	% Sat H	% Sat. AL	C.I.C.	C.C.Bases	Acidez Inter
	74.50	63.23	22.74	2.15	1.82	2.79	7.27	20.76	90%	10%
Muestra	ton /ha	Ca ppm	Mg ppm	K ppm	Na ppm	H ppm	AL ppm	pH (al agua)		
	74.50	2,625	566	174	87	5.8	135.9	5.55		
Muestra	ton /ha	Por Bray I	Por Olsen	Zinc	Manganeso	Hierro	Cobre	Boro	S- SO_4	
	74.50	147	62	0.2	77.58	138.28	1.02	0.45	1.9	

REFERENCIAS

- Agarwala, S.C.; Chatterjee. B.D.; Nautiyal, B. K.; N .Nauyital (1985). Inducción de deficiencias de zinc, cobre y molibdeno en caña de azúcar y su efecto en la concentración de azúcar y otra encimas. Sugar Cane (6): p.1-7.
- Bowen. J.E. (1968). Algunos efectos fisiológicos causados en caña de azúcar por la variación de los contenidos de boro y zinc. Rep. Hawaiian Sugar Technol. P. 35-40.
- Chirinos, A.; J, C de Brito; I, de Rojas. (1971). Características de fertilidad de algunos suelos venezolanos vistos a través de los resúmenes de análisis rutinarios. Agronomía Tropical. Vol. XXI n° 5: 397-410
- BSES (1985). Crop nutrition review. O.W. Sturgess (ed) BSES Bul. 10 (April): p. 3-24.
- Olsen, S. R.; Cole, C. V. Watanabe, F.S.; Dean, L.A. (1954). Estimación de la disponibilidad del fósforo en el suelo por extracción con bicarbonato de sodio. USD circular n° 939
- Orlando Filho, J; Muraoka, T.; Rodella, A.A.; Rosesetto, R. (1993). Fuentes de potasio en la fertilización de la caña de azúcar. KCL y SO4K2. En Congreso Nacional de técnicos azucareros y alcoholeros de Brasil, 5 Aguas de Sao Pablo. Anais. Piracicaba.
- Raij, B. V. Evaluación de la fertilidad del suelo. 3° ed. Instituto Agronómico del Estad de Sao Pablo. Campinas. (1987). 136 p.
- Raij, B. V. (1976) Calibración del potasio cambiable en suelos con cultivos de algodón y caña de azúcar. Ciencia y cultura, San Pablo. V.26 n6 p.575-576.
- Rashid. A, R.L.Fox, R. P. Bosshart, R. S. Yost (1985). Contenidos de zinc en el suelo y su posible influencia en el crecimiento de la caña de azúcar. Rep. Hawaiian Sugar Technol. Nov. A15- A-23
- Rossetto, R.; Spironello, A.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. (2,004). Encalado en caña de azúcar y su inter relación con el contenido de potasio. Bragantia, Campinas, V.63 n.1 p.105-119.
- SQM México (2000) Caña de azúcar. Boletín divulgativo n°1. 3p.
- Marinho, M.L.; Alburquerque, G.A.C.; Araujo, J.T. (1980). Efecto del encalado en suelos arcillosos fuertemente ácidos en el cultivo caña de azúcar en Alagoas. En Reunión Brasileña de fertilidad del suelo. Cuiabá. Anais. Campinas p.14-19.

EFECTOS DEL USO DE COMET Y VITAVAX SOBRE EL CRESCIMIENTO Y DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

EFFECTS OF THE USE OF COMET AND VITAVAX ON THE ONWARD AND DEVELOPMENT OF SUGAR CANE

[1]LUIZ CARLOS TASSO JUNIOR; [2]HÉLIO FRANCISCO DA SILVA NETO, [3]BRUNO FERNANDES MODESTO HOMEM, [4]MARCOS OMIR MARQUES

[1] Bolsista CAPES - Pós-doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil;. E-mail: lctasso@yahoo.com.br
[2] Bolsista CNPq, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil; e-mail: heliofsn@hotmail.com
[3] Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil; e-mail: bruno.homem@hotmail.com
[4] Professor Dr. Adjunto III do Departamento de Tecnologia Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP – Brasil. e-mail: omir@fcav.unesp.br

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos en la brotación y productividad agrícola final de la caña de azúcar, cuando la siembra fue realizada con la adición individual o en mezcla de los productos (Vitavax e Comet). El experimento fue realizado en la finca Santo Expedito, municipio de Terra Roxa, SP. Los tratamientos fueron: testigo, comet, vitavax y vitavax+comet. El tratamiento II (Comet) obtuvo el mayor macollamiento, diámetro y altura de los tallos, y consecuentemente la mayor productividad agrícola en todas las épocas evaluadas. El testigo presentó los resultados menos satisfactorios para el crecimiento vegetativo y TCH, y por eso obtuvo la mejor calidad de jugo. Siendo así, podemos concluir que la aplicación de vitavax y comet+vitavax eleva la producción agrícola da caña de azúcar. Entretanto, la aplicación aislada de comet proporcionó el mayor incremento en el crecimiento inicial da caña de azúcar, reflejando en la producción final.

Palabras clave: azúcar, crecimiento vegetativo, producción

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects on germination and final agricultural productivity of sugar cane, where sowing was carried out with the addition of single or mixed products (Vitavax and Comet). The experiment was conducted in Santo Expedito farm, municipality of Terra Roxa, SP. The treatments were: control, comet, comet Vitavax and Vitavax +. Treatment II (Comet) obtained the highest tillering, diameter and height of the stems, and consequently the greater agricultural productivity in all periods evaluated. The witness presented the results less satisfactory for vegetative growth and TCH, and so obtained the best quality of juice. Thus, we conclude that the application of comet + Vitavax Vitavax and agricultural

production gives rise sugarcane. Meanwhile, the separate application of comet provided the largest increase in the initial growth da cane, reflecting in the final production.

Keywords: sugar, vegetative growth, production

INTRODUCCIÓN

Saccharum spp, conocida como caña de azúcar, perteneciente a la familia de las Poaceae, tiene su origen en la región central de Nueva Guinea e Indonesia, en Asia Meridional. Es una planta alógama, monocotiledonea, de ciclo semi-perenne y de climas subtropicales y tropicales (Daniels y Roach, 1987).

La caña de azúcar, dentro de su cadena productiva, pasó por diversos períodos de transformación y, paralelamente con la consolidación de los mercados internos y externos, el estado de São Paulo fue concentrando poco a poco la producción de caña.

En la sociedad brasilera, la importancia del sector productor de caña y alcohol es indiscutible, sea por el equilibrio de la balanza comercial por causa de la colaboración de las exportaciones de azúcar y alcohol o por la gran influencia en la generación de empleos directos e indirectos (Marques et al.,2006). Siendo así, Brasil se constituye como el mayor productor mundial de ese cultivo, siendo responsable por cerca de un tercio de toda la caña producida en el mundo (Canaoeste, 2010).

A parte de esto, actualmente, la caña de azúcar tiene gran importancia en el escenario agrícola brasilero y mundial, por ser una de las mejores opciones entre las energías renovables (Souza et al., 2005).
De esta forma, son comunes relatos de la expansión de caña en diversas regiones de Brasil, proporcionado cada año aumento en el área plantada con este cultivo. Para atender a esta elevada demanda, hubo innúmeros avances en el sector agrícola. De entre ellos, la siembra mecanizada de la caña.

La adopción de la siembra mecanizada, en busca del aumento del desempeño operacional, trae consigo una serie de implicaciones. Por el hecho de la caña de azúcar ser considerada un cultivo semiperenne, la siembra es una actividad de extrema importancia. Fallas cometidas por ocasión de la siembra podrán representar hasta cinco años consecutivos de productividad comprometida. Con eso, los toletes plantados deben estar sanos y protegidos para reducir los riesgos de incidencia de plagas y enfermedades (Ferreira et al., 2008).

Las siembras en las regiones Sudeste y Centro-Oeste de Brasil ocurre, en su mayor parte, entre los meses de abril y septiembre, y así, las plantas quedan mas susceptibles a la incidencia de plagas y enfermedades y menor crecimiento vegetativo debido a las condiciones desfavorables del clima y de solo. Alrededor del mundo, son estimadas perdidas de producción y productividad entre 10 y 25% en función de la incidencia de enfermedades, con perjuicios de millones de dólares, sin considerar, aun, las perdidas industriales que ocurren durante el procesamiento de los tallos para la producción de azúcar y alcohol (Mohanraj et al., 2002 citado por Ferreira et al., 2006).

Un ejemplo de eso son las pérdidas causadas por los hongos *Thielaviopsis paradoxa*, agente causal de la pudrición-piña. Entretanto, algunos productos químicos pueden ser eficientes en el combate de las enfermedades fúngicas y pueden contribuir para la germinación, brotacion, crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar.

Evaluar los efectos en la brotación y productividad agrícola final de la caña de azúcar, cuando la siembra fue realizada con la adición simple o en mescla de los productos (Vitavax e Comet).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue instalado y conducido en el sitio Santo Expedito, municipio de Terra Roxa, SP en 08 de noviembre de 2010. El Ambiente de producción fue clasificado como “A”. El cultivar utilizado en el experimento fue el CTC 15.

Para la corrección del suelo fue necesario, de acuerdo con el análisis de suelo, la aplicación de 2,5 tha^{-1} de calcáreo dolomítico + 1,2 t ha^{-1} de yeso agrícola. Para la fertilización del suelo fueron utilizados 560 kg ha^{-1} de la formula 06-30-24.

Fueron utilizadas 16 toneladas de material de siembra, alcanzando 18 yemas viables por metro. Al momento de la cubrición del material fueron utilizados (en todos los tratamientos) 200g de Regente, 1 litro de zintrac, 1 litro de bortrac y 5 litros de furadán.

Los tratamientos utilizados están descritos en la Tabla I siguiente:

Tabla I: Tratamientos evaluados, dosis e ingredientes activos.

TRATAMIENTOS	PRODUCTOS COMERCIALES	DOSIS	INGREDIENTE ACTIVO
I	testigo	0 l/ha	Trifloxistrobina 500g/l
II	Comet®	0,5 l/ha	Piraclostrobina 250 g/l
III	Vitavax	0,8 l/ha	Tiran+Tegran
IV	Comet®+ Vitavax	0,5 =0,8 l/ha	Piraclostrobina 250 g/l

Fueron realizadas las siguientes evaluaciones:

NÚMERO DE MACOLLO

Fueron contados de forma casualizada el número de macollos en 10 puntos de 01 metro por tratamiento (Figura 1), de acuerdo con la Tabla II.

Tabla II: Fechas de las evaluaciones del número de macollos realizadas.

Fechas	**08-nov-2010**	**08-dic-2010**	**10-ene-2011**	**15-feb-2011**
Época	**Aplicación del producto y siembra**	**30 días después de siembra**	**60 días después de siembra**	**90 días después de siembra**

Figura 1: Conteo de número de macollos

ALTURA Y DIÁMETRO DE LOS TALLOS

El diámetro y la altura de los tallos fueron medidas con auxilio de calibrador (Figura 2) y cinta métrica (Figura 3), respectivamente, en 03 puntos de 10 cañas por tratamiento. La altura deberá obedecer a los siguientes parámetros: superficie del suelo hasta el inicio del palmito ("punto de quiebra"), y el diámetro evaluado en el tercio inferior de los tallos de caña. La Tabla III muestra las fechas de las evaluaciones realizadas.

Figura 2: Evaluación del diámetro del tallo.

Figura 3: Evaluación de la altura del tallo.

Tabla III: Fechas de las evaluaciones del diámetro y altura de los tallos de caña de azúcar.

Fechas	**08-nov-2010**	**10-ene-2011**	**15-feb-2011**
Época	**Aplicación de producto y siembra**	**60 días después de siembra**	**90 días después de siembra**

ANÁLISIS TECNOLÓGICA

En el momento de la cosecha, fueron colectadas muestras para análisis tecnológica (03 puntos de 10 cañas por tratamiento).

PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA

Después del corte de los tallos toda la parcela fue pesada en balanza da Usina Virálcool, en Pitangueiras, SP. En poder de estos resultados fue estimada la productividad agrícola para una hectárea.

RESULTADOS E DISCUSIÓN

En la Tabla IV son presentados los valores de número de macollos. Para todos los tratamientos hubo aumento de número de macollos. Resultados similares fueron obtenidos por Ferreira et al., (2008), en el cual los autores indican tal resultado dentro de lo esperado para el cultivo de caña de azúcar. Desde las primeras evaluaciones el tratamiento II (Vitavax) presentó los mayores valores. En promedio el tratamiento I obtuvo el menor macollamiento (7,96 macollos por metro).

Tabla IV: Valores del número de macollos por metro para los tratamientos estudiados en tres épocas de análisis.

Época (días después de siembra)	**Tratamientos**			
	I	**II**	**III**	**IV**
30	6,2	8,3	7,5	7,8
60	8,4	10,1	9,6	7,8
90	9,3	12,4	9,8	10,5
PROMÉDIO	**7,96**	**12,26**	**8,96**	**8,7**

Tratamientos: I (testigo); II (comet); III (vitavax); IV (comet+vitavax).

El tratamiento II obtuvo a mayor altura a los 30 y 60 días (63 y 110 centímetros, respectivamente), Tabla V. O tratamiento Comet+Vitavax a los 30 días después de la siembra no proporcionó elevado incremento en comparación al testigo. Sin embargo, a los 90 días se pudo observar el efecto de la aplicación.

Tabla V: Valores de altura (cm) de los tallos de caña de azúcar para los tratamientos estudiados en tres épocas de análisis.

Época (días después de siembra)	Tratamientos			
	I	**II**	**III**	**IV**
60	43	63	49	55
90	68	110	82	97
PROMEDIO	**55,50**	**86,50**	**65,5**	**76**

Tratamientos: I (testigo); II (comet); III (vitavax); IV (comet+vitavax).

En relación al diámetro de los tallos (Tabla VI) el tratamiento II, a diferencia de las demás variables, fue próximo al encontrado para los tratamientos II y IV. Por lo tanto, apenas el testigo (tratamiento I) obtuvo los resultados menos satisfactorios.

Tabla VI: Valores del diámetro (cm) de los tallos de caña de azúcar para los tratamientos evaluados en tres épocas de análisis.

Época (días después de siembra)	Tratamientos			
	I	**II**	**III**	**IV**
60	1,1	1,5	1,3	1,3
90	1,4	2,1	1,9	1,9
PROMEDIO	**1,25**	**1,8**	**1,6**	**1,6**

Tratamientos: I (testigo); II (comet); III (vitavax); IV (comet+vitavax).

En la tabla VII, podemos observar que el testigo (tratamiento I) obtuvo los mejores resultados de análisis tecnológico, presentando el mayor valor de Brix, Pureza, Pol y ATR. Los demás tratamientos no presentaron grandes diferencias para las variables estudiadas. Este resultado puede ser debido al hecho de que los tratamientos II, II IV presentasen un mayor crecimiento vegetativo su calidad de jugo es menor, una vez que la caña crece más y retarda su proceso de evolución.

Esto puede ser comprobado por la mayor productividad agrícola presentada por lo tratamiento II (191,94 toneladas por hectárea).Los tratamientos II y II también presentaron elevadas productividades agrícolas. Mientras tanto, queda evidente el mayor TCH provocado por Comet.

Tabla VII: Valores de Análisis Tecnológica para los tratamientos estudiados.

Tratamientos	Brix	Fibra	Humedad	Pureza	Pol	AR	ATR
	% jugo	----------% caña----------					kg t^{-1}
I	19,5	10,93	72,25	90,26	15,18	0,47	150,53
II	16,0	11,12	75,12	81,56	11,22	0,73	114,71
III	16,8	11,56	74,10	83,04	11,90	0,68	120,84
IV	15,5	11,39	75,12	79,23	10,51	0,79	108,45

ATR-azúcares reductores totales. AR-azúcares reductores. Pol-porcentaje de sacarosa aparente. Tratamientos: I (testigo); II (comet); III (vitavax); IV (comet+vitavax).

Tabla VIII: Valores de la productividad agrícola (TCH-toneladas por hectárea) para los tratamientos estudiados.

Época (días después de siembra)	Tratamientos			
	I	II	III	IV
PROMEDIO	121,94	191,28	142,30	174,96

Tratamientos: I (testigo); II (comet); III (vitavax); IV (comet+vitavax).

CONCLUSIONES

El tratamiento II (Comet) obtuvo el mayor macollamiento, diámetro y altura de los tallos, y consecuentemente la mayor productividad agrícola en todas las épocas evaluadas.

El testigo presentó los resultados menos satisfactorios para el crecimiento vegetativo y TCH y por eso obtuvo a mejor calidad de jugo.

Siendo así, podemos concluir que la aplicación de vitavax y comet+vitavax eleva la producción agrícola de la caña de azúcar. Mientras tanto, la aplicación aislada de comet proporcionó el mayor incremento de crecimiento inicial de la caña de azúcar, reflejando en su producción final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canaoeste. 2010. Setor sucroalcooleiro. Disponível em: http://www.canaoeste.com.br/principal.php?ago=35&local=setor_canavieiro. Acesso em 13 março 2010.

Daniels, J.; Roach, B. T. 1987. Taxonomy and evolution. p. 7-84. in.: Heins. D. J. (Ed.) Sugarcane improvement though breeing. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 603p.

Ferreira, M. C.; Werneck, C. F.; Furuhashi, S.; Leite, G. J. 2008. Tratamento de toletes de cana-de-açúcar para o controle da podridão abacaxi em pulverizacão conjugada ao plantio. Engenharia Agrícola. v.28, n.2, p.263-273.

Marques, M. O.; Mutton, M. A.; Azania, A. A. P. M.; Tasso Junior, L. C.; Nogueira, G. A.; Vale, D. W. 2006. Tópicos em Tecnologia Sucroalcooleira. Gráfica Multipress Ltda. Jaboticabal. 191p.

Mohanraj, D.; Padmanaban, P.; Viswanathan, R. Biological control of sugarcane diseases. In: Gnanamanickan, S.S. (Ed.). *Biological control of crop diseases*. Chennai: CRC Press, 2002. p.161-78.

Mohanraj, D.; Padmanaban, P.; Viswanathan, R. Biological control of sugarcane diseases. In: Gnanamanickan, S.S. (Ed.). *Biological control of crop diseases*. Chennai: CRC Press, 2002. p.161-78.

Souza, Z. M.; Paixão, A. C. S.; Prado, R. M.; Cesarin, L. G.; Souza, S. R. 2005. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. Ciência Rural. v.35, n. 5, p.1062-1068.

EVALUACIÓN EMERGY EN LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA DE VERACRUZ MEXICO

EMERGY EVALUATION OF SUGAR INDUSTRY IN VERACRUZ MEXICO

N. Aguilar-Rivera[1], J. Alejandre-Rosas[1]

Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Córdoba Veracruz México
Email: naguilar@uv.mx

Introducción

Resumen

La agroindustria azucarera de Veracruz México participa con el 40 % de la producción nacional de sacarosa e integra actividades agrícolas de crecimiento, cosecha y transporte de caña de azúcar con la producción industrial en ingenios azucareros. Sin embargo, enfrenta retos relacionados con la caída de la productividad agrícola derivados de las prácticas convencionales de manejo del cultivo, el cambio climático y otros aspectos socioeconómicos que ponen en riesgo la seguridad alimentaria y la reconversión de la agroindustria. Por lo que requiere innovadores metodologías de análisis para determinar puntos críticos que amenazan la sostenibilidad ambiental y económica. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de caña de azúcar en las zonas de abasto cañero de Veracruz México por el análisis emergetico (eMergy) como metodología de sistema complejos de la economía ecológica mediante el análisis de los diversos insumos naturales y no renovables que intervienen en la producción de caña de azúcar por hectárea. Se determino con los diversos índice emergeticos que la carga ambiental y económica del sistema cañero veracruzano es elevada en la demanda de fertilización nitrogenada y fosfórica con un porcentaje de 27.2%, mano de obra 12. 1% y servicios 40. 78 % del total. El resto 19.92 % corresponde en orden de importancia a combustibles y operación de maquinaria agrícola en la etapa de siembra y manejo, pesticidas y fertilización potásica, lo que establece la necesidad de reestructurar el campo cañero veracruzano para disminuir costos de producción y la carga ambiental para incrementar la rentabilidad.

Palabras clave: Zonas de abasto cañero, análisis emergetico, sostenibilidad

Abstract

The sugar industry in Veracruz Mexico participates with 40% of the national production of sucrose and integrates agricultural activities as growing, harvesting and transportation of sugarcane with industrial production in sugar mills. However, it faces challenges related to the fall in agricultural productivity practices derived from conventional crop management, climate change and other socio-economic issues that threaten food security and the conversion and diversificaction of agribusiness. So it requires innovative methodologies of analysis to determine critical points that threaten the environmental and economic sustainability. The goal of this paper was to evaluate the production of raw material in the sugarcane supply areas of Veracruz Mexico by emergy analysis (Emergy) as a complex system methodology of ecological economics by analyzing several non-renewable and natural inputs related to the production of sugarcane per hectare. It was determined that the environmental and economic inputs for sugarcane system in Veracruz demand is high for nitrogen and phosphate fertilizer with a percentage of 27.2%, labor 12.1% and services 40.78 % of the total. The remaining 19.92% are in order of importance fuels and operation of agricultural machinery in the process of planting and management, pesticides and potassium fertilization, which establishes the

need to restructure the sugarcane crops field to reduce production costs and environmental impacts to increase profitability.

Keywords: sugarcane supply zones, emergy analysis, sustainability

Introduccion

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sistemas socio-ecológicos (SES) es atractivo desde el punto de vista de las potencialidades de obtención de energía, alimentos, biocombustibles y productos químicos derivados de manera renovable a través del azúcar, etanol, la cogeneración y servicios ambientales debido a la alta eficiencia de esta gramínea en la producción de biomasa a partir de la energía solar. Sin embargo, su productividad primaria está restringida por múltiples factores ambientales y socioeconómico y en este caso, las metodologías convencionales de análisis con sus resultados obtenidos no han logrado alcanzar la productividad potencial (>150 t/ha), es decir, la investigación sobre la interacción de estos efectos son aun precarios en las regiones cañeras de México por lo tanto la determinación de puntos críticos del sistema mediante el uso de nuevas metodologías es fundamental para tomar decisiones en el corto y mediano plazo.

En este sentido, los sistemas agrícolas en general y la caña de azúcar en lo particular, dependen de las aportaciones de la naturaleza (precipitación, suelo, radiación, vientos etc.) y de la economía de la agricultura intensiva (insumos como agroquímicos, mano de obra, combustibles, etc.) por lo general, de alta calidad, importados y no renovables y debido a que la mayoría de tipos de la agricultura comercial convencional dependen de una combinación de de insumos naturales y económicos (economía neo clásica), es necesario para tener en cuenta, tanto en términos equivalentes, la intensidad de la comparación de los recursos de los diferentes sistemas agrícolas (Yang et al. 2010; Dong et al. 2008; Odum, 2003).

La síntesis emergética o eMergy, como metodología de la economía ecología y sistemas complejos para el análisis de la sostenibilidad de sistemas productivos, se basa en el concepto de memoria energética, sobre cuyas bases científicas se fundamentan en el estudio de los flujos biogeofísicos y socio-económicos de materia y energía que se intercambian entre los elementos constituyentes de los sistemas socio-ecológicos (SES) bajo una misma base (Odum, 1996, 1983). Es decir, El término ***EMergía*** se fundamenta en la Teoría General de Sistemas. Dicho concepto se define como la cantidad de energía que ha sido empleada de forma directa o indirecta en la generación de un determinado bien o servicio (Ecología de Sistemas). Las características principales del método emergético son:

• Carácter global e integrador. Análisis a distintas escalas es decir se realiza el análisis desde una escala más amplia (menor detalle) a una más reducida (mayor detalle).

• Se trata de uno de los pocos métodos de valoración que permite evaluar los sistemas económicos y naturales, así como las interacciones entre ambos con una metodología común.

• Maneja unidades estandarizadas (julios solares emergéticos o sej). Considera distintos tipos de calidad energética. Emplea factores de estandarización (transformicidades o “transformities”) para hacer equivalentes todos los flujos de energía dentro de una jerarquía de sistemas complejos.

• Es capaz de estimar los valores de distintos componentes (tanto económicos como naturales) del sistema en unidades energéticas y ligar éstos a unidades monetarias, para hacerlo más comprensible, en un marco de referencia común (contabilidad ambiental).

• El valor (y los indicadores del mismo) son intrínsecos a los recursos e insumos (el valor de un recurso es proporcional a la energía necesaria en su producción) es decir, una teoría energética del valor (considerada objetiva y reproducible).

• Proporciona resultados cuantitativos sobre el estado de un sistema a través de diversos índices que permiten tomar decisiones con el objetivo de maximizar el bienestar público con las menores pérdidas ambientales posibles (gestión ambiental).

• Permite la modelización y la simulación, como poderosas herramientas de visualización de los flujos entre los sistemas socio-económicos y los ecológicos.

• Tiene un principio de optimización (Principio de maximización de la potencia emergética) (Yang et al. 2010; Dong et al. 2008; Odum, 2003).

Este abordaje posibilita visualizar y cuantificar de forma dinámica los flujos de los recursos naturales, de los servicios ambientales provenientes de la naturaleza y de los impactos de las actividades antrópicas, permitiendo la comprensión de los límites en cada ecosistema y el establecimiento de metas para garantizar la capacidad de soporte, es decir, determina la sustentabilidad de los sistemas (Figura 1).

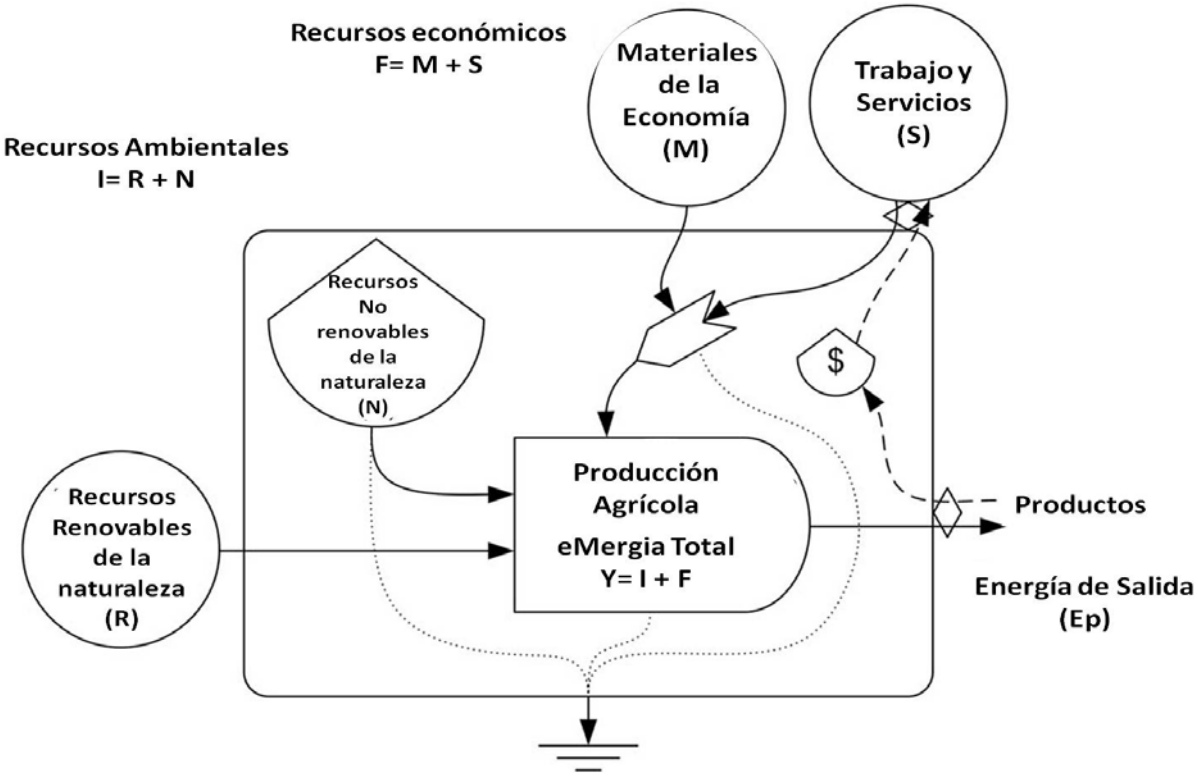


Figura 1. Diagrama eMergetico de sistemas agrícolas (Brown y Ulgiati, 2004)

Hablar de memoria emergética o eMergía implica previamente dos conceptos clave el concepto de calidad de energía, y por otra, el de transformicidad. Estos principios aportan el criterio de Emergía que aunque no pretende ser exclusivo, nos permite determinar qué sistema o diseño (o sistema de producción cañero) ya sea ecológico o ecológico-económico, es más sostenible en el tiempo desde el punto de vista del uso de la energía frente a otros similares y su complejidad para la producción sostenible de bioproductos y la instalación y/o reconversión a biorefinerias (Plassmann et al. 2010).

Agroindustria azucarera de Veracruz

La agroindustria azucarera de Veracruz México participa con el 40 % de la producción nacional de sacarosa e integra actividades agrícolas de crecimiento, cosecha y transporte de caña de azúcar con la producción industrial en ingenios azucareros. Sin embargo, enfrenta retos relacionados con la caída de la productividad agrícola derivados de las prácticas convencionales de manejo del cultivo, el cambio climático y otros aspectos socioeconómicos que ponen en riesgo la seguridad alimentaria y la reconversión de la agroindustria, en relación a este carbohidrato básico para la población. Actualmente constituye el principal cultivo perenne y agroindustrial del estado y aporta el 39.7 % del total de la superficie cosechada y del 37.8 al 39.6 % del azúcar producido a nivel nacional en la última década. Se localiza en 173 municipios y 50,596 unidades de producción que constituyen 25 zonas de abasto cañero para ingenios azucareros y trapiches piloncilleros del estado de Veracruz, San Luis Potosí y Oaxaca (Figura 2), Sin embargo, a nivel nacional en la década presente presenta una productividad de media a baja (Tabla I).

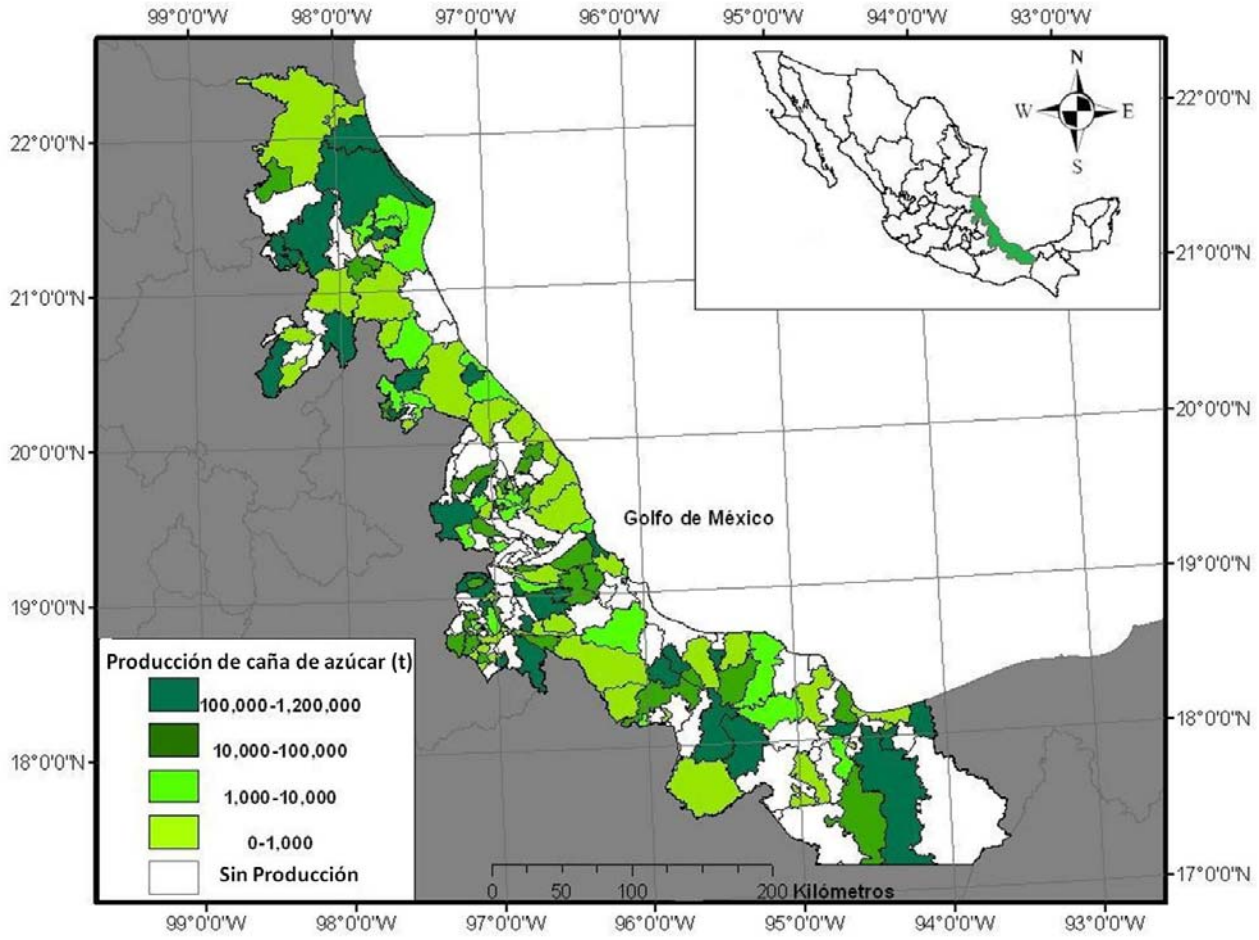


Figura 1. Municipios productores de caña de azúcar en Veracruz México

Tabla I. Indicadores de productividad de la industria Azucarera en Veracruz

Indicador/Zafra	2000/2001	2010/2011	Diferencia
Ingenios	22	19	-13.64
Rendimiento de campo (t/ha)	74.17	59.707	-19.50
Rendimiento agroindustrial (t/ha)	8,111	6,984	-13.89
Superficie Cosechada (ha)	241,256	270,902	+12.29
Sacarosa en caña (%)	13.490	13.982	3.65
Fibra en caña (%)	13.14	13.495	2.70
Operación del campo			
Frentes de corte (#)	21	19	-9.52
Cortadores (#)	1,732	1,719	-0.75
Vehículos de acarreo (#)	270	329	21.85
Caña cosechada mecánicamente (%)	7.110	9.709	36.55
Caña alzada mecánicamente (%)	76.281	85.309	11.84
Precio de caña neta ($/Ton)	308.26	719.48	133.40
Fabrica de Azúcar			
Caña molida neta (t)	17,262,712	15,618,455	-9.52
Perdidas de sacarosa (%)	2.25	2.318	3.02
Eficiencia de fabrica (%)	82.883	83.429	0.66
Rendimiento de fabrica (%)	11.01	11.70	6.27
Tiempos perdidos totales (%)	25.90	17.33	-33.09
Producción de derivados de la caña de azúcar (Coproductos y subproductos)			
Sacarosa (t)	1,956,940	1,892,096	-3.31
Refinado (t)	807,053	696,354	-13.72
Estandar (t)	1,121,062	1,150,391	2.62
Mascabado (t)	28,825	45,351	57.33
Etanol (L)	41,778,451	5,196,380	-87.56
Rendimiento Etanol (L /t de miel)	290.75	231.695	-20.31
Melazas (t)	618,105	577,929	-6.50
Mieles a 85º Brix por ton. de caña	36.048	35.730	-0.88
Mieles a 85º Brix a fab. de alcohol (t)	70,907	22,428	-68.37
Cachaza (t)	741,761	742,867	0.15
Cachaza en caña (%)	4.487	4.593	2.36
Bagazo (t)	5,175,583	4,740,284	-8.41
Bagazo industrializado (t)	437,117	603	-99.86
Energía eléctrica por quema de bagazo (KWH)	268,846,821	272,440,824	1.34
Generación de vapor por quema de bagazo (t)	10,664,242	9,370,163	-12.13
Balance térmico y energético			
Consumo de energía eléctrica de CFE (KWH)	15,031,898	11,074,065	-26.33
Consumo de Combustóleo de PEMEX (L)	296,437,388	65,441,521	-77.92
Petróleo consumido en fábrica por ton. de caña (L)	13.575	3.490	-74.29
Consumo de e. eléctrica por ton. de caña	16.527	17.528	6.06
Consumo de vapor por ton. de caña	0.610	0.579	-5.08

Es decir, para el éxito de la biorefineria en Veracruz es necesario tomar como punto de partida el sector primario de la producción, es decir, el campo cañero, donde la problemática del sector rural en la agroindustria de la caña de azúcar de forma genérica, presenta un fenómeno que entre otras cosas muestra los siguientes rasgos: Bajos ingresos y rendimientos por unidad de producción, fertilización deficiente; agricultores cañeros de predios pequeños (3 ha/productor), resistencia al cambio tecnológico consecuencia de sus valores culturales y creencias, relaciones sociales, falta de aplicación de reglamentos y normatividad fitosanitarios, y forma de organización que determinan la presencia del círculo vicioso de bajos rendimientos - bajos ingresos –pobreza – marginación social, económica, ambiental y política. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de caña de azúcar en las zonas de abasto cañero de Veracruz México por el análisis emergetico como metodología de sistema complejos.

Materiales y métodos

La zona de estudio se localiza en las 22 zonas de abasto cañero Veracruz México (El Potrero, El Modelo, Providencia, Tres Valles, Zapoapita, La Gloria, Central Motzorongo, El Higo, Mahuixtlan, Central Progreso, Constancia, San Miguelito, San Nicolás, San Cristóbal, San José de Abajo, San Pedro, El Carmen, Cuatotolapam, Nuevo San Francisco, Independencia, La Concepción y San Gabriel) donde el clima es semicálido húmedo, con temperatura media anual de 25ºC. La precipitación pluvial media anual presenta un gradiente entre 1,200 y 2,000 mm. La humedad se distribuye principalmente durante el verano. El período de lluvias inicia a partir de mayo y termina en octubre. El mayor volumen pluvial se capta entre junio y septiembre donde el mes de agosto es el que presenta la mayor precipitación.

Para el análisis emergetico de la zona cañera de Veracruz México, es decir, el inventario de entradas y salidas o estado e intercambio de materiales y energía en cada una de las actividades de la producción de caña de azúcar, se baso en un rendimiento de 65 toneladas de Caña por Hectárea como promedio de las últimas cinco zafras y se recopilaron datos de manejo convencional en sistema de temporal (secano) cañero ciclo planta obtenidos en el Manual Azucarero Mexicano de las zafras 2005 a 2012 y se utilizó la metodología aplicada por Amponsah (2012); Brown y Ulgiati (2004); Brown (2003) y Odum (1996) y esta consistió en:

(1) Recopilación de la información de las zonas de abasto cañero y las transformidades para caña de azúcar (Agostinho et al., 2010 y Ometto et al., 2004); de recursos renovables (luz solar, lluvia,) y no-renovables (suelo erosionado), recursos adquiridos (insumos, agroquímicos y la mano de obra para la producción, labores anuales realizadas por el agricultor), los rendimientos e ingresos anuales de los sistemas de producción; datos de precipitación y del suelo erosionado por año basados en el muestreo georeferenciado de suelos de acuerdo con la *Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis* (NOM-021-RECNAT-2000) reportado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP; 2010).

(2) Elaboración del diagrama del sistema emergetico para caña de azúcar en sus componentes, insumos e interacciones (Pereira y Dalbem., 2006).

(3) Cálculo de eMergía y las transformidades cuantificando las entradas anuales de cada sistema, en las unidades básicas (J, horas, $USD) para obtener los valores por año (J/año, h/año o $/año), los cuales se multiplicaron por el valor de transformidad (en sej/J), dando como resultado el valor de eMergía en julios de eMergía solar por año o sej/año. Los insumos y productos fueron convertidos en unidades emergéticas basadas en la base energética 15.83E+24 seJ/año de Odum et al., (2000). Para normalizar los datos por superficie, se dividió el valor de sej/año entre la superficie del sistema cañeo veracruzano para obtener el valor de eMergía en sej/ha por año. Se calcularon los totales de eMergía para cada una de las secciones de

Recursos Renovables y No-Renovables, Recursos Adquiridos (Comprados) y Recursos Exportados de acuerdo a la metodología de (Bastianoni y Marchetinni, 1996) (Tabla II).

Tabla II**.** Indices emergeticos para sistemas agrícolas (Vallim de Melo, 2012)

Indicador	**Cálculo**	**Concepto**
Relación de eMergía invertida	**((P + S)/(N + R))** Cociente entre la eMergía de los insumos que provienen del sistema económico externo y la eMergía de los recursos naturales.	Es una medida de la proporción entre el uso de eMergía de la economía y eMergía interna del sistema. Evalúa la manera en la que el sistema es un buen utilizador de la eMergía que es invertida, en comparación con otra alternativa evaluada. El cálculo de esta relación permite elegir el modelo productivo compatible con las limitaciones económicas y ambientales. Valores bajos indican un buen aprovechamiento de la eMergía invertida.
Indicador de presión ambiental	**(N + P)/R** Cociente entre la eMergía no renovable y la eMergía renovable.	Indica la presión del sistema sobre el ambiente, y da una idea del estrés que sufre el ambiente a causa del proceso productivo llevado a cabo. Cuanto más bajo es el valor, menor es el estrés sobre el ambiente.
Relación de intercambio de eMergía	**Y/[($)x(seJ/$)]** Cociente entre la eMergía que el sistema entrega a la economía externa y la eMergía recibida por la venta de los productos.	Es una medida de la ventaja relativa del intercambio con el sistema económico, indica quién ¨pierde¨ y quién ¨gana¨. Un intercambio justo y equitativo estaría caracterizado por una relación de intercambio igual a 1, indicando que cada parte recibe la misma cantidad de eMergía.
Indicador de sustentabilidad energética **(ESI)**	**Y/(P + S)** Cociente entre la contribución de un proceso a la economía por unidad de impacto sobre el ambiente.	Es una medida agregada de la contribución potencial al sistema económico por unidad de presión ejercida en el sistema local**.**
Transformidad **(Tr)**	**sej/ha/yr** Cociente entre la emergía de los productos y la energía total del producto**.**	Mide cuánta emergía es necesaria para generar una unidad de producto. Es utilizada para convertir la energía de distintos formas a una forma común a todas, y de ese modo poder realizar comparaciones. Provee una medida de la eficiencia emergética del sistema de producción: cuanto mayor es la transformidad de un recurso o energía, mayor la actividad ambiental necesaria para producirlo

Resultados y discusión

En la Figura 3 se presenta el diagrama donde se muestra el flujo de las entradas y salidas del sistema, del campo cañero en Veracruz México en donde el flujo demuestra cómo se incorporan en cada proceso insumos de la naturaleza como luz del sol, lluvia y materia prima, los cuales son recursos renovables obtenidos localmente; y las entradas de la economía (insumos) y la mano de obra, que son recursos importados no-renovables. También se observan los dispositivos de almacenamiento de energía, como el suelo, Las salidas de los sistemas se presentan como suelo erosionado, el cual se considera como un recurso no-renovable, pérdida de energía (por entropía) y en la producción de los sistemas (productos exportados) entre otros.

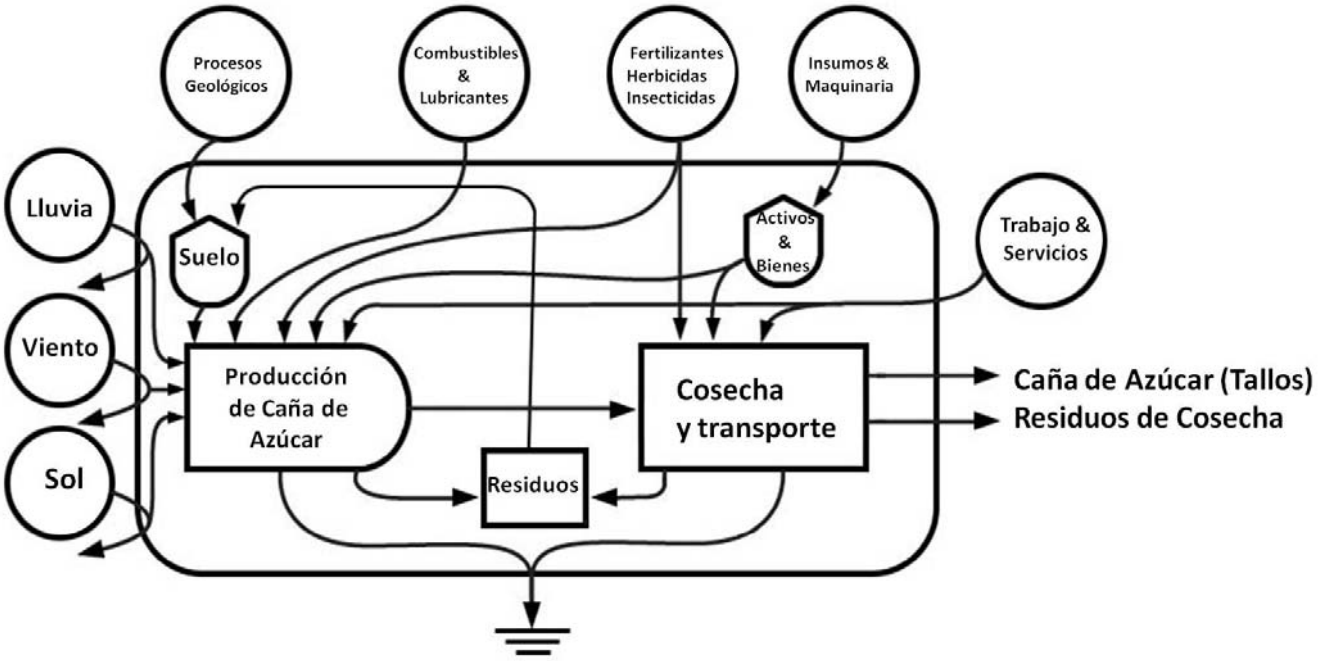


Figura 3. Diagrama de la interfase ecológica-económica de un ecosistema agrícola cañero en lenguaje energético y los principales flujos de eMergía (Pereira and Dalbem., 2006).

En la elaboración del diagrama de flujos se identificaron los principales componentes y flujos de energía y capital, que representan la conformación del sistema cañero durante todo el período analizado (Tabla III).

Tabla III. Índices emergy en la producción de caña de azúcar en Veracruz México

Evaluación Emergética para la caña de Azúcar plantilla

Nota	Ítem	Unidades	Datos (unidades/año)	Unidad solar EMERGY* (sej/unidad)	Solar EMERGY (E13 sej/año)	Em$ Valor (2012 $/yr)
Recursos Renovables						
1	Sol	J	5.70E+13	1	6	14
2	Lluvia	J	5.90E+10	3.02E+04	178	443
3	Evapotranspiración	J	6.51E+10	2.59E+04	168	418
Depósitos de almacenaje no renovables						
4	Erosión	J	3.16E+08	1.24E+05	4	18
	Suma de entradas libres				172	435
Entradas adquiridas						
Entradas para las operaciones						
5	Combustible	J	1.57E+10	1.11E+05	174	431
6	Electricidad	J	0.00E+00	2.69E+05	0	0
7	Maquinaria	g	5.54E+04	1.12E+10	62	154
8	Potasio	g K	1.24E+05	1.85E+09	23	57
9	Cal	g	0.00E+00	1.68E+09	0	0
10	Pesticidas	g	1.59E+04	2.52E+10	40	99
11	Fósforo	g P	5.87E+04	3.70E+10	217	538
12	Nitrógeno	g N	1.06E+05	4.05E+10	429	1065
13	Mano de Obra	J	6.49E+08	4.45E+06	289	716
	Servicios	$	2.40E+03	4.03E+12	969	2404
	Suma de entradas adquiridas				2204	5465
	Emergía Total				2376	
Transformidad						
15	Total de Producción	g	2.30E+05	**1.03E+11** sej/g		
16		J	3.61E+09	**6.58E+06** sej/J		

Total Caña de Azúcar Veracruz: 1.03 E+11 sej/J

Índices calculados

Nota	indicador		Expresióm	Cantidad
17	Relación de inversión		(P + S)/(N + R)	13
18	Relación de producción		Y/(P + S)	1.08
19	Relación del intercambio de Emergía	2012	Y/$ * (SEJ/$)	1.9
		2012		516.1
20	Contribución Emdolares al Estado, 2012		(ha en producción)*(Y/ha)/(SEJ/$)	3.91E+09
		2012		3.58E+09
21	Recursos no Renovables/Recursos renovables		(N + P)/R	7
22	Densidad empoder		sej/ha/yr	2.38E+16

En la evaluación energética llevada a cabo se demuestra que la carga ambiental del sistema cañero veracruzano en sus valores emergéticos son elevados al tener una relación de insumos no renovables/renovables de 7, sobre todo en la demanda de fertilización nitrógenada y fosfórica con un valor de 429 y 217 E+13 sej/año seguido de los valores de mano de obra con 289 E13 sej/año, y sobre todo los costos en servicios 969 E+13 sej/año en plantilla son extremadamente elevados, esto hace que se refleje en los altos costos de producción de la caña de azúcar en Veracruz México, como se observa en el valor de 13 en la relación de inversión, caso contrario a los pesticidas, lo que refleja un bajo combate químico a la fitosanidad del cultivo lo que afecta drásticamente la productividad del campo, donde el rendimiento promedio actual (61.676 t/ha) en la zafra 2011/2012 ha descendido 12.9 t.caña/ha (16.9 %) desde la zafra 2000/2001 y se refleja en el incremento en la superficie necesaria para producir una tonelada de azúcar al

pasar de 241,256 a 271,884 ha (incremento de 30,628 ha) y en la caída de la producción de azúcar y etanol que no impacta consistentemente el balance local entre “oferta” y “demanda. En relación a el intercambio energético, aunque el valor de producción es cercano a 1, es muy elevado y el de renovabilidad bajo con tan solo 1.08 lo que significa que el sistema cañero ciclo planta presenta pérdida económica y ambiental, entregan más emergía que el valor de la emergía recibida por el mercado y la naturaleza. Eso se explica en parte por la no contabilización de los recursos de la naturaleza en Veracruz en esta relación con el mercado y oferta cañera al considerar el sol y la lluvia como ilimitados y gratuitos y se subestiman. Sin embargo el valor de transformicidad total 1.03 E+11 sej/J es menor a los valores reportados en Brasil (Agostinho et al., 2010) y Florida (Amponsah 2012) lo que se establece debido al menor uso en Veracruz de maquinaria agrícola y agroquímicos que se refleja en el uso menor de combustibles pero un mayor empleo de mano de obra para la cosecha manual y servicios para producir una tonelada de caña de azúcar.

Conclusiones

La biorefineria de la caña de azúcar en Veracruz México obliga a la integración de la destilería con la producción de azúcar y la de caña de azúcar como única materia prima y la variable producción, reflejada en las estadísticas oficiales, no es necesariamente el punto de arranque del problema de la sostenibilidad de la actual agroindustria azucarera, sino que forma parte de una problemática global en la que intervienen otros aspectos de orden cultural, social, político, económico, técnico, educacional, entre otros; que limitan el desarrollo rural cañero y cuyo impacto es necesario estudiar, analizar y comprender para llevar a cabo acciones de sostenibilidad.

Es decir, la comprensión total de los procesos tecnológicos y ecológicos puede constituir la base para desarrollar tecnologías agrícolas intensifiquen la producción sin aumentar los costos económicos y ambientales como sistema socioeconómico . En este trabajo, se evaluó el análisis Emergy como metodología de sistemas complejos y de la economía ecológica, mediante el análisis de los diversos insumos naturales y no renovables que intervienen en la producción de caña de azúcar por hectárea. Se logro determinar con los diversos índice emergeticos que la carga ambiental y económica del sistema cañero veracruzano es elevada en la demanda de fertilización nitrogenada y fosfórica con un porcentaje de 27.2%, mano de obra 12. 1% y servicios 40. 78 % del total. El resto 19.92 % corresponde en orden de importancia a combustibles y operación de maquinaria agrícola (tractores) en la etapa de siembra, pesticidas y fertilización potásica, lo que establece la necesidad de reestructurar el campo cañero veracruzano para disminuir costos de producción y la carga ambiental para incrementar la rentabilidad.

Bibliografia

Agostinho, F., Ambrosio, L.A., Ortega, E., (2010). Assessment of a large watershed in Brazil using emergy evaluation and geographical information system. Ecological Modelling, 221: 1209-1220.

Amponsah N.Y. (2012). Sustainable Biofuel Project: Emergy Analysis of South Florida Energy crops. http://www.imok.ufl.edu/docs/pdf/soils/biofuels/EmergyAnalysisofSouthFloridaEnergyCrops.pdf

Bastianoni, S., Marchetinni, N., (1996) Ethanol production from biomass: Analysis of process efficiency and sustainability. Biomass and Bioenergy, 11(5):411-418.

Brown, M. T. (2003). Resource imperialism: emergy perspectives on sustainability, international trade, and balancing the welfare of nations. In: Ulgiati (Ed.). Proceedings of the 3rd. Biennial International Workshop of Advances in Energy Studies. Porto Venere. Italy.

Brown, M. T. Ulgiati, S. (2004). Emergy analysis and environmental accounting. Encyclopedia of Energy, 2: 329-354.

Dong X., S. Ulgiati, M. Yan, X. Zhang, W. Gao. (2008). Energy and eMergy evaluation of bioethanol production from wheat in Henan Province, China. Energy Policy 36:3882– 3892

Manual Azucarero Mexicano 2005 a 2012. Compañía editorial del manual azucarero mexicano, S. A. CNIAA México, D. F.

Odum, H. T., Odum, B. (2003). Concepts and methods of ecological engineering. Ecological Engineering, 20: 339-361.

Odum, H.T., (2000). Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation. Emergy global processes. Center of Environmental Policy, University of Florida, Gainesville 28 p.

Odum, H.T., (1996). Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision making. John Wiley & Sons, New York

Odum, H.T., Odum, E.C. (1983). Energy analysis overview of nations. International Institute for Applied Systems Analysis, WP-83-82. Laxenburg. Austria.

Ometto, A.R., Roma, W., Ortega, E., (2004). Emergy life cycle assessment of fuel ethanol in Brazil: in Ortega, E. Ulgiati, S. (editors): Proceedings of IV Biennial International Workshop "Advances in Energy Studies," Unicamp, Campinas, SP. Brazil.

Pereira, J.T., Dalbem, J.A., (2006). Evaluation of sugarcane production in Brazil based on data from producers with good management systems and comparison with published results, 5th Biennial International Workshop, Advances in Energy Studies.

Plassmann K, A. Norton, N. Attarzadeh , M.P. Jensen, P. Brenton, G. Edwards-Jones. (2010). Methodological complexities of product carbon footprinting: a sensitivity analysis of key variables in a developing country context. environmental science & policy 13:393 – 404

SIAP. Sistema de Información Agropecuaria (2010)
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=325

Vallim de Melo C. (2012). Evaluación de la Sustentabilidad de dos sistemas de producción de banana (*Musa* spp.) Convencional y Agroforestal en Sete Barras (SP-Brasil). Trabajo en opción al grado Máster en Agroecología y Desarrollo Sustentable. Universidad Agraria de La Habana 77 p.

Yang H., L. Chen, Zongcheng Y., H. Wang. (2010). Emergy analysis of cassava chips-suitable feedstock for fuel ethanol in China. Ecological Engineering 36: 1348–1354

INTRODUCCIÓN DEL SISTEMA OPESCOR-10 PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ESTRATEGIA Y PROGRAMACIÓN DEL CORTE DE CAÑA

INTRODUCTION OPESCOR-10 SYSTEM FOR PROCESS OPTIMIZATION STRATEGY AND PROGRAMMING CANECUTTING

Autores: **Lic. Rubén Guillermo Pellicer Durán**
Dr. Cs. Ramón Rodríguez Betancourt

Afiliaciones: **Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC)**
Asociación Nacional de Economistas y Contadores de Cuba (ANEC)
Email: **ruben.pellicer@eco.uo.edu.cu**; **ramonrb@eco.uo.edu.cu**
Email: **bombino@fim.uo.edu.cu; presidencia@anecsc.co.cu**

RESUMEN

En los últimos años el redimensionamiento que ha tenido lugar en la industria azucarera y áreas cañeras, con vistas a lograr la competitividad del producto en el mercado mundial, se ha visto fortalecido por la subida de los precios del petróleo y el hecho de que algunos derivados de la caña de azúcar puedan utilizarse como portadores energéticos renovables.

En atención a estas circunstancias se desarrolla la presente investigación tratando de abarcar el siguiente objetivo:

Perfeccionar y optimizar el proceso de planeación de la cosecha en puntos fundamentales, como la determinación de la estrategia, programación del corte y su control, mediante la modelación económico-matemática asociada a un sistema informático, con vistas a minimizar el desfase y maximizar la producción de azúcar.

La introducción del referido sistema informático para la optimización de la estrategia y programación del corte de la caña (OPESCOR-10), en las empresas azucareras seleccionadas de las provincias de Santiago de Cuba, Granma, Holguín y Guantánamo, indica que se pueden lograr mayores volúmenes de azúcar con la misma cantidad de caña por un mejor ordenamiento para el corte de variedades y cepas, lo que influye a su vez en la disminución de los costos de producción de azúcar de hasta un 9% en comparación con el desarrollo de esos procesos por el método tradicional.

Palabras clave: optimización; planificación; cosecha; estrategia

SUMMARY

In last year's the redimensioning which has taken place in sugar industry and cane plantation areas aimed at

achieving the product competency in the world market, fact that some by- products of cane sugar may be used all this has led us to carry out this research which is encompassed in the following objective:
Enhancing and optimizing the planning of the harvest process in crucial aspects such as the strategy determination, sugar cane cutting program and their control. This can be achieved through an economic-mathematic modeling linked to an informatics system with the purpose of eliminating the fluctuations of sugar production.

Such an informatics system aimed at optimizing the strategy and programming of sugar cane cutting (OPESCOR-10) in the sugar factories chosen in the provinces of Santiago de Cuba, Granma, Holguin and Guantánamo, indicates that larger amounts of sugar can be achieved with the same amount of sugar cane by means of a better reordering of the cane cutting of varieties buds that altogether influences on the drop of production costs in about 9 % of compared to the development of those traditional method processes.

Keyword: optimisation; planification; harvest; strategy.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo investigativo forma parte del proyecto de generalización denominado **"**Introducción y generalización de los Sistemas informáticos OPESVAR-10 y SACOD-III a Unidades Empresariales de Base (UEB) seleccionadas de la provincia Santiago de Cuba y Guantánamo" aprobado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Se llevó a cabo en la Empresa Azucarera "Julio A. Mella". Tiene como objetivo fundamental la Perfeccionar y optimizar el proceso de planeación de la cosecha en puntos fundamentales, como la determinación de la estrategia, programación del corte y su control, que, sustentado en la Modelación Económico-Matemática minimizar el desfase y maximizar la producción de azúcar, lo que se traduce en el cumplimiento del plan optimo de corte y por ende a la disminución de los costos como consecuencia de la ejecución de dicha actividad.

El mismo se ha realizado dentro del marco del proceso de redimensionamiento que tiene lugar en la rama azucarera cubana con la intención de que la producción de azúcar sea cada vez más eficiente y competitiva a nivel internacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La confección del plan de azúcar comienza con la determinación de los volúmenes de materia prima con que se cuenta para realizar la zafra, es decir, el cálculo de los estimados cañeros. El objetivo de este proceso es determinar qué se tiene realmente en cada campo en cuanto a variedades, cepas, edades, rendimientos, etc., así como, cuales campos son molibles o no.

Estos estimados parten del campo y toman en cuenta todos los elementos que influyen en el rendimiento como la variedad, cepa, edad, mecanización, riego, etcétera. Por otra parte esta información sirve de base para la determinación de la estrategia de corte, que es un proceso previo a la programación y que tiene como objetivo dar una visión preliminar del ordenamiento del corte, teniendo en cuenta los elementos necesarios con que se cuenta hasta ese momento, con el mínimo de desfase posible y lograr el máximo de producción de azúcar (Normativas del MINAZ, 2006) actualmente llamado Grupo Empresarial AZCUBA.

El problema general de la estrategia del corte, consiste en encontrar para cada entidad cañera un ordenamiento previo decenal de variedad-cepas y edades para el corte manual y el mecanizado, que haga

máxima la producción de azúcar y minimice el desfase. (Documentos Villa Clara, 2003). La estrategia de corte es un elemento de gran valor que permite:

- Ordenar el corte de la caña atendiendo a su período óptimo de madurez.
- Compensar las cepas de ciclo largo y variedades florecedoras por centros de recepción.
- Buscar solución a los desfases en edades, variedades y cepas.
- Ordenar el corte de las demoliciones en función de la época de siembra y reposición.
- Priorizar el corte de las áreas resecantes donde las cepas sufran por el "fogueo"[1].
- Conocer y optimizar las distancias de tiro de cada etapa.
- Definir las áreas a recibir aplicaciones de maduradores.
-

Las principales desventajas que ofrece el sistema actual son las siguientes:

- El proceso es manual y complicado, pues debe compatibilizarse por semanas, los estimados por campos con la norma de la semana y además tener en cuenta los lineamientos establecidos;
- Lo trabajoso del proceso no permite seleccionar variantes, sino que se trabaja con una sola.
- Al cometerse un error en cualquier semana hay que rehacer el trabajo y compatibilizar de nuevo, cuestión esta que en la práctica presenta bastante dificultad.
- No se toman en cuenta los indicadores de pol, índice de madurez históricos, que permita minimizar el reordenamiento cuando se establezca la programación.
- Los resultados de la estrategia no se toman como base para la elaboración del plan de azúcar, sino que éste se establece por promedios de rendimientos de años anteriores, que no corresponden a estructuras de variedades y cepas actuales.
- El modelo Z2-A que es necesario establecer por Unidades Empresariales de Base (UBPC) y empresa azucarera se compatibiliza con la estrategia de forma general pero no a partir de la estrategia semanal, trayendo esto descuadre en el total molible por variedades y cepas.

En el momento en que se elabora la estrategia no se tienen en cuenta todos los elementos que determinan la madurez de la caña; el comportamiento posterior de la humedad por zonas y la temperatura no se conocen con anticipación, por tanto hace falta un proceso posterior de ajuste. Este proceso es la Programación de Corte, que al mismo tiempo sirve de control del proceso..

Con respecto al cumplimiento y control de la programación se presentan múltiples dificultades en la cadena corte-alza-tiro. Entre ellas tenemos las siguientes:

- quema no programada;
- lluvia
- falta y rotura de equipos de tiro;
- paralización del trabajo por diferentes causas.
-

El cumplimiento de la programación del corte es uno de los aspectos más importantes para el logro de los volúmenes de azúcar establecidos. La existencia de alternativa en la estrategia y programación del corte permite la aplicación de la modelación económico-matemática y en específico la Programación Meta con prioridades, cuyo algoritmo de solución incluido en la conformación de sistemas informático, permite dar respuesta rápida al problema planteado.

La programación Meta con prioridades parte de un problema de Programación Lineal, y su planteamiento general es el siguiente (Moskowitz, 2002) :

[1] Acción intensa del sol y falta de humedad en la caña, que deterioran los parámetros fundamentales de la planta.

$$\min Z = \sum_{k=1}^{k} P_k [\sum_{i=1}^{m} (w_{ik}^{-} d_i^{-} + w_{ik}^{+} d_i^{+})]$$

Sujeto a:

$$\sum_{j}^{n} a_{ij} x_j - d_i^{+} + d_i^{-} = b_i \qquad i = 1 : m$$

$$i = m+1 : p$$

$$\sum_{j}^{n} a_{ij}\, x_j \{\leq, =, \geq\} b_i$$

$$x_j, d_i^{-}, d_i^{+} \geq 0; \forall_{i,j}$$

Donde las variables X_j representan la cantidad de caña en toneladas asociada a un campo, a cortar en la decena j y los d_i^+ y d_i^- indican los sobrelogros y sublogros correspondientes a cada meta que se establece. En nuestro caso las metas establecidas son: minimizar el desfase y maximizar la producción de azúcar. Las restricciones cumplimentan los lineamientos establecidos por AZCUBA.

Teniendo en cuenta las distintas prioridades, el resultado obtenido, mediante un sistema informático, logrará la mejor variante que permita el mayor nivel de satisfacción de las metas establecidas, lo cual contribuirá a una disminución sustancial en los costos de producción, incremento de la rentabilidad de las empresas y a minimizar las decisiones improvisadas.

Sistema Informático OPESCOR-10

El sistema informático OPESCOR-10 corre sobre Windows 98, o superior, utiliza en su programación el Borland Delphi 6, que posee un ambiente de desarrollo rápido de aplicaciones (*R.A.D. Rapid Applications Develoment*) y que por su aspecto visual permite crear una interfaz con el usuario lo más amigable posible, de manera tal que pueda se operado con conocimientos mínimos sobre computación y el manejo de la tarea a desarrollar, lo que es indispensable para la introducción en la práctica social.

El sistema se instala de forma muy fácil y segura y puede ser operado, aunque no se tenga ningún conocimiento especializado en computación, ya que el sistema importa la información primaria del SICE[2] realiza la estrategia de corte, la verifica y emite su informe de resultados en el mismo formato que utiliza el programador para elevar la información a niveles superiores, lo que representa una gran ventaja. La base teórica del sistema se basa en la metodología de análisis y diseño orientada a objetos.

El sistema informático OPESCOR-10 no está diseñado para sustituir a ninguno de los sistemas vigentes establecidos (Yoaurdon,1994) para la cosecha (SICE y zf38), sino para coexistir con ellos. El sistema

[2] SICE: Sistema informático para el control del estimado. A partir de la introducción de los datos primarios del estimado, que se consolidan en 8 modelos, los cuales se integran por entidad, empresa, provincia y nación.

importa datos de estos sistemas, los utiliza para la optimización y luego los exporta hacia ellos para que se cumplimenten otras funciones de la zafra. El sistema puede realizar la siguientes tareas:

- Importa y Exporta información primaria y resultados a los sistemas de zafra SICE y zf38.
- Determina la estrategia y programación del corte, maximizando la producción de azúcar o de miel y minimizando el desfase.
- Realiza la liquidación.
- Prepara la información para la próxima zafra, en este sentido cambia la cepa y la edad en cada campo automáticamente.
- Emite los informes de resultados con el mismo formato que utiliza AZCUBA para su información.
- Ofrece reportes auxiliares complementarios sobre, variedades cepas, mecanización etcétera.
- Puede realizar la programación por los dos métodos existentes, índice de madurez y el coeficiente sobre hojas activas.
- Puede integrar y desintegrar entidades con sus respectivas bases de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se ofrecen los datos finales para la Empresa Azucarera "Julio A. Mella" de la provincia Santiago en la zafra 2011 -2012:

(1)	(2)	(3)	(3)/(1)	
INDICADORES	PLANIFICACION DE LA EMPRESA	DATOS FINALES SIST.OPESCORT-10	DATOS REALES	%
ESTIMADOS (Ton)	480 509.1	480 509.1	451 768.3	94.0
AZUCAR PRODUCIDA (Ton)	49 011.9	61 085.7	51 095.0	104.3
RENDIMIENTO IND. (%)	10.20	12.71	11.31	110.9
RECOBRADO (%)	83.7	83.7	82.07	98.0
DESFASE, MODELO Z2-A(%)	22	9	14	63,6
% MAT.EXTRAñA:				
Manual	2.5	2.5	2.69	107.6
Mecanizada	12.0	12.0	12.2	101.7
PLAN DE FRESCURA (hs. agrícolas)	<= 36	<= 36 (5% caña manual)	49 (16%del total)	
PLAN DE CORTE ÓPTIMO (%)	100.0	100.0	96.5	96.5

Los datos se explican por sí solos se destaca el sobrecumplimiento del plan de azúcar y el cumplimiento de plan de corte optimo al 96.5%, lo que implicó el sobrecumplimiento del plan que se fijó muy por debajo de sus potencialidades. En cuanto al desfase los resultados mejoraron ostensiblemente, tanto en el plan como en el real. Como dato adicional los costos de producción de esa zafra bajaron un 8%.

Se cuenta con los avales de AZCUBA, GEA y Empresa Azucarera que confirman la aplicación del sistema en Empresas Azucareras de Santiago de Cuba, Granma, Guantánamo y Holguín.

CONCLUSIONES

La puesta a punto e introducción del Sistema OPESCOR-10 en las empresas azucareras seleccionadas de las provincias orientales y en particular en la Empresa Azucarera "Julio A. Mella", permitió arribar a las siguientes conclusiones:

1. Los objetivos propuestos fueron cumplidos, respondiendo a un problema concreto que presenta la industria azucarera y que están avalados por programas nacionales y territoriales de ciencia y técnica.

2. La aplicación del sistema en la Empresa Azucarera “Julio A. Mella”, demuestra que puede aumentarse las cifras del plan de azúcar.
3. El cumplimiento del plan óptimo de corte conllevó a que los costos de producción de azúcar disminuyeran en esa zafra en un 8%:

RECOMENDACIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:
Garantizar mediante un programa establecido las necesidades mínimas de computación, transporte y calificación del personal para generalizar el sistema propuesto a otras empresas azucareras de las provincias Holguín, y Las Tunas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Documentos Normativos del MINAZ, año 2006.
2. Documentos sobre la Estrategia y Programación del corte. Delegación provincial del MINAZ de la provincia villa Clara. Año 2003
3. Metodología para la confección del plan técnico económico de zafra del MINAZ. La Habana. 2005.
4. Moskowitz, Herbert; Wright, Gordon: “Investigación de operaciones”, Prentice-Hall Hispanoamericana, México, 2002.

LAS TONELADAS POR HÉCTAREA Y LA NORMA POTENCIAL (NP) EN EL RENDIMIENTO AZUCARERO

THE TONS FOR HECTARES AND POTENTIAL NORM IN THE SUGAR YIELD

Autor: Pedro Pablo Acosta
INICA

Resumen

Realizamos una evaluación del comportamiento del aprovechamiento de la norma potencial de molida de acuerdo con la con el rendimiento azucarero y la producción de azúcar, en el se demuestra como se afectaba el aprovechamiento de la molida con la reducción de las t de caña por hectárea, señalábamos como en el decenio de 1981/90 las combinadas para cosechar 100 t de caña recorrían 11 kilómetros y en el decenio del 2001/10 recorren 18.
El aprovechamiento de la norma potencial está afectado por el diseño de los campos, los viales, el exceso de traslado de los equipos, por la vinculación de áreas lejanas, por cosechar las cañas quedadas fuera de su tiempo adecuado, por dejar áreas de baja producción en los meses de marzo y abril, por por cambios de estructura, problemas organizativos y por otras causas difíciles de evaluar.
Hemos consolidado las zafras de los ingenios con menos de 60 % de aprovechamiento de la norma potencial de molida, con valores de 60 a 69%, de 70 a 79 % y con más de un 80 % de la N P.
Hemos tenido en cuenta la fecha de inicio, la fecha de terminación, los días de zafra, las hectáreas cosechadas, las t por ha, la N P de molida, la caña molida por día de zafra, el rendimiento azucarero, las t de azúcar, las t de azúcar producidas por día de zafra y la lluvia en mm de noviembre a abril.

Palabras clave: Norma Potencial, rendimiento, toneladas por hectárea

Abstract

Summary

We conducted a performance evaluation of the use of standard ground potential according to the sugar yield and sugar production in the affected is shown as harnessing the ground with reducing t of cane per hectare, as pointed out in the decade from 1981 to 1990 and combined for 100 t cane harvest roamed 11 kilometers and in the decade of the 2001/10 run through 18.
The use of the standard potential is affected by the design of the fields, vials, excess equipment moves, by linking remote areas, by harvesting the reeds meetups outside its proper time, to leave areas of low production in the months of March and April, due to changes in structure, organizational problems and other causes difficult to assess.
We have consolidated the harvests of the mills with less than 60% utilization of the standard ground potential, with values of 60-69% from 70-79% and more than 80% of the NP.
We have considered the start date, completion date, the days of harvest, hectares harvested, t per ha, the NP of ground, the cane crushed per day of harvest, the yield sugar, the sugar t, the t of sugar produced per day of harvest and rain in mm from November to April.

Keywords: Standard Potential, performance, tons per hectare

Introducción

Para analizar la situación existente en la Industria Azucarera es necesario estudiar el período comprendido entre 1951 al 2010, el decenio de 1951/60, las zafras de 1961/73, las zafras de 1974/79, 1989/95 y los últimos tres decenios.

El decenio de 1951/60 está considerado como el más eficiente del capitalismo, sobre todo en los ingenios de más capacidad de molida, entre los que se encuentran, Uruguay, Ecuador, Ciro Redondo, Primero de Enero, Brasil, Panamá, Antonio Guiteras y Urbano Noris.

Estas empresas junto a un grupo que mantenían más de 10 mil hectáreas (800 caballerías) en 1951/60 lograron mayor eficiencia integral que los ingenios pequeños que mantenían menos de 6700 hectáreas (500 caballerías). Sin embargo en 1981/90 resultaron las más ineficientes, en el decenio del 2001/10 apenas aportan un 30 por ciento de su potencial,

En el período de 1961/73 por los constantes cambios de estructura se perdió una gran parte de la estadística, las empresas antes mencionadas en 1951/60 estaban estructuradas en zonas, las decisiones estaban descentralizadas, cada zona mantenía cuadros calificados con los medios imprescindibles para la ejecución de su trabajo.

El autor fue jefe de una zona de 1951 a 1962 del central Jaronú (hoy Brasil), al tomar posesión de la zona el administrador del ingenio me advirtió que las cosas se harían de acuerdo con mi opinión, que el jefe de campo controlaría mi trabajo de forma sistemática, pero que las decisiones estaban bajo mi control, una vez que se centralizaron las decisiones administrativas los ingenios grandes dejan mucho que desear en los resultados

Después que la producción en 1970 alcanzó la cifra de 8538000 t de azúcar, la de 1971 alcanzó 5925000 y la de 1972 alcanzó 4325000, nuestro Comandante en Jefe planteó que esta sería la última zafra con ese nivel, se decide nombrar un nuevo jefe de la caña y se toman medidas muy positivas

Entre las medidas más importantes fue la de crear un fuerte equipo técnico formado por especialistas de nivel, en la zafra, proyección territorial, riego y drenaje, sanidad vegetal, maquinaria, los especialistas contaban con los medios imprescindibles para su trabajo, se contaba con un ingenio experimental donde se evaluaban cepas, variedades, cultivo y otras actividades de la agrotecnia.

Este nivel técnico estaba en las provincias, empresas y distritos, se controlaban las variedades que se sembraban de primavera y frío, al comenzar cada zafra se distribuía un instructivo tecnológico de cómo programarla, de igual forma se hacía para las demás actividades técnicas, expondremos algunos resultados de las 8 empresas más representativas

Se muestran en las tablas del 1 a la 7 presentan los resultados más significativos de la nación, provincias y las UEB de mayor producción de azúcar en los dos períodos de 1074/79 y 1989/95 en la producción de azúcar y algunos indicadores agroindustriales

Tabla 1. Tres decenios con Indicadores Agroindustriales

	Nación con 56 UEB			Artemisa con 2 UEB		
Indicadores	**1981/90**	**1991/00**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**
Inicio	**D 14**	**E 13**	**E 13**	**D 17**	**D 30**	**E 16**
Final	**My 15**	**My 20**	**My 5**	**My 12**	**My 16**	**MY 7**
Hectárea	**579123**	**610530**	**415462**	**14943**	**19104**	**14276**
T de caña	**29977948**	**21964669**	**14492351**	**901934**	**715091**	**480518**
T/ha	**52**	**36**	**35**	**60**	**37**	**34**
Días de zafra	**152**	**127**	**112**	**146**	**137**	**111**
N P %	**80**	**65**	**61**	**72**	**60**	**51**
Rend 96º	**10,98**	**10,60**	**10,54**	**10,41**	**10,68**	**10,58**
T de azúcar	**3291427**	**2328719**	**1526885**	**93918**	**76349**	**51331**
Lluvia nov-Ab	**280**	**291**	**251**	**466**	**407**	**327**

Tabla 2. Tres decenios con Indicadores Agroindustriales

	Mayabeque con 3 UEB			Matanzas con 4 UEB		
Indicadores	**1981/90**	**1991/00**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**
Inicio	**D 19**	**E 3**	**E 16**	**D 8**	**D 23**	**E 5**
Final	**My 8**	**My 9**	**My 13**	**My 17**	**My 12**	**My 5**
Hectárea	**22288**	**22579**	**24054**	**24403**	**39838**	**35881**
T de caña	**1461185**	**963042**	**783609**	**1432785**	**1570510**	**1187690**
T/ha	**66**	**43**	**33**	**59**	**39**	**33**
Días de zafra	**140**	**126**	**116**	**160**	**140**	**120**
N P %	**84**	**68**	**59**	**83**	**68**	**73**
Rend 96º	**10,80**	**10,33**	**10,57**	**10,62**	**10,48**	**10,58**
T de azúcar	**157840**	**99530**	**82849**	**152143**	**164533**	**125685**
Lluvia nov-Ab	**282**	**300**	**417**	**278**	**342**	**224**

Tabla 3. Tres decenios con Indicadores Agroindustriales

	Villa Clara con 10 UEB			Cienfuegos con 5 UEB		
Indicadores	**1981/90**	**1991/00**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**
Inicio	**D 23**	**E 16**	**E 20**	**D 11**	**E 4**	**E 12**
Final	**My 14**	**My 20**	**My 1º**	**My 11**	**My 4**	**Ab 19**
Hectárea	**69229**	**66929**	**55077**	**39751**	**39190**	**31890**
T de caña	**3742555**	**2358686**	**1772324**	**2185755**	**1332280**	**1005319**
T/ha	**54**	**35**	**32**	**55**	**34**	**32**
Días de zafra	**142**	**124**	**101**	**151**	**120**	**97**
N P %	**79**	**63**	**63**	**80**	**61**	**67**
Rend 96º	**11,74**	**11,32**	**10,85**	**11,16**	**11,07**	**10,92**
T de azúcar	**439550**	**267058**	**192303**	**243914**	**147429**	**109734**
Lluvia nov-Ab	**367**	**325**	**252**	**327**	**282**	**169**

Tabla 4.Tres decenios con Indicadores Agroindustriales

	S Spíritus con 2 UEB			Ciego con 4 UEB		
Indicadores	**1981/90**	**1991/00**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**
Inicio	**D 10**	**E 5**	**E 18**	**D 22**	**E 7**	**E 17**
Final	**My 8**	**My 11**	**Ab 18**	**My 17**	**My 28**	**My 5**
Hectárea	**44370**	**46459**	**28460**	**74140**	**76661**	**51206**
T de caña	**2068486**	**1510444**	**868337**	**3918027**	**2697795**	**1489879**
T/ha	**47**	**33**	**31**	**53**	**35**	**29**
Días de zafra	**149**	**126**	**90**	**146**	**141**	**108**
N P %	**83**	**69**	**66**	**77**	**62**	**62**
Rend 96º	**11,61**	**11,51**	**10,96**	**10,90**	**10,14**	**10,47**
T de azúcar	**240244**	**173864**	**95195**	**427174**	**273671**	**156028**
Lluvia nov-Ab	**261**	**232**	**215**	**264**	**246**	**232**

Tabla 5.Tres decenios con Indicadores Agroindustriales

	Camagüey con 7 UEB			Las Tunas con 4 UEB		
Indicadores	**1981/90**	**1991/00**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**
Inicio	**D 17**	**E 5**	**E 15**	**D 7**	**E 2**	**E 13**
Final	**My 12**	**My 22**	**My 13**	**My 19**	**My 16**	**My 2**
Hectárea	**94678**	**71384**	**46943**	**69073**	**77567**	**50878**
T de caña	**4559620**	**2505264**	**1522682**	**3172971**	**2438424**	**1665849**
T/ha	**49**	**35**	**32**	**46**	**31**	**33**
Días de zafra	**146**	**137**	**118**	**163**	**134**	**109**
N P %	**77**	**59**	**57**	**79**	**63**	**60**
Rend 96º	**10,76**	**9,94**	**10,34**	**10,49**	**10,41**	**10,26**
T de azúcar	**501584**	**248965**	**157396**	**332939**	**253911**	**170891**
Lluvia nov-Ab	**270**	**273**	**202**	**293**	**243**	**211**

Tabla 6. Tres decenios con Indicadores Agroindustriales

	Holguín con 5 UEB			Granma con 5 UEB		
Indicadores	**1981/90**	**1991/00**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**
Inicio	**D 16**	**E 8**	**E 14**	**D 4**	**D 28**	**E 14**
Final	**My 18**	**My 21**	**My 21**	**My 10**	**My 4**	**My 4**
Hectárea	**76036**	**73355**	**43911**	**34895**	**37912**	**25254**
T de caña	**3584718**	**2716458**	**1515212**	**1995498**	**1460129**	**1010193**
T/ha	**47**	**37**	**35**	**58**	**39**	**40**
Días de zafra	**153**	**133**	**127**	**157**	**127**	**110**
N P %	**80**	**68**	**57**	**87**	**67**	**62**
Rend 96º	**10,94**	**10,42**	**10,22**	**10,86**	**10,70**	**10,27**
T de azúcar	**392275**	**283059**	**154827**	**216667**	**156246**	**103712**
Lluvia nov-Ab	**296**	**295**	**263**	**248**	**268**	**236**

Tabla 7. Tres decenios con Indicadores Agroindustriales

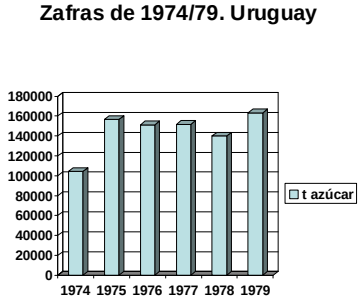
	Santiago con 4 UEB			Guantánamo con 1 UEB		
Indicadores	**1981/90**	**1991/00**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**	**2001/10**
Inicio	**D 4**	**D 25**	**E 12**	**D 23**	**D 29**	**E 3**
Final	**My 10**	**My 12**	**My 8**	**Ab 30**	**My 14**	**My 15**
Hectárea	**34773**	**34699**	**24951**	**4459**	**4053**	**5436**
T de caña	**2024278**	**1477750**	**999384**	**237579**	**218796**	**191355**
T/ha	**58**	**43**	**40**	**53**	**45**	**35**
Días de zafra	**151**	**138**	**116**	**128**	**135**	**132**
N P %	**82**	**74**	**64**	**84**	**70**	**58**
Rend 96º	**10,94**	**10,85**	**10,67**	**11,33**	**10,85**	**10,61**
T de azúcar	**221462**	**160361**	**106633**	**26910**	**23742**	**20301**
Lluvia nov-Ab	**238**	**258**	**248**	**230**	**317**	**270**

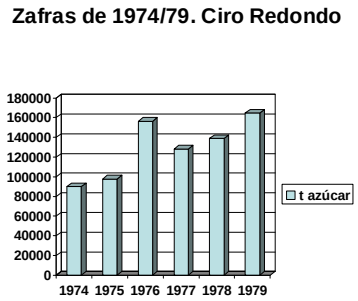
En la tabla 8 se muestra la norma potencial en los tres períodos en algunos ingenios seleccionados.

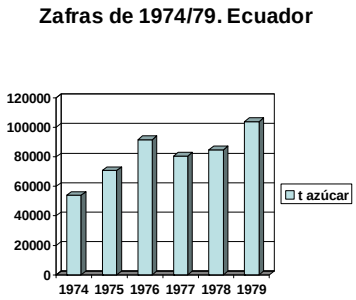
Tabla 8.La Norma Potencial en tres Períodos

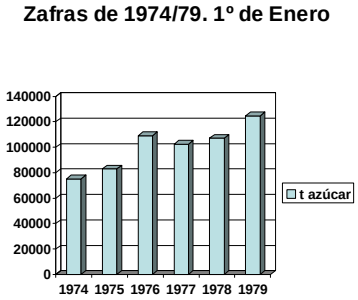
UEB	1951/60	1961/73	1974/79
P Noriega	95	76	84
Uruguay	81	50	76
Ecuador	94	64	72
C Redondo	84	58	71
1º de Enero	84	59	73
Brasil	90	52	74
Panamá	89	58	68
A Guiteras	89	64	73
U Noris	90	60	77

Se muestran adicionalmente en la Figuras las producciones de azúcar en los periodos estudiados para los ingenios desarrollados.

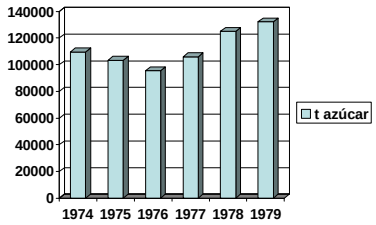




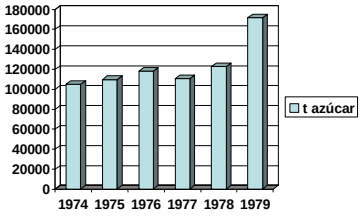




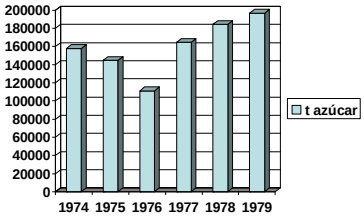
Zafras de 1974/79. Brasil



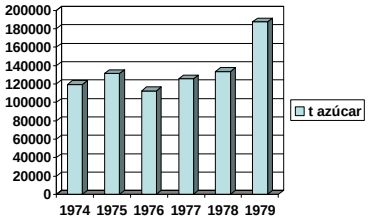
Zafras de 1974/79. Panamá



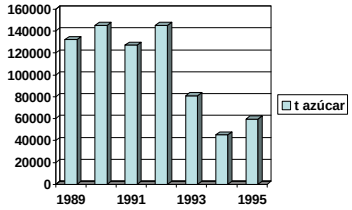
Zafras de 1974/79. A Guiteras



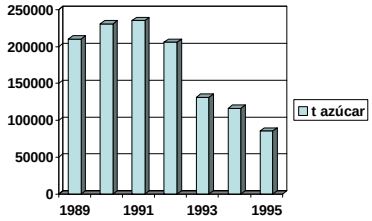
Zafras de 1974/79. Urbano Noris



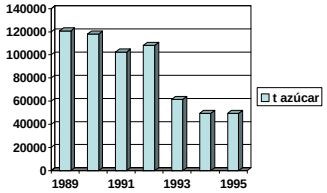
Período 1989 a 1995. C Redondo



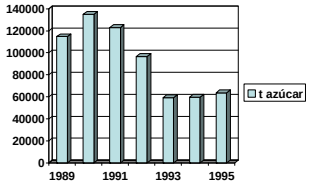
Período 1989 a 1995. Uruguay



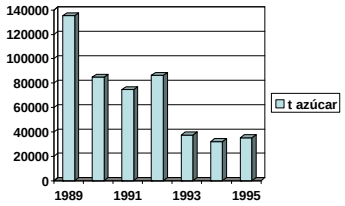
Período 1989 a 1995. 1º de Enero



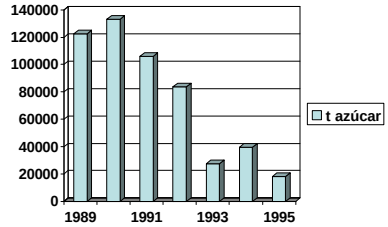
Período 1989 a 1995. Ecuador



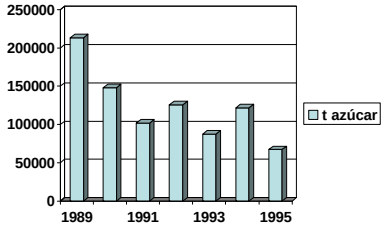
Período 1989 a 1995. Panamá



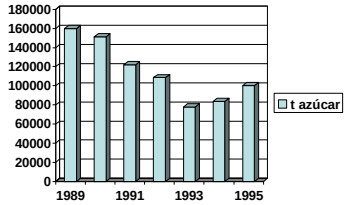
Período 1989 a 1995. Brasil



Período 1989 a 1995. A Guiteras



Período 1989 a 1995. U Noris



Como se manejó la producción en el mejor período de la producción azucarera después del triunfo de la revolución que correspondió con el de 1974 a 1979, el peor fue el de 1989 a 1995, y evaluaremos la eficiencia industrial en los tres últimos decenios para demostrar la importancia de la norma potencial de molida de acuerdo a la producción agrícola en cada una de las provincias y UEB.

El resultado más significativo de las zafras de 1974 a 1979 se encuentra en las ocho empresas de mayor producción que corresponden a: Uruguay, Ecuador, Ciro Redondo, Primero de Enero, Brasil, Panamá, Antonio Guiteras y Urbano Noris de 1974 a 1979 y crecieron de 815444 t de azúcar hasta 1979 con 1244532, con un 152 por ciento de crecimiento.

Adicionalmente se muestran los calores de azúcar producidas en las figuras de la 1 a la XX en los ingenios de mayores potencialidades en su producción de azúcar en los períodos analizados.

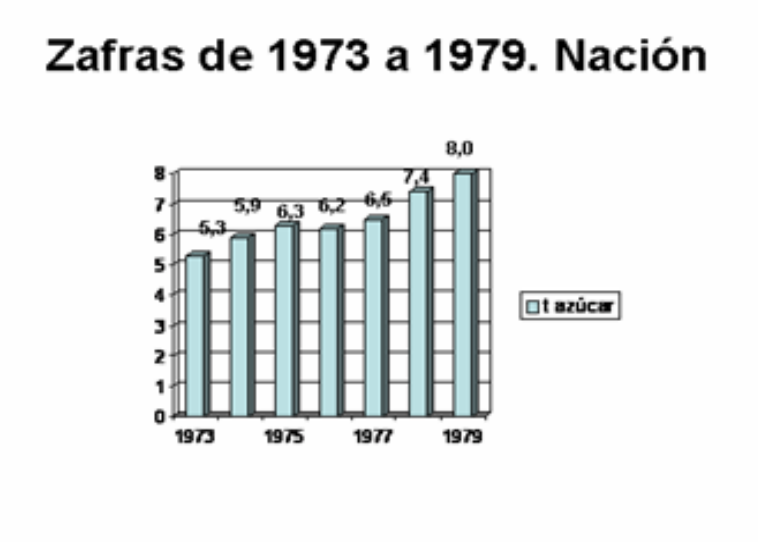
El resultado más significativo de las zafras de 1974 a 1979 lo encontramos en las 8 empresas de mayor producción que corresponden a Uruguay, Ecuador, Ciro Redondo, Primero de Enero, Brasil, Panamá, Antonio Guiteras y Urbano Noris de 1974 a 1979 crecieron de 815444 t de azúcar hasta 1979 con 1244532, con un 152 por ciento de crecimiento.

De 1989 a 1995 decreció desde 1208817 hasta 480930, con un decrecimiento de un 61 por ciento, cambiar la estructura administrativa de los distritos por la UBPC y por otras causas objetivas y subjetivas han provocado estos resultados, expondremos gráficos demostrativos de estos resultados.

El por ciento de planta y soca cuando mantiene valores de un 40 %, la reposición de cepas le corresponde un 14 %, con un 14 % de retoño quedado, 50 % de retoño anual, permite lograr más de 50 t/ha, moler sobre el 80 % de la norma potencial, terminar la zafra temprano, reducir el área a atender, a fertilizar y cultivar y lograr que la cepa dure 7 años.

Cuando la caña de planta y soca presenta valores menores de 35 %, se incrementa el área de retoño anual, se reduce la edad de la caña, se reduce la producción de t/ha, se reduce la molida, la zafra termina más tarde, se

atrasa la atención en la caña, la reposición, la siembra, se incrementa el enyerbamiento y las pérdidas en siembra, la cepa dura 5 años y la necesidad de reponer se eleva al 20 %..
Las zafras de 1989 a 1995 demuestran la falta de uniformidad de la mayoría de los indicadores de la producción, ninguna zafra se parece a la otra, lo que indica que es necesario tomar medidas para controlar cada uno de los indicadores de acuerdo con los detalles que incluiremos en las recomendaciones.
Por otra parte se observan los valores nacionales en las figuras en los dos períodos en los extremos.



El drenaje, viales, trazado de los campos, cosecha en bloques y reducción de los frentes de corte constituyen los principales elementos organizativos para lograr mayor productividad, mayor duración de la vida útil de la cepa, incrementar la productividad, gastar menos combustible y reducir los costos

Se presentan los resultados más significativos de la nación, provincias y las 8 UEB de mayor producción de azúcar en los dos períodos de 1974 y 1979 y de 1989 a 1995 en la producción de azúcar.

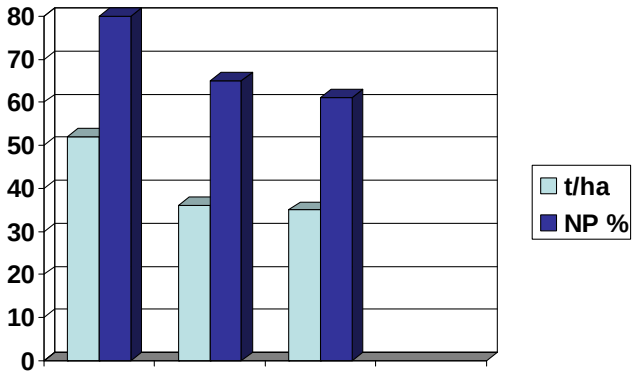
Se demuestra cuales fueron los resultados en las 8 empresas grandes en el período en que hubo un control técnico en las 8 empresas de mayor volumen de producción en el período mencionado como el mejor que correspondieron a las zafras de 1974 a 1979, un aval importantes es que la nación produjo en 1979 sin ningún ingenio nuevo 7992000 t de azúcar.
En la medida que se organizaron los distritos cañeros en la conformación de los bloques, las cepas, edades, variedades, manejo de la cosecha, organización, control, sistematicidad en cada una de las tareas técnicas estas empresas que son las más difíciles de manejar, lograron resultados destacados en el período de 1974 a 1979 cuando se comparan con los de 1968 a 1973.
Los resultados de 1989 a 1995 fueron todo lo contrario, se dejó de reponer las cepas, se centralizó la administración, se perdió el control que se tenía de los distritos, se racionalizaron las direcciones técnicas, las tareas cayeron en manos de los cuadros, los técnicos fueron relegados, no se les garantizaron los medios para su trabajo y veamos los resultados de el período mencionado.

¿Por qué se muele mal?

El bajo aprovechamiento de la molida repercute en la terminación tardía de la zafra, pérdidas en el proceso, atraso en la preparación de la tierra, la siembra, el cultivo, se incrementa el gasto de combustible, se quedan cañas sin moler. Las causas principales se debe al exceso de frentes de corte.
La cosecha en campos aislados, traslado excesivo de equipos, se quedan sin moler variedades no adecuadas, la baja producción agrícola, cuando en el decenio de 1981/90 las combinadas recorrían 11 km para cortar 100 t de caña, ahora recorren 18. Hemos realizado una valoración de cómo se aprovecha la molida de acuerdo con la producción agrícola en los tres decenios de 1981/90, 1991/00 y 2001/10 por provincias y UEB, las que relacionamos a continuación.

Las T/ha y la NP en el rendimiento. Nación

	1981/90	1991/00	2001/10
Inicio	D 14	E 13	E 13
Final	My 15	My 20	My 5
Dias	152	127	112



	1981/90	1991/00	2001/10
Rend 96°	10,98	10,60	10,54
Lluvia	280	291	251

Recomendaciones

- Para lograr más de 50 t/ha se requiere controlar los siguientes indicadores.
- Mantener como mínimo un 14 % de retoños de 20 meses en la cosecha.
- Llevar a corte un 16 % entre primaveras quedadas y fríos.
- El área de soca en la cosecha con un 14 % de reposición representa aproximadamente un 20 % de socas en la cosecha.
- El área de retoño a corte no debe exceder de un 50 %, cada % superior a esta cifra afecta la producción en 1,2 t/ha.
- Las edades de la caña en la cosecha debe ser superior a los 14 meses.
- Con esta estructura se puede lograr más de 50 t/ha y moler sobre el 80 % de la N P, teniendo en cuenta que 1 % de la N P representa aproximadamente 0,13 en el rendimiento
- Una de las medidas más importante representa el % de variedades adecuadas de ciclo largo que deben estar representadas en más de un 70 %.

Alimento animal

UN ENSAYO DE ALIMENTACION CON CASCARA DE NARANJA , MELAZA Y LEVADURA EN TERNEROS HOLANDO ARGENTINO EN TUCUMAN
A FOOD EXPERIMENT WITH CITRUS PEEL, TREACLE AND YEAST IN DUTCH-ARGENTINIAN CALVES IN TUCUMÁN

Albarracín Patricia M , Lencina Maria F**, Gobato Nadia ***, Octaviano Mario**,Octaviano Mariana**, Barnes Norma G**.*

*Departamento de Ciencias Básicas, Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional.** Departamento Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, ***Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia, Universidad Nacional de Tucumán. pmariaalb@yahoo.com.ar

Summary

Citrus peel are waste of the citric industry. The large amount of such waste presents a real ecological issue.
As a solution to this problem, it has been formulated an aliment for animals which has as its primary component orange peel. The diets were evaluated nutricionally, microbiologically and energetically. This paper shows the figures which belong to an experiment with cattle where the diet designed were used. The diet consisted of: wet orange peel, corn, cream of yeast, treacle, and urea.
The trials were carried out in the cattle area of Zarate, Departamento de Trancas, Provincia de Tucumán, Argentina between the months of April and July, for twelve weeks. Four calves of dutch-argentinian breed, clinically healthy, with sixty days of age and weighting 85kg in average. Two homogeneous groups were formed to test the following treatments :
1) Experimental treatment: designed diet and natural forage
2) Witness treatment: commercial balanced food consisting of cereals and natural forage.
It was measured the daily increase in weight through fifteen days weighing. The figures showed that the increase in weight of the animals in treatment, and of the animals in the witness treatment was similar.
It is considered that a waste of the citric industry of Tucumán can be used together with treacle and cream of yeast, in the formulation of diets for feeding cattle, reaching the increase in weight similar to the one gained by the animals fed with their ordinary diet.
Keywords: citrus peel, molasses, cattle , weight gained

RESUMEN

Las cáscaras de citrus son el residuo de empresas citrícolas. Los grandes volúmenes de este residuo son un verdadero problema ecológico.
Como una solución a esta problemática, se desarrollaron formulados de un alimento animal a partir de cáscara de naranja como componente mayoritario. Las dietas fueron evaluadas nutricional, microbiológica y energéticamente. En este trabajo, se muestra los datos de un

ensayo de consumo de ganado bovino de las dietas diseñadas. La dieta consistió en: cáscara húmeda de naranja, granos de maíz, crema de levaduras, melaza y urea .
Los ensayos se llevaron a cabo en el área bovina de Zarate, Departamento Trancas, Provincia de Tucumán, Argentina entre abril y julio durante doce semanas. Se utilizaron 4 terneros de raza *holando argentino*, clínicamente sanos, con edades y pesos promedio de 60 días y 85 kg., con los que se formaron dos grupos homogéneos para probar los siguientes tratamientos:
1) Tratamiento Experimental: Dieta diseñada y forraje natural .
2) Tratamiento Testigo: Alimento balanceado comercial a base de cereales y forraje natural .
Se midió la ganancia diaria de peso, mediante pesajes cada quince días. Los datos mostraron que la ganancia diaria de peso de los animales sometidos al tratamiento y los testigos fue similar.
Se considera que puede utilizarse un efluente de la industria citrícola de Tucumán adicionado con melaza y crema de levaduras en la formulación de dietas para alimentación de ganado vacuno lográndose ganancias de peso similares a las conseguidas con la dieta habitual de estos animales.

Palabras claves: Cáscara de citrus, melaza, vacunos, Ganancia de peso

INTRODUCCIÓN

En la zafra 2007-2008 Argentina produjo 1.362.000 t de citrus, naranjas y limones (20.56% de la producción mundial). Se industrializaron 1.208 millones de toneladas, correspondiendo a la región del Noroeste Argentino (NOA), constituido por las provincias de Tucumán, Salta, Jujuy y Catamarca, el 63.84% (federcitrus, 2010). La principal actividad de la industria es la producción de jugos concentrados, además se producen aceites esenciales, pulpa congelada y cáscara deshidratada.
La cantidad de citrus industrializados en la provincia de Tucumán tuvo un crecimiento anual en la última década del 8%, en consecuencia aumentaron sus productos y descartes en el mismo porcentaje. Los productos obtenidos de la industria citrícola se destinan tanto al mercado interno como al externo.
Como subproducto del proceso de obtención de jugos cítricos quedan la corteza, membranas, parte de la pulpa y eventualmente las semillas del fruto. En el caso de los residuos, algunas empresas los disponen en terrenos de sacrificio y otras los vuelcan junto con efluentes líquidos a la cuenca del río Salí. En ambos casos la materia orgánica en descomposición genera olores desagradables, proliferación de moscas e insectos, aumento de la carga contaminante del río Salí o infiltración en los niveles freáticos en el caso de disposición en tierras de sacrificio.
En el caso de la cáscara de limón deshidratada, es un subproducto de la industria citrícola cuyo mercado principal era la obtención de pectinas. En la actualidad la caída de este mercado hace necesario el estudio de otras alternativas. La cascara de naranja solo se utiliza en compostaje. Estas situaciones hacen que el residuo disponible sea la cáscara húmeda que debido a su gran contenido en fibra y su costo relativamente bajo, comparado con su valor nutritivo, podría transformarse en un nutracéutico. Siendo estos alimentos de acción beneficiosa para la salud, lo que la hacen apta para elaborar un alimento funcional veterinario.
La región del NOA contaría así, con residuos y subproductos agroindustriales capaces de ser utilizados como recursos alimenticios, en épocas de déficit nutricional del ganado mantenido en pastizales naturales en invierno, que coincide con la zafra citrícola. Estos subproductos aún en cantidades inferiores a las sugeridas para terminación, pueden mejorar la condición corporal de los rumiantes que los reciben.
Es importante tener en cuenta que la base forrajera para la producción de carne bovina en la llanura deprimida semiárida de Tucumán está dada por el uso de gramíneas perennes tropicales. La nutrición animal en el período seco, abril a octubre, se ve seriamente comprometida, ya que tanto la siembra de cereales invernales, como el uso de rastrojos de cosechas agrícolas (maíz y soja), están muy condicionados por las precipitaciones.

La estrategia económica consistiría en mejorar la alimentación invernal del ganado vacuno con suplementos que permitan obtener una vaca gorda o tipo consumo hacia la entrada de la primavera, donde el precio del ganado aumenta. Entre los subproductos energéticos provenientes de la industria de Tucumán disponibles para la alimentación del ganado se encuentra la cáscara de citrus, siendo de producción estacional.
Como alternativa de solución a la problemática planteada se estudio, en proyectos anteriores, la formulación de una dieta para alimentación animal utilizando como producto mayoritario la cáscara húmeda de citrus de la industria citrícola de Tucumán.
En este trabajo se muestra la experiencia de la dieta diseñada en el consumo en ganado vacuno.
La utilización de residuos de la industria cítrica, como la cáscara de naranja en apoyo a la actividad ganadera lograría mejoras en el sector, incrementando las posibilidades de comercialización de la producción provincial, fomentando el desarrollo económico social de la región y solucionando un problema de contaminación ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procedió según las etapas detalladas a continuación:
Etapa 1: Preparación de dieta, evaluación nutricional y microbiológica de la misma
Etapa 2: Selección de animales, modificación de corrales y comederos para el ensayo
Etapa 3: Periodo de adaptación de los terneros a la dieta propuesta (4 semanas)
Etapa 4: Consumo de la dieta en animales bovinos (8 semanas)

Etapa 1
Formulación de Dieta**:** Utilizando cáscara húmeda de naranja y los suplementos dietarios, se realizó la formulación de la dieta. Esta fue diseñada en base a experiencias previas, realizadas por nuestros laboratorios en el año 1989, en un confinamiento de vacunos en Ingenio La Florida, Tucumán, con lo que se consiguió un aumento de peso de 0,8 kg/animal/día.
La dieta usada en este ensayo se elaboró con: cáscara húmeda de naranja (75%), maíz (7,25%), crema de levaduras (10%), melaza (7.5%) y urea (0.25%).
La recolección de las muestras de cáscara húmeda se realizó semanalmente durante los meses de abril, mayo, junio y julio, en una empresa citrícola localizada en el Departamento Lules, Provincia de Tucumán, Argentina.
Se determinó en las dietas formuladas: materia seca, proteína (nitrógeno amínico y proteína), lípidos, fibra bruta, cenizas, hidratos de carbono y valor energético. Los parámetros se estudiaron empleando técnicas de Association of Official Analytical Chemist (A.O.A.C.) [2]. Paralelamente se analizó la composición de las dietas en calcio, fósforo, hierro, plomo y el análisis microbiológico según técnicas A.O.A.C. (1990).
Suplementos Dietarios**:** Para formular el alimento balanceado se adicionó fuentes de proteínas, vitaminas, minerales e hidratos de carbono, empleando crema de levaduras, melaza y grano de maíz.
El análisis de los suplementos consistió en:
Crema de Levadura**:** Se utilizo crema de levadura de la salida de las centrífugas de una destilería local donde se desvió una porción del orden del 5% para no afectar los procesos de fermentación propios de las cubas de fermentacion. La levadura fue sometida a lisis celular utilizando una solución de NaCl 7M según lo reportado por Malaney et al (1987).
Se determinó el pH y se analizaron proteínas y materia seca por técnicas de A.O.A.C. La acidez se determinó por volumetría de neutralización.
Melaza**:** La melaza se obtuvo de un ingenio azucarero de la región. En las muestras se analizó: cenizas, proteínas, calcio, hierro y plomo por los métodos de A.O.A.C.. Los azúcares reductores totales se determinaron por el método de Eynon- Lane en base a lo reportado por Rangana et al (1986).

Etapa 2:
La dieta fue evaluada en el consumo por ganado bovino cedido por una Pymes ganadera del

Departamento Trancas, Provincia de Tucumán, Argentina.
Los ensayos se llevaron a cabo en el área bovina de Zárate, Trancas, Provincia de Tucumán entre abril y julio, coincidente con la época de producción citrícola y de escasez de pasturas naturales.
Para realizar el ensayo se selecciono 4 terneros de raza *holando argentino*, clínicamente sanos, con edades y pesos promedio de 60 días y 85 kg., respectivamente, con los que se formaron dos grupos homogéneos (dos terneros por grupo).El primer grupo esta constituido por los animales identificados: A052 y A054, mientras que el segundo grupo están identificados como: A053 y A051 respectivamente.
Se rediseñó los corrales de tal manera que los animales sometidos a la dieta diseñada estuvieran separados del resto del grupo, mientras que los testigos están en un corral colectivo. En ambos casos se los identificó con caravanas plásticas en las orejas. Se dispuso de comederos de plástico, para facilitar la higiene y evitar deterioro de los mismos por el efecto acido de las cáscaras de naranja y agua a voluntad.

Etapa 3:
Se sometieron los animales a los siguientes tratamientos (datos en base seca):
1) Tratamiento Experimental.: Dieta diseñada (60%) y forraje natural (40%).
2) Tratamiento Testigo: Alimento balanceado comercial a base de cereales (60%) y forraje natural (40%).
El alimento se distribuyó en dos fracciones una a la mañana y una a la tarde de 2kg cada una por animal.
El ensayo consistió en adaptación y aceptación de las dietas durante cuatro semanas. La sustitución se realizo gradualmente desde un 25% de la dieta habitual hasta el 100% en la sexta semana.

Etapa 4:
Una vez superada la etapa de adaptación se continuó durante ocho semanas suministrando la dieta a los terneros en dos fracciones una a la mañana y una a la tarde de 2 kg cada una por animal.
Se midió la ganancia diaria de peso (GDP), mediante pesajes (previo período de ayuno de 18 horas) individuales cada quince días.
Los ingredientes de la dieta experimental constituyen una mezcla semisólida con la cáscara triturada y se ofrece a los animales acompañada de heno para que facilite la formación del rumen y la comparación con los testigos. La dieta testigo (alimento balanceado comercial y heno) se proporcionaron por separado.
El consumo voluntario de materia seca (CVMS) se estimó por corral, a través de la medición diaria del alimento rechazado.
El estado clínico de los animales, se controló semanalmente por un veterinario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se observan los valores nutricionales de la dieta formulada.

TABLA I. Análisis nutricional de la dieta

Parámetros (% Materia Seca)	**Dieta Diseño**
Proteínas	15.05
Lípidos	2.24
Fibra	18.59
Hidratos de Carbono	19.95
Calcio	0.85
Hierro	0.05
Sodio	0.63

La crema de levaduras, antes de ser incorporada a las dietas, fue sometida a un proceso de lisis celular, indicado para su incorporación a raciones animales sobre todo de rumiantes. Este procedimiento se realizó porque se debe tener en cuenta en la utilización intensiva de levadura en alimentación animal ocasiona inconvenientes por la resistencia de la pared celular del microorganismo al ataque enzimático y químico de los jugos gástricos (industria bebible, 2007).
En lo que se refiere a la melaza existen numerosos antecedentes de su aplicación en raciones animales, pero su incorporación debe ser en pequeñas cantidades para evitar causar diarreas mecánicas en los vacunos (Potter et al, 1985), lo cual se controlo en nuestro caso por el agregado de heno a la ración..
Las dietas diseñadas en valores de proteínas, fibras e hidratos de carbono reportadas en la Tabla 1 son aptas para ser utilizadas como alimento para ganado bovino. Este aporte de los principales nutrientes, estaría dado fundamentalmente por el residuo industrial de cáscara húmeda de naranja, constituyente en un 75% de la dieta.
En la tabla II se observan los valores del análisis microbiológico de la dieta diseñada.

TABLA II. Análisis microbiológico de la dieta diseñada

Parámetros	**Dieta Diseño**
NMP de coliformes totales	< 1.8 NMP/g
E. coli	< 10 UFC/g
NMP de coliformes fecales	< 1.8 NMP/g
Salmonella spp	Ausencia/25g

De los resultados microbiológicos no se observa contaminación por agentes patógenos.
En el ensayo con los animales se observo una gran aceptabilidad de la dieta diseñada pues solo en la primera semana hubo rechazos de 300 g promedio por día que disminuyeron y desaparecieron gradualmente hacia el final de la segunda semana. En los animales testigo no se observo rechazo puesto que ya estaban acostumbrados a la dieta comercial después del destete.
En la tabla III se observan los valores de ganancia de peso de los terneros (Exp.)sometidos al ensayo durante el periodo de consumo de la dieta, incluyendo la etapa de adaptación de las dos primeras quincenas, comparado con los parámetros medidos en los testigos(Test).

TABLA III. Ganancia de peso (g/dia) de terneros sometidos a ensayo con dieta diseño comparado con animales testigo

Trata-miento	Terne-ros	1º Quince-na	2º Quince-na	3º Quince-na	4º Quince-na	5º Quince-na	6º Quince-na	Promedio por animal	Prom. Gral
Exp	A052	214	429	571	620	571	535	490	609
	A054	500	780	857	815	780	642	729	
Test	A053	643	571	643	652	620	655	630	696
	A051	1071	929	643	622	655	655	762	

Los datos mostraron que la ganancia diaria de peso fue desde 357 g promedio, en la primera quincena a 609 g promedio por día por animal en los terneros sometidos a la dieta diseñada al final del ensayo. Mientras que en los testigos fue de 696 g promedio durante todo el período considerado. Cabe destacar que la dieta fue preparada semanalmente por sus características de alto contenido de humedad y porque se observo en laboratorio que transcurrido siete días de la preparación de la misma, ésta presentaba aromas y sabores ácidos que podrían atribuirse a reacciones entre el acido cítrico de la cáscara de naranja y la melaza.
También de las observaciones vertidas por el veterinario se pudo inferir que los animales se mantuvieron en buen estado clínico general durante toda la etapa que consumieron la dieta diseñada.

CONCLUSIONES

Los datos obtenidos mostraron que la dieta formulada posee un contenido promedio de proteínas es del 15%, de fibra 18.5% y de carbohidratos 20%, que serían valores aceptables para alimento animal, teniendo en cuenta que el residuo industrial, cáscara húmeda de naranja, constituye el 75% de la dieta y aportaría el mayor porcentaje de los principales nutrientes.
La dieta formulada es apta para ser sometidas a consumo de terneros, dada su buena calidad nutricional y microbiológica que logró ganancias de peso similares a las conseguidas con la dieta habitual de estos animales. También se puede resaltar que hubo una buena adaptación al consumo desde la etapa de aceptabilidad de la misma.
Se considera en consecuencia que puede utilizarse un efluente de la industria citrícola de Tucumán adicionado con melaza y crema de levaduras en la formulación de una dieta para alimentación de ganado vacuno lográndose así una revalorización del efluente citrícola y un aporte al desarrollo ganadero de la región en período de sequía, donde escasean los pastos naturales y coincide con la campaña citrícola.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizo en el marco del Proyecto de investigación y Desarrollo, PID 043, de Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional y de un Programa de investigación de la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Tucumán E/401 de Universidad Nacional de Tucumán por lo que se agradece a estas instituciones.
La implementación pudo realizarse gracias a la disposición del establecimiento lechero “Tambo Ricardo Azcarate” del Departamento Trancas de la Provincia de Tucumán, Argentina y de la empresa citrícola “El Carmen S.A”.

REFERENCIAS

[1] www.federcitrus.org. (2010). La actividad citrícola argentina.
[2] A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemist. (1990). 15th edition, Washington D. C. USA.
[3] Malaney G.W., Tanner R.D., Shippand E.A. and Slonim A.E. (1989). The effects of high sodium chloride in the growth medium on the content of the essential amino acids in the intracellular pool in Baker's yeast during aerobic fermentation of glucose. Food Microbiology, **6**:1-6..
[4] Ranganna, S.J.. (1986). Handbook of análisis and quality control for fruit and vegetable products. Ed. Mc Graw Hill, pp 13-16, 26-30..
[5] www.industriabebible.com.(2007). Evaluación de levadura procreatin-7 ®en la dieta de vacas lecheras.
[6] Potter, S.G.; Moya, A.; Henry P.R.; Palmer A.Z.; Becker, H.N. and C.B. Ammerman. (1985). Sugarcane condensed molasses solubles as a feed ingredient for finishing cattle. J. Anim. Sci., **60**:839-846..

SECADO NATURAL DE LEVADURA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* CON RESIDUALES LIGNOCELULÓSICOS DE INGENIOS AZUCAREROS. USO EN DIETAS DE CONEJOS Y AVES.

NATURAL DRYING OF *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* YEAST WITH LIGNOCELLULOSIC RESIDUAL FROM SUGAR CANE MILLS. USED ON RABBITS AND POULTRY DIETS.

SOLANO G[1], SALCEDO MARY LUZ C[2] Y RAMÍREZ R[1]

[1]**Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov"**
[2]UEB Azucarera "Grito de Yara"
E-Mail: gsolano@dimitrov.cu

RESUMEN

En este trabajo se expone un procedimiento de secado al sol de levadura *Saccharomyces cerevisiae* con residuales fibrosos de la caña de azúcar para su conservación y uso en alimentación animal. Se prepararon mezclas con crema de levadura (CL), bagacillo, cachaza y GARANVER, se expusieron a la irradiación solar hasta el secado. La levadura seca con bagacillo (LBS) se incluyó en dietas de conejos (0; 25 y 50 %); gallinas ponedoras (0; 10 y 15 %) y pollos en ceba (0; 10; 15 y 20%). Los ensayos se realizaron en un diseño completamente aleatorizado. Se evaluó la capacidad de los materiales para absorber CL, la composición bromatológica y la respuesta productiva de los animales alimentados con las dietas correspondientes. Los datos se evaluaron mediante un análisis de varianza de calsificación simple. Los resultados mostraron mayor capacidad de absorción en la mezcla CL bagacillo y el valor más alto de proteína cruda. La inclusión de LBS en las dietas de los conejos, gallinas ponedoras y en los pollos de ceba indicaron respuestas productivas favorables. El procedimiento descrito sugiere la posibilidad de emplear materiales lignoceluósicos de los ingenios azucareros como soporte para secar la CL y su posterior uso en la alimentación animal.

Palabras clave: Secado, caña de azúcar,cachaza, bagacillo, *Saccharomyces cerevisiae*, GARANVER.

ABSTRACT

The work is to describe a method by sun drying of yeast *Saccharomyces cerevisiae* with residual fibrous sugar cane for conservation and used in animal feed. Individual mixtures yeast cream (YC) with bagasse pith, filter cake and GARNVER were prepared and They are exposed to sun radiation drying. The yeast dry bagasse (YDB) was included in diets rabbits (0, 25 and 50%) laying hens (0, 10 and 15%) and fattening broilers (0, 10, 15 and 20%). The experiments were set up in a completely randomized design. Measurements were made on the ability of materials to absorb YC, chemical composition of dry mixes and productive response of animals fed diets. Data were evaluated by analysis of variance. The results showed that the mixture of CL bagasse pith increased absorption capacity and the highest value of crude protein. The use of YDB in the diets of rabbits, laying hens and broilers indicated favorable productive responses. The procedure suggests the possibility of using this new alternative to dry yeast cream with cane bagasse pith from sugar mills and obtain satisfactory results in animals feeding.

Key words: Drying, sugar cane, bagasse pith, filter cake mud *Saccharomyces cerevisiae,* GARANVR

INTRODUCCION

Uno de los principales problemas que limita la producción animal es el costo de materias primas, para elaborar los concentrados, con materias primas foráneas, lo cual origina una gran dependencia externa, dónde el precio del trigo, maíz y harina de soya (USD/t, puesto en Cuba) se ha incrementado en el último año en 47, 62 y 58 % respectivamente (Leyva, 2011).

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es un subproducto proteico que se produce en las destilerías de alcohol. En Cuba, en los últimos 15 años, no se ha realizado su recolección, concentración y secado, por lo que no se dispone de esta fuente proteica que se puede utilizar en la fabricación de piensos para la alimentación de cerdos y aves. Además, al no eliminarse, conjuntamente con las vinazas o mostos, se agudiza la contaminación (20 %) ambiental (Lezcano y Achang, 2002). Después de concluida la síntesis de alcohol esta se separa del medio fermentado deteriorarse aproximadamente a las 30 h de producida, el producto seco tiene un 35% de proteína. En algunas fábricas alcoholeras se recuperan mediante un sistema de separación por centrifugas y a continuación se seca, lo que origina un alto consumo de combustible (1 t/t de producto seco) y un incremento considerable del costo de producción (Figueroa, 1996; Anón, 2003 y Rivas, 1981).

Cuba recibe como promedio diario en cada metro cuadrado de su territorio una radiación solar equivalente a medio litro de petróleo (Bérriz, 1997).

La crianza de conejos constituye una de las explotaciones más económicas. Estos animales se pueden alimentar con forrajes, substratos industriales y desechos de cocina y usar piensos industriales como suplementos dietéticos (Reverón, *et al.* 2003).

Valdivié *et al*. (1997), comparó datos sobre la eficiencia de producción de pollos de engorde en Cuba entre los años 1966−1995, para valorar la necesidad de revolucionar el sistema de producción de pollos de engorde, con respecto a los niveles de eficiencia y viabilidad económica que se obtienen mundialmente, si tomamos en cuenta el grueso de las materias primas que se emplean en las formulaciones de los piensos son de importación y el costo material directo de la tonelada para Broilers puede oscilar entre los 265−282 USD, cuando se mezclan en la fábrica del país.

Objetivo: exponer un procedimiento de secado al sol de levadura *Saccharomyces cerevisiae* con materiales absorbentes provenientes de la caña que propicie su conservación y uso en la alimentación animal

MATERIALES Y MÉTODOS.

Secado de crema de levadura S. cerevisiae. Se utilizó GARANVER, cachaza y bagacillo de caña de azúcar. Los dos primeros se secaron al sol antes de usarlos y el bagacillo se utilizó fresco, tamizado con una malla de 5 mm. Para determinar el coeficiente de absorción se pesaron 200 g de cada producto, y se les adicionó crema de levadura (CL) hasta la saturación, la operación se repitió 5 veces, se determinó la cantidad de crema absorbida (coeficiente de absorción). Las mezclas se colocaron en una estufa a 65 C durante 72 horas se extrajeron de la estufa y se procedió de nuevo a agregar CL. De los resultados descritos se tomaron como base los coeficientes para desarrollar el secado natural, se prepararon mezclas crema

de levadura, se expusieron a la irradiación solar durante tres días en una superficie pavimentada con un grosor de capa de 3.5 cm y se removió cada 2 horas. Las condiciones climáticas durante el desarrollo del secado mostraron velocidades medias del aire, temperatura y humedad relativa de 12 km./h; 25.4 ^{o}C y 71.4 % respectivamente.

Se tomaron muestras representativas correspondientes a los materiales de los diferentes experimentos y se le realizaron análisis bromatológicos de materia seca (MS) proteína bruta (PB) fibra bruta (FB) extrácto etéreo (EE) cenizas y minerales conforme a las normas de la AOAC (1995).

Conejos y aves alimentados con levadura secada al sol con bagacillo (LBS)
Se emplearon conejos machos cruzados de razas comercial Nueva Zelandia con Chinchilla destetados a los 45 días, distribuidos en tres grupos con igual número de animales y pesos semejantes. Tratamientos: A) Testigo con pienso comercial. B) Pienso comercial, LBS (20%) y miel final. C) Pienso, LBS (40%) y miel final. El pesaje de los animales se realizó semanalmente de forma individual. Como parámetro a evaluar se tomó la ganancia de peso vivo.

Gallinas ponedoras.
Se utilizaron gallinas ligeras del tipo Leghorn blancas (L33) con 26 semanas de edad alojadas en jaulas de 40x40 cm, distribuidas en 3 grupos con pesos semejantes. Tratamientos empleados I) Testigo con pienso comercial (PC). II) Pienso con 10% de LBS III) Pienso con 15 % de LBS. Los indicadores productivos evaluados fueron el consumo de alimentos, la puesta, el peso del huevo, la conversión y el grosor de la cáscara. El alimento a las aves se ofertó según las recomendaciones de La Unión de Empresas del Combinado Avícola Nacional (1998)

Pollos en crecimiento ceba
Se utilizaron pollos de ceba de línea comercial con 21 días de nacidos y un peso de 405 ± 10 g, alojados sobre el piso a razón de 10 animales/m^2 en cubícalos distribuidos en 4 grupos: **T**ratamientos: I) Testigo (pienso comercial); II) LBS (10%) y polvo de arroz (20 %); III) LBS (15%) y Polvo de arroz 15 % IV); LBS (20%) y Polvo de arroz (10%) como parámetros a evaluar se tomó el consumo de alimento, la conversión , rendimiento en canal y el peso de los animales. En la formulación de las raciones se utilizaron además; cabecilla y polvo de arroz, azúcar (no apta para el consumo humano) y levadura torula. Hasta los 21 día los animales consumieron igual tipo de pienso, para las dietas no convencionales tuvieron una semana en fase de adaptación.

RESULTADOS

En la tabla 1, se muestran los coeficientes de absorción de crema *S. cerevisiae* por los materiales usados. En el GARANVER y la cachaza el comportamiento fue semejante, mientras que en el bagacillo los valores alcanzaron niveles significativamente superiores ($P<0.05$) en la primera y segunda adición, lo cual se justifica por la alta porosidad que presentan las partículas de este producto.

Tabla 1. Coeficiente de absorción de crema de levadura Saccharomyces por los materiales empleados.

Adiciones realizadas	Materiales Absorbentes			
	GARANVER	Cachaza	Bagacillo	ES
1	2.15 ^{a}	2.10 ^{a}	6.15^{b}	□0.48
2	1.80 ^{a}	1.40 ^{a}	6.00^{b}	□0.53

En la composición química (Tabla 2) de las mezclas de los materiales secados al sol, se destacan en primer termino los valores de la PB alcanzados por la crema con el bagacillo en la primera y en la segunda adición (17.24 y 22.45), así como una disminución considerable de la FB en todos los tratamientos en correspondencia con el nivel de crema de levaduras, aspectos muy favorables desde el punto de vista nutritivo, ya que a la vez que se logra un enriquecimiento proteico de los materiales lignoceluósicos, se reduce considerablemente el nivel de fibra

Tabla 2. Composición química de los productos antes y después de secos (% MS).

Material	MS	PB	FB	EE	Ca	P	K
Lev. Saccha.	14.18	30.60	3.00	1.20	0.13	1.40	1.75
GARANVER	87.40	10.56	18.50	2.71	2.70	0.89	1.12
Adición 1	93.32	15.04	15.25	2.11	2.61	1.21	1.23
Adición 2	94.86	17.21	13.22	2.10	2.51	1.21	1.23
CACHAZA	91.75	9.15	15.37	3.23	2.40	1.43	0.70
Adición 1	92.42	12.99	11.14	3.45	2.32	1.41	0.90
Adición 2	93.95	14.69	9.51	2.87	1.48	1.43	0.94
BAGACILLO	90.75	2.36	35.34	2.54	1.40	0.08	0.15
Adición 1	93.76	17.24	20.68	1.84	0.68	0.56	1.06
Adición 2	94.50	22.45	12.24	1.06	0.55	0.64	1.28

En una superficie de una hectárea pavimentada se obtendrían en 24 h de irradiación solar, 2.94; 2.80 o 8.40 toneladas de levadura seca usando GARANVER, cachaza o meollo respectivamente, con un consumo de combustible inferior a 20 L/t. Si esto se efectuara mediante el proceso industrial de secado de la levadura S. cerevisiae se requerirían según Ribas (1981) una tonelada de combustible por cada tonelada de levadura seca.

Figura 1. Crema de levaduras secada al sol con bagacillo.

El peso vivo (PV) de los conejos alcanzó los mayores valores (Tabla 3) en los tratamientos A y B, los cuales son significativamente superiores ($p< 0.05$) al obtenido en el tratamiento C. Al sustituir el 40 % del concentrado por la levadura con bagacillo, se afecta la respuesta productiva en los animales, no obstante la ganancias de peso vivo (PV) obtenidas es semejante a los resultados presentados por Ponce de Leon (1995), Ponce **et al.** (1999) en conejos en ceba bajo condiciones del trópico alimentados con forraje y concentrados convencionales respectivamente.

Tabla 3. Resultados productivos obtenidos en la alimentación de conejos en ceba.

Parámetro Analizado	Tratamientos				
	A	**B**	**C**	**Es**	**Sig.**
Consumo de pienso (g/día)	64.33	64.28	64.46	0.02	ns
Peso vivo inicio (kg)	0.95	0.96	0.96	0.01	ns
P vivo final (kg)	1.93[a]	1.83[ab]	1.75[b]	0.08	*
Ganancias de peso vivo (g/día)	26.2[a]	24.9[a]	22.3[b]	0.06	*

Letras desiguales representan diferencias significativas (P<0.05); Duncan (1955).

El nivel de proteína es similar entre las dietas (16.40 a 16.25 %), encontrándose dentro de los parámetros recomendados por Valdivié (1995) para las ponedoras. Se observa un ligero aumento en el contenido de FB (3.48 a 3.99 %) en las dietas donde se incluye la LBS, los parámetros están por debajo de los niveles críticos establecidos para esta especie. Bell (1997).

El consumo de alimento total y por aves (Tabla 4) fue similar, no hubo diferencias significativas (P<0.05) entre las dietas aunque se observa cierta tendencia al incremento en la medida que se aumenta el nivel de LBS, y un menor contenido de energía. La conversión tuvo un comportamiento significativamente favorable en el tratamiento con 10 % de LBS, parece ser que con este nivel se alcanza un mejor equilibrio de nutrimento, ya sea vitaminas, minerales, factores no identificados o algún aminoácido esencial como es el caso de la lysina presentes en la levadura, lo cual influye de manera favorable en la respuesta productiva. Entre los dos restantes tratamientos no hubo diferencias (p>0.05) estadísticas.

El peso de los huevos tuvo un comportamiento similar entre los tratamientos con 0 y 10 %de LBS, los valores son significativamente mas bajos (p< 0.05) que el obtenido en el tratamiento donde se utilizo 15 % de levadura con bagacillo. El nivel de la puesta fue similar en los tratamientos con 0 y 15 % los que a su vez son inferiores al obtenido en el tratamiento con 10 % de LBS

Tabla 4. Resultados productivos obtenidos en las gallinas ponedoras.

Indicadores	**Inclusión de LBS en las dietas (%)**				
	0	**10**	**15**	**ES**	**Sig.**
Consumido (kg/ tratamiento)	305.05 [a]	314.98 [a]	310.12 [a]	1.62	NS
Consumo (g/ ave/ día)	95.33 [a]	98.28 [a]	99.46 [a]	2.02	NS
FCA	2.84 [b]	2.50 [a]	2.66 [b]	0.06	**
Peso del huevo (g)	52.38 [b]	53.57 [a]	52.63 [b]	0.19	**
% de la puesta	69.33 [b]	74.10 [a]	69.70 [b]	0.34	**
Grosor cáscara (mm)	0.358 [a]	0.355 [a]	0.353 [a]	0.01	NS

En las filas, medias con letras desiguales difieren para P< 0.05, (Duncan1955). Factor de conversión alimentario; FCA = alimento consumido / ganancia en peso

Se observa homogeneidad de los indicadores nutritivos (tabla5) con lo que se corrobora la posibilidad de lograr raciones balanceadas con alimentos no convencionales siempre que se establezcan proporciones adecuadas de los portadores de nutrimentos aun cuando presentan niveles de fibra relativamente altos para las aves como es el caso de la LBS y el polvo de arroz .

Tabla 5. Composición bromatológica de las dietas ofertadas a los pollos.

INDICADORES	Tratamientos				ES
	Testigo	2	3	4	
Materia seca	87.96	87.78	86.15	85.24	1.24
Proteína bruta	21.95	21.32	21.49	21.85	0.18
Fibra bruta	4.78	4.78	5.20	5.60	0.38
Extracto etéreo	3.74	5.43	4.85	4.05	0.53
Ceniza	7,61	10.02	10.60	11.26	0.15
Ca	1.90	2.00	2.43	2.19	0.17
P	1.26	1.26	1.25	1.22	0.06
Mg	1.05	1.36	1.26	1.15	0.12
Energía metabolizable (MJ/KgMS)	13.95	10.96	11.04	10.90	1.38

El comportamiento del consumo total de alimentos (figura 2), mostró diferencias significativas ($p<0.01$) a favor del tratamiento testigo, lo que debe estar motivado por una mayor calidad de los nutrientes que integran el concentrado comercial. En las dietas a base de subproductos de la agroindustria, se destaca que con sólo un 20% del concentrado tradicional se logró realizar la ceba de pollos con talla comercial a los 52 días de edad, estos indicadores son muy alentadores para la crianza no especializada que es precisamente el área donde los volúmenes de piensos convencionales son muy reducidos, corroborando que la alimentación alternativa local constituye una vía para producir determinados volúmenes de carne.

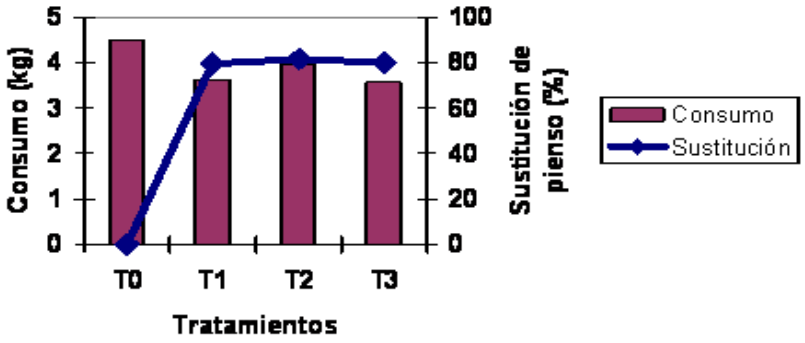


Figura 2. Consumo de aliumento por los animales.

El peso final mostró diferencia altamente significativa para ($p<0.01$) a favor del tratamiento testigo (tabla 6). Sin embargo, se puede observar que todos los grupos alcanzaron talla comercial. La conversión no muestra diferencia significativa. Estos resultados coincidieron con Valdivié **et al.,** (1990), cuando utilizaron diferentes niveles de Saccharina en dietas para pollos de engorde y encontraron valores de conversión de alimentos entre 2.51 y 2.74. El rendimiento en canal y canal más vísceras comestibles, no difirió significativamente entre tratamientos comportándose en un rango entre 65- 69% y 74-70% para ambos indicadores respectivamente, mientras que la grasa abdominal fue proporcionalmente mayor para el tratamiento testigo como consecuencia de su mayor concentración energética, no siendo así para el resto de los tratamientos en los cuales el aporte energético fue mas bajo.

Tabla 6. Indicadores productivos de pollos de ceba de 21- 52 días.

Indicadores	**Nivel de inclusión de LBS %**				***ES*** **±**
	0 (Testigo)	**10**	**15**	**20**	
Peso inicial (g)	425	420	433.4	433.7	0.53
Peso final (g)	1962[a]	1523.5[b]	1593.5[b]	1504[b]	0.90
GMD (g/d)	37.73[a]	29.29[b]	30.60[b]	28.92[b]	0.53
Consumo diario (g/ ave)	85.21[a]	68.52[b]	75.36[b]	67.50[b]	1.44
FCA	2.46	2.65	2.81	2.65	1.13
Rendimiento en canal (%)	67.02	66.81	69.89	65.32	1.12
Canal + víscera (%)	78.60	71.78	74.00	70.20	1.13
Grasa abdominal (g)	28.24	25.35	18.81	15.07	0.54

En las filas, medias con letras desiguales difieren para P< 0.05, (Duncan1955). Factor de conversión alimentario; FCA = alimento consumido / ganancia en peso. GMD = peso final – Pesp inicial / tiempo de consumo del alimento.

CONCLUSIONES

1. Es factible secar crema de levadura al sol utilizando como soporte cachaza, GARANVER o bagacillo de caña, lo cual constituye una alternativa economica para preservar el producto y mejoran la composición nutritiva.

2. La levadura *Saccharomyces* secada con bagacillo arrojó el mayor nivel de proteína y su inclusion en dietas de conejos (40%), gallinas ponedoras (15 %) y en la ceba de pollos (20%), reflejó resultados productivos favorables.

REFERENCIAS

- A.O.A.C. (1995). Official methods of analysis. Off Agric. Chem. 17 th. Ed. Washintong DC.
- Anónimo (2003). Levadura *Saccharomyces*. Proteína ecológica para los ganados porcinos y caprino. Rev. Cub Azucar, Vol. XXXI (Número especial), 60 pp.
- Bell, D. (1997). Están obteniéndose todos los huevos de tamaño grande que sus pavadas producen. Rev. Industria Avicola. Marzo, 44(3): 38-42. ,
- Bérriz, L.(1997).Energía solar. El camino de la vida. Rev. Cientifica popular, La Habana octubre-diciembre, (0):20-24.
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and F test. Biometrics, 11:1.,
- Ponce de León Raquel. (1995): La producción de carne de conejo Rev.ACPA (1):49-56, .
- Ponce de León Raquel; G. Guzmán y C. Forte. (1999). Niveles de harina de cítrico
- en dietas peletizadas para la ceba de conejo. Rev. Cubana de ciencia agrícola, 33(2):165-172, .
- Rivas E.M. y R. Suárez (1981). Aplicación de las técnicas de simulaciones de procesos en la producción de mieles hidrolíticas. Rev. ICIDCA XX (1):40-51.
- Reverón, S. H., Raquel Ponce de León; L. Reinaldo y Ana Iris Clavijo (2003). Manejo y explotación del conejo. Asociación Cubana de Producción Animal. Ed. ACPA, Cuba 175 pp.
- Unión Combinado Avícola Nacional, (1998). Instructivo Técnico. Producción avícola, ponedoras y sus reemplazos. Ministerio de la Agricultura La Habana Cuba. ,

- Valdivié, M; Elías, A; Álvarez, R. J y Dieppa, Odalis. (1990). Utilización de la saccharina en los piensos para pollos de engorde. Rev. Cubana Ciencia Agrícola. 24- 97.
- Valdivié, M. (1995). Papel de las principales especies avícola en la producción de carne y huevo. En seminario Cient. Inter. XXX Aniversario del ICA . La Habana 180-190.
- Valdivié, M; Sampecho, J. L y Cabezas, L. (1997). Producción intensiva de pollos de engorde en Cuba. Seminario Científico Internacional 8 al 11 de Julio. Alimentación Alternativa para el trópico.

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE TERNEROS CON EL USO DE UN REEMPLAZANTE LECHERO (RL) CON LEVADURA TORULA (*TORULOPSIS UTILIS*).

CALVES FEEDING SYSTEM, USING A MILK REPLACER (MR) WITH TORULA YEAST (*Torulopsis utilis*).

Rolando Ybalmea Puldón, Joaquín Plaza Fernández y Ana María Vera Vara

Instituto de Ciencia Animal. Carretera Central, Km 47½ Apartado 24, San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba. Email: ribalmea@ica.co.cu

Resumen

Se utilizaron 20 terneros de 10 días de edad, para evaluar el uso de un reemplazante lechero (RL) con levadura torula, según los tratamientos; **leche:** 400 litros de leche fresca, y **RL:** 150 litros de leche fresca + 36 kg del reemplazante lechero (RL). Fueron mayores los pesos vivos y las ganancias de peso en todas las etapas estudiadas en el tratamiento donde se utilizó leche fresca. Así mismo fueron mayores las diarreas ($P< 0.01$), en el tratamiento con RL, con 0.51 y 1.41 casos/ternero, respectivamente. El consumo de pienso, y de materia seca (MS) fue mayor ($P<0.05$), con leche, de 61 a 90 y de 91-120 días de edad. La conversión de la MS fue mejor ($P<0.01$) de 11 a 30 días de edad (1.744 vs 2.663 Kg MS/Kg ganancia) y ($P< 0.05$) en de 31 a 60 y 11 a 120 (1.984 vs 2.236 y 3.339 y 3.597 Kg MS/Kg ganancia), para ambos tratamientos, respectivamente. Fue menor el costo de la crianza por ternero en $ 75.52 USD, por concepto de ahorro de leche y el costo del litro de alimento líquido fue menor en $0.135 USD/litro con el uso de RL. Se concluye que el sistema de alimentación, con un RL con levadura torula, puede constituir una variante económica para su aplicación en la práctica productiva, aunque es necesario continuar trabajos encaminados a mejorar la calidad del RL y la adaptación de los sistemas de alimentación a este tipo de alimento.
Palabras claves: Ternero, Levadura torula, reemplazantes lecheros, comportamiento, costos de alimentación.

Abstract

Twenty Holstein x Zebu of 10 days of age were use in a completely randomized design to evaluate the use of a milk replacer (MR) with torula yeast, distributed in two treatments; **Milk:** 400 l of whole milk, and **MR:** 150 l of whole milk + 36 kg of MR. The body weight and gains were higher in treatment A, during the whole experimental period. It was recorded more diarrhoeas ($P< 0.01$), for treatment B, with 0.51 y 1.41 cases/calf. The dry feed consumption was higher ($P<0.05$), for A and conduct to higher DM consume, ($P<0.05$), during the periods from 61 to 90 and 91 to 120 days. The dry matter (DM) conversion was better ($P<0.01$) from 11 to 30 days with value s of 1.744 vs 2.663 Kg DM/Kg gain and ($P< 0.05$) for the periods from 31 to 60 and 11 to 120, with values of 1.984 vs 2.236 and 3.339 and 3.597 Kg DM/Kg gain, for treatments A and B respectively. The cost of calves rearing was reduced in $ 75.52 USD for treatment B, because the fresh milk substituted and the litre of liquid feed was less $ 0.135 USD/litre B. It is concluded that the feeding system utilized, using MR with torula yeast, may constitute an economic variant for it utilization in the productive

practice although, it is necessary to continue studies guided to improve the MR quality and the feeding system adaptation to this king of MR.

Key words: Calf, torula yeast, milk replacers, performance, economic effect.

Introducción

La leche entera es el mejor alimento para el ternero joven y su composición concuerda perfectamente con su capacidad digestiva (Saucedo *et al*. 2005), pero su alto costo y la fuerte competencia con el consumo humano han constituido su principal desventaja, por lo que se han realizado numerosos estudios para la elaboración de reemplazantes lecheros (RL).

En los países donde se utilizan comercialmente estos alimentos, se logra un mayor beneficio económico debido al uso de componentes más baratos, en comparación con la leche fresca, reduciendo el costo de crianza del ternero al destete. Sin embargo, en Cuba se han utilizado poco los RL, a pesar de que anualmente se destinan millones de dólares para la compra de leche en polvo para el consumo humano y que los terneros que se crían, consumen millones de litros de leche fresca.

Actualmente, los subproductos lácteos (sueros y concentrados proteicos de suero), alimentos de excelente calidad nutricional, son una de las principales fuentes proteicas y energéticas que se utilizan en la elaboración de los RL. Así mismo, se emplean otras fuentes proteicas no lácteas como los concentrados proteicos de soya, glutem de cereales, proteína de levaduras, etc. y otras energéticas como el sebo bovino, almidón de maíz (*Zea maiz*) y de yuca (*Manihot sculenta*), dos de los que mejor utilizan los terneros, (Thivend, 1978), y el azúcar crudo, que si bien el ternero no cuenta con las sacarasas intestinales que permiten su utilización enzimática, si se ha utilizado en la alimentación de terneros veal (Mathieu y Barre, 1968).

Si bien muchos de estos productos se han evaluado en la formulación de RL, ha sido en formulaciones que maximizan el empleo de los sueros de leche y los concentrados proteicos de soya, alimentos que, en nuestro país, deben importarse a precios aún elevados. Esto implica la necesidad de evaluar formulaciones de RL con alimentos alternativos, así como ajustar los sistemas de crianza del ternero, de manera que se haga coincidir las características nutritivas de estos RL, con las posibilidades enzimáticas de los terneros para su utilización.

Dentro de las alternativas que tenemos en nuestro país, se encuentra la levadura torula (*Torulopsis utilis*), alimento de constitución pulverulenta, lo que hace un producto factible para ser incluido en los RL. Además, no presenta factores antinutricionales y un aceptable balance de aminoácidos para el ternero y se conoce que su coeficiente de utilización digestiva es de 87 % aproximadamente, (Troccon y Toullec, 1989).

Según estudios realizados por Thivend, (1978), se comprobó que la secreción de jugo pancreático en el ternero, principal vehículo de las enzimas encargadas de la digestión de los nutrientes no lácteos, se incrementa gradualmente desde el nacimiento. Esto indica que el empleo de RL en base a alimentos no lácteos, está restringido a una determinada edad del ternero, que depende de su disponibilidad enzimática.

Así, nos propusimos como objetivo evaluar un sistema de alimentación de terneros, con el uso de un RL, elaborado con levadura torula como única fuente proteica, y su efecto en el comportamiento los costos de alimentación del ternero.

Materiales y Métodos

Tratamientos y Diseños: Se utilizaron 20 terneros mestizos Holstein x Cebú de ambos sexos, de 11 días de nacidos, de 35.4 Kg de PV promedio, que recibieron calostro o calostro más leche de transición de 0 a 10 días en las vaquerías (tabla I). Los terneros se distribuyeron según un diseño completamente aleatorizado, con 10 repeticiones por tratamiento, donde se comparó el uso de leche o RL, según los siguientes tratamientos: **Leche:** 400 litros de leche fresca y **RL:** 135 litros de leche fresca + 36 Kg de RL.

Procedimiento: Los Terneros se colocaron en cunas individuales de piso ranurado, donde permanecieron durante todo el período experimental. El suministro de alimentos se realizó según aparece en la tabla I. El alimento lácteo se ofreció en 2 tomas 8:30 AM y 3:00 PM de 11 a 30 días de edad y en 1 toma, 3:00 PM, de 31 a 90 días, fecha en que se destetaron los terneros. Durante todo el período experimental se ofreció agua y alimento sólido en forma de dieta integral (DI) con 20 % de harina de caña a voluntad, como única dieta sólida. En la tabla II aparece la composición nutritiva de los alimentos lácteos ofrecidos y de la DI utilizados. Las actividades de manejo (alimentación, pesaje de alimento, limpieza, etc.) se realizaron de 8:00 a 9:00 a.m. En el resto del día no se realizó actividad alguna para no interferir en la evaluación de la conducta.

Medidas: Los terneros se pesaron diariamente, en el horario de la mañana, al inicio del experimento y a los 11, 30, 60, 90 y 120 días de edad. Diariamente se determinó el consumo de pienso, con una balanza electrónica "Sartorius", con capacidad para 5 Kg ± 20g, mediante el pesaje de la oferta y el rechazo. También se determinó el consumo de leche, RL y agua, mediante una regla graduada. Además, se controló diariamente el estado de salud de todos los terneros.

Tabla I. – Distribución de la alimentación líquida (leche y RL), según los tratamientos utilizados durante el período experimental.

Edad de los terneros (días)	**Alimentación**	
	Leche	**RL**
10 – 21	5 l de leche	5 l de leche + 200 g RL
21 –30	5 l de leche	400 g de RL + 2 l de agua caliente + 2 l de leche
31 – 90	5 l de leche	500 g de RL + 2 l de agua caliente + 1 l de leche
10 – 120	Agua y dieta integral a voluntad	

Tabla II. – Composición nutritiva de los alimentos utilizados.

Componentes	**RL**	**DI**	**Leche fresca**
MS, %	91,50	88,64	12,44
PB, %	24,36	15,80	3,3
Energía, MJ/kg MS	13,19	10,33	21,16
FB, %	2,56	9,4	-
Ca, %	0,89	0,78	0,92
P, %	1,03	1,21	0,82
Grasa, %	6,75	0,93	3,9
Lactosa, %	-	-	4,6
Glusidos, %	45,32	42,73	4,9

RL: Reemplazante lechero, **DI:** Dieta integral

Análisis bromatológicos: Los valores de materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), Ca y P de los RL y de la dieta integral se determinaron según AOAC (1995) y la EM se calculó según García Trujillo y Pedroso (1989).

Consideraciones económicas: Se realizó un análisis de la relación entre los costos de alimentación de los terneros y las ganancias de peso para, determinar el costo de los alimentos/ternero, el costo por kg de incremento de peso vivo, costo total del alimento lácteo ofrecido y el costo del incremento de peso vivo por kg de reemplazante lechero. Para ello se utilizó el costo de los alimentos consumidos por ternero en cada uno de los tratamientos y el incremento de peso de cada uno de ellos. Para el cálculo, se asumió que el precio de la leche descremada en polvo adquirida en el mercado internacional fue de $3500.00 USD (MINAGRI) y de $0.35 USD, el costo de un litro de leche fluida (MINAGRI), reconstituido en la industria a partir de esta leche en polvo importada. El precio de compara de los piensos se tomó según las facturas de compra archivadas en el Instituto de Ciencia animal. El costo del RL se calculó en base a sus constituyentes, que ofreció un valor de $490.00 USD/t

Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT (Robledo *et al*. 2001). Los datos de diarreas se trasformaron según $\sqrt{x}$.

Resultados y discusión

Con las cantidades de alimento sólido (RL) y líquidos (leche fresca y/o agua) mezclados, se logran niveles de reconstitución de 13,97 % y 12,93 % para las etapas de 21 a 30 y 31 a 60 días, respectivamente. En la alimentación de terneros con el uso de RL, es frecuente utilizar similares, e incluso mayores concentraciones de sólidos en el producto final, como los obtenidos aquí (Terré *et al*, 2007), fundamentalmente, en terneros Veal para garantizar el consumo de la cantidad necesaria de MS que requieren diariamente para las altas ganancias que logran (Lalles *et al*, 1995). No obstante, los altos niveles de reconstitución, tiene menor efecto en el presente experimento, debido a que cuando se alimenta terneros Veal, se utilizan elevadas cantidades de RL (entre 1 y 2 Kg de MS de RL por día), muy superiores que los utilizados en el sistema de alimentación que se evalúa, donde se ofrece, aproximadamente, 600 g de MS/animal/día.

En los casos donde se utilizan altas proporciones de reconstitución del RL, esta se acompaña de un proceso de adaptación previo al consumo de estos alimentos y, tal como se utilizó en el presente experimento, en el período de 11 a 20 días de edad, con la inclusión de 100 g de RL, en la leche fresca. Además, esto pudo contribuir con el proceso de adaptación del ternero al nuevo alimento, que pudo influir en la buena aceptación del RL y la velocidad de consumo obtenidos (tabla III).

Por otro lado, se conoce que el mayor estímulo para el consumo de alimentos lácteos, es la presencia de lactosa (Passille y Jeffrey, 2006). Entonces, se puede plantear, que el modo de suministrar el RL, responde a las necesidades fisiológicas para la adaptación del ternero al nuevo alimento, teniendo en cuenta que, en la preparación diaria del RL se agrega leche fresca. Así, se pudo comprobar que en el período de 31 a 90 días de edad, ya los terneros adaptados al nuevo sabor del RL, mantuvieron su apetencia por el producto (tabla III), sin diferencias en el tiempo de consumo durante todo el período experimental. Similar tiempo de consumo se encontró en terneros Holstein alimentados con leche en cubos (Anon, 2002)

Según el esquema de alimentación utilizado, se ofrecen dos litros de leche fresca de 21 a 30 días y un litro de 30 a 90 días, lo que pudiera contribuir con la mayor consistencia al cuajo y retardar el flujo de la ingesta hacia el intestino y mejorar la utilización digestiva de sus componentes. Sin embargo, hoy en día, gran parte de los RL que se elaboran no coagulan, o tienen escasa coagulación ya que no tienen o presentan poca

caseína, que es la única proteína que tiene la capacidad de coagular en presencia de medo ácido y pepsina en el estómago del ternero (Roy, 1980).

Al respecto, resultados recientes indican que después de las tres semanas de edad, pueden crecer comparablemente igual, los terneros que consumen leche o RL con características coagulables o no (Constable *et al*., 2005 y Gregory, 2003). Así mismo, se comprobó que, alrededor del 30 % de los terneros de cualquier rebaño, no tienen capacidad para formar el cuajo, aún cuando se alimentan con leche o RL en base a caseínas, así como que hay terneros que durante los primeros días de su vida tiene la capacidad de formar el cuajo y, pasado uso días, pierden esta capacidad. Igualmente, se demostró que la no formación del cuajo en terneros prerumiantes, no tuvo efectos deletéreos en el aspecto físico, apetito, vitalidad y en la variación de los parámetros sanguíneos, como las concentraciones de triglicéridos del suero, urea, y la de glucosa (Miyazaki *et al*. 2010).

Lo anterior indica que, aunque el RL que se ofrece no presenta características coagulables, este es un aspecto que, a la luz del conocimiento actual, pierde importancia en este tipo de alimentos, lo que abre un camino para su desarrollo en nuestro país.

Tabla III.- Tiempo de consumo (min/litro) de alimento lácteo, en terneros criados en sistemas de alimentación con leche entera **(leche**), o con RL elaborado con alimentos no lácteos (**RL**)

Edad en días	**Período de edad**	**Tiempo en minutos**		**ES ±**
		Tratamientos [1]		
		Leche	**RL**	
Litros/toma [2]	10- 20	2,5	2,5	-
	21 –30	2,5	2	-
	31 – 90	5	3	-
Tiempo de consumo (min/litro)	10- 20	1,80	2,08	0,127
	21 –30	0,48	0,80	0,138
	31 – 90	0,19	0,34	0,056

[1] **Leche:** 400 litros de leche fresca y **RL:** 135 litros de leche fresca + 36 Kg de RL.
[2] Litros de leche consumido/ternero, según el esquema de alimentación descrito en la tabla I.

En la tabla IV se observan los resultados de peso vivo y ganancia. Fue mayor ($P<0.01$), el peso vivo a los 30, 60 y 120 días y ($P<0.05$) en el peso a los 90 días, en el tratamiento con leche, que se correspondió con las diferencias obtenidas en las ganancias de peso, durante todo el período experimental. Se conoce que los terneros al nacimiento presentan escasa secreción de enzimas proteolítcas y amilolíticas (Toullec *et al*. 1975; Nitzan *et al*. 1990, Sayalero y Pérez, 1996), pero se incrementan constantemente durante las primeras semanas de edad (Thivend, 1978). De acuerdo a esta información se consideró que, a partir de los 14 y 21 días de edad, los terneros podrían ser capaces de utilizar eficientemente las cantidades de alimentos no lácteos presentes en el RL (proteína unicelular de levadura torula, y los almidones de yuca y maíz) pero, al parecer, en estas edades, momento en que se ofrecen 200 y 400 g/a/d del RL, respectivamente, aún no contaban con la capacidad enzimática necesaria para una eficiente utilización de estos productos.

Sin embargo, a partir de los 30 días de edad, parece ser que el ternero dispone de los recursos enzimáticos necesarios para utilizar eficientemente los alimentos no lácteos ofrecidos en el RL, en sustitución de la leche fresca, (Toullec *et al.* 1975), constatándose una recuperación de las ganancias de peso, aunque nunca llegaron a ser superiores a las del tratamiento don leche A. Esto pudiera implicar dos posibles cambios en estos sistemas de alimentación, donde se utilicen este tipo de RL, uno podría ser, ofrecer menores cantidades de RL antes del mes de edad, o iniciar su oferta a partir de los 30 días de edad.

Posterior a los 60 días de edad, aunque la ganancias de peso vivo siguen siendo menores en el tratamiento RL, comparado con el que se ofrece leche, se puede observar una recuperación de este indicador en los terneros del tratamiento con RL, que llegan a superar los 500 g/a/d. Esto se corresponde con el incremento del consumo de concentrados y la importancia que adquiere este alimento, en relación a la proporción de nutrientes diarios que consume el ternero. En sistemas intensivos de alimentación de terneros con RL de elevado contenido de PB, ofrecido a elevados niveles de reconstitución, provoca reducción en el consumo de concentrados, aspecto que se relaciona con el volumen y cantidad de nutrientes ofrecido en el RL (Coules *et al*, 2006). Sin embargo, en el presente experimento, se ofrecen cantidades limitadas de RL (hasta 600 g/ternero/día), lo que estimula el consumo de concentrado y la posibilidad incrementar las ganancias de peso, a partir del empleo de un alimento más barato que la leche o el RL.

Hubo un incremento (P<0.01), en la incidencia de diarreas entre tratamientos (tabla IV), con 0.51 y 2.41 casos/ternero durante todo el período, para el tratamiento con Leche y RL, respectivamente. Sin embargo, se pudo apreciar que, el mayor número de casos registrados, ocurrió en el período de 10 a 30 días. Esto coincide con el período en que menor capacidad enzimática presenta el ternero, para la digestión de estos RL, tal como se comentó anteriormente. La mayor incidencia de diarreas en el tratamiento con RL, puede relacionarse con la menor ganancia de peso obtenida en este período y los pesos vivos durante el período experimental. Nitsan, *et al*. (1990), observó similar comportamiento al utilizar reemplazantes lecheros con almidón crudo o tratado con calor, en RL convencionales para cabritos, con la incorporación de una fuente proteica no láctea de muy baja coagulación abomasal, tal como la empleada en este trabajo. Todo esto indica que el suministro de este tipo de RL para terneros pudiera afectar el comportamiento animal, pero pudiera evitarse sus efectos estos negativos, si se ofrecen dentro del un esquema de alimentación, que responda a las exigencias nutricionales y fisiológicas del ternero.

Tabla IV.- Peso vivo (Kg) y ganancia (g/a/día), de terneros criados en sistemas de alimentación con leche entera (**leche**), o con RL elaborado con alimentos no lácteos (**RL**).

No. de animales y períodos	**Tratamientos** [1]		**ES ±**
	Leche	**RL**	
No. de animales	10	10	-
Peso vivo (Kg)			
Inicio (11 ddías), Kg	35,85	35,67	0,40
30 días, Kg	44,61	41,3	0,50 **
60 días, Kg	61,92	55,3	1,22 **
90 días, Kg	81,32	72,2	2,30 *
120 días, Kg	101,35	89,85	1,80 **
Ganancias (g/ternero/d)			
11 – 30 días, g/días	438	282	12 **
31 – 60 días, g/días	577	467	19 *
61 – 90 días, g/días	647	563	11 *
91 – 120 días, g/días	688	588	16 *
11 – 120 días, g/días	601	493	17 *
Diarreas inicio – 90 días (casos/ternero)	0,83 [1] (0,51)	2,66 (2,41)	0.15 **

[1] **Leche:** 400 litros de leche fresca y **RL:** 135 litros de leche fresca + 36 Kg de RL.

Difieren * p<0.05 y ** p<0.01, (Duncan, 1955), [1] Datos transformados según la √x y entre paréntesis las medias originales

El consumo de dieta integral (DI) y agua de los terneros aparece en la tabla V. No hubo diferencias en el consumo de DI en el período de 10 a 30 días de edad, sin embargo, fue menor, ($P<0.05$), el en el tratamiento de RL durante el resto del período experimental. El empleo de altos volúmenes de leche, es uno de los factores que más deprime el consumo de alimentos sólidos en el ternero lactante, lo que pudiera reflejarse en mayor estrés de estos animales al destete, con reducción de las ganancias (Luchini *et al*. 1995, Kuehn *et al*. 1994 y Fontes *et al*. 2006). Sin embargo, los resultados del presente experimento no coinciden con estos resultados, al ser mayor el consumo de DI en los terneros que consumen leche.

Lo anterior se puede relacionar, con la mayor incidencia de diarreas en los terneros que consumen RL y el empeoramiento de su estado de salud general, que pudo deprimir el consumo de alimentos sólidos. Así mismo, los pesos vivos mayores de los terneros que consumen leche, con mayores requerimientos nutricionales, pudo influir en mantenimiento de las mayores tasas de consumo de pienso, al permanecer las ofertas constantes del alimento lácteo.

El menor consumo de alimento sólido estará relacionado con el menor desarrollo y la capacidad ruminal de los terneros al destete (Fontes *et al*. 2006). Esta condición les permitirá una mejor eficiencia en la degradación y absorción de nutrientes, posterior al destete, y se verá reflejado en mayores ganancias de peso vivo. Similar comportamiento se observó en el presente experimento, donde los terneros que consumen RL, mantienen también, menores ganancias de peso vivo en esta etapa.

El consumo de agua difirió $P < 0.05$, en el período de 90 a 120 días, con mayor consumo en el tratamiento que se utiliza leche fresca. Según resultados comentados por Quigley, (2001), el mayor consumo de agua en este tratamiento, se corresponde con el mayor consumo de alimentos sólidos de los terneros de este tratamiento. Igualmente la escasez o restricción del consumo de agua, puede provocar reducción en el consumo de concentrados, las ganancias de peso y el incremento de los trastornos digestivos, (Kertz, *et al*. 1984).

Tabla V. - Consumo de DI (Kg/día) y agua (l/día), de terneros criados en sistemas de alimentación con leche entera (**leche**), o con RL elaborado con alimentos no lácteos (**RL**).

Alimento	**Tratamientos** [1]		**ES ±**
	Leche	**RL**	
Dieta Integral (Kg/día)			
11 – 30 días	0,16	0,13	0,03
31 – 60 días	0,59	0,52	0,02 *
61 – 90 días	1,72	1,29	0,08 *
91 – 120 días	3,72	3,10	0,07 *
11 – 120 días	182,15	148,6	1,32 *
Agua (l/día)			
11 – 30 días	1,27	1,32	0,43
31 – 60 días	3,86	3,2	0,58
61 – 90 días	5,78	4,16	0,75
91 – 120 días	11,42	8,42	0,96 *

[1] **Leche:** 400 litros de leche fresca y **RL:** 135 litros de leche fresca + 36 Kg de RL.

* Difieren significativamente $P < 0.05$ (Duncan 1955)

Hubo mayor consumo de MS en los terneros que consumen leche, (P<0.05), en las etapas de 61 a 90 y 91 a 120 días de edad (tabla VI), debido, fundamentalmente, al mayor consumo de dieta integral en los terneros de este tratamiento, (ver tabla IV). También fue mejor (P<0.01) la conversión de esa MS en los terneros de de este tratamiento en las etapas de 11 a 30, y (P<0.05), en las etapas de 31 a 60 y 11 a 120 días de edad. Estos podría explicarse por la mayor digestibilidad de los componentes de la leche, comparado con los alimentos no lácteos que componen los RL, (Troccon y Toullec, 1989; Mir *et al*. 1991 y Lalles *et al*. 1995), que empeora eficiencia alimenticia en los terneros del tratamiento con RL, durante las primeras etapas de vida, que luego influyen negativamente, en los valores hallados para todo el período experimental (11 a 120 días). No obstante, los resultados pueden considerarse aceptables y comparables con los obtenidos por Plaza y Fernández (1994) utilizando RL en base a sueros de leche concentrados.

Los resultados indican que, en la medida que crece e incrementan sus requerimientos, también aumenta el consumo de alimento sólido en su ración diaria. Así, alrededor del 64 % del total de MS consumida en el período de 31 a 60 días, proviene del consumo del concentrado en ambos tratamientos y, en el período 61 a 90, asciende 79 y 76 % para el tratamiento con leche y RL, respectivamente. Esto es importante para cualquier sistema de crianza del ternero, pues se hace mayor uso de los alimentos sólido, de menor precio que los reemplazantes lecheros (Anon, 2002), lo que implica que los costos totales por ternero se reduzcan (tabla VI).

En el sistema de alimentación de terneros con RL que se utiliza en este experimento, se utilizan dos alimentos provenientes de la industria azucarera, la levadura torula que forma parte del RL y la harina de caña de la DI. Si se hacen los cálculos correspondientes al consumo de MS de los terneros durante todo el período experimental, se puede observar que, aproximadamente, el 25 % de la alimentación de los terneros proviene de alimentos que se obtienen en esta importante industria del país. Esto deja claro el potencial de los sistemas de producción de alimentos en base a la industria azucarera. Este porcentaje adquiere más valor, si se tiene en cuenta que el ternero es un animal en período de transición a rumiante, por lo que los alimentos que se utilicen tiene las características de un alimento para monogástricos y, no menos importante, es que con un alimento de la industria azucarera, se permita sustituir leche, un alimento de elevado valor biológico para el consumo humano.

Tabla VI.- Consumo (Kg/día) y conversión de la MS (Kg MS/Kg ganancia), de terneros criados en sistemas de alimentación con leche entera (**leche**), o con RL elaborado con alimentos no lácteos (**RL**).

Medidas	**Tratamientos** [1]		**ES ±**
	Leche	**RL**	
Consumo MS (Kg/día)			
11 – 30 días	0,764	0,750	0,151
31 – 60 días	1,145	1,043	0,064
61 – 90 días	2,147	1,726	0,095 *
91-120 días	3,297	2,748	0,192 *
Período total 11 – 120 días	2,353	1.785	0,320
Conversión de la MS (Kg MS/Kg ganancia)			
11 – 30 días	1,744	2,663	0,251**
31 – 60 días	1,984	2,236	0,079 *
61 – 90 días	3,319	3,064	0,183
91-120 días	4,795	4,671	0,239
Período total 11 – 120 días	3,339	3,597	0,068 *

[1]**Leche:** 400 litros de leche fresca y **RL:** 135 litros de leche fresca + 36 Kg de RL. Difieren significativamente * P < 0.05 y ** P < 0.01 (Duncan 1955)

Se realizó un análisis de los costos de alimentación para un ternero, cuyos datos se muestran en la tabla VII. Se pudo observar que, a pesar de utilizar leche, alimentos de elevada utilización digestiva por el ternero (Saucedo *et al*. 2005), los indicadores económicos alcanzados en el tratamiento con RL son mejores, debido la utilización de un alimento mucho más barato en comparación con la leche fresca. Así, con el empleo de 36 Kg de RL de producción nacional con levadura torula como única fuente proteica y 130 litros de leche, permite liberar para el consumo humano 270 litros de leche fresca por ternero, lo que conduce al ahorro de $85.4 USD/ternero, por reducción del costo del alimento lácteo y $0.756 USD/Kg de incremento de PV. Todo esto, sumado a la eficiencia con que los terneros que consumen RL, logran convertir los alimentos en peso vivo, permite reducir el costo total de alimentos en $ 75.52 USD por ternero.

El costo del litro de leche sustituido con el empleo del RL en estudio fue de $0.215 USD/litro de RL que se ofrece. Si se calcula el costo del litro de leche reconstituido a partir de la leche en polvo de importación ($0.35 USD/litro), a partir de los precios actuales de la leche en polvo que es de $3500.0 USD/t, aproximadamente (Piñate, 2010), y se determina la diferencia respecto al litro de leche sustituido, por el uso del RL en evaluación, se obtiene un valor $0.135 USD. Este valor representa las ganancias que se obtienen por cada litro de leche fresca que se le retira al ternero y se la oferta de un litro de RL reconstituido (125 g/l). Valores cercanos a estos obtuvo Marisol Barbosa, (2010), al emplear reemplazantes lecheros de importación, en la alimentación de terneros en las condiciones de Cuba, lo que pudiera indicar, que esta tecnología puede llegar a ser una buena opción para las condiciones de producción en nuestro país.

Tabla VII. – Indicadores económicos de la crianza del ternero con el uso de leche fresca (**leche**), en comparación con RL elaborado con alimentos no lácteos (**RL**)

Indicadores	**Tratamientos** [1]		**Diferen-cias**
	Leche	**RL**	
Consumo Leche entera, litros	400	130	--
Costo de la leche consumida, USD/ternero	140	54,6	85,4
Consumo RL, Kg	--	36	--
Costo del RL consumido, USD/ternero	--	17,64	--
Leche sustituida, litros/ternero	--	270	--
Costo de la leche sustituida, USD/ternero	--	94,5	--
Ganancia de peso promedio en toda la crianza, Kg	65,5	54,18	11,32
Costo total de alimentos, USD/ternero	200,11	124,58	75,52
Costo/Kg de incremento de peso, USD/Kg	3,055	2,299	0,756
Costo total del alimento lácteo ofrecido, USD/ternero	140,0	72,24	67,76
Costo del incremento de peso por alimento lácteo ofrecido, Kg PV/Kg de alimento	2,137	1,333	0,804
Costo del litro de leche sustituido, USD/litro	--	0,215	--
Costo del litro de leche elaborado con leche en polvo importada	0,350		--
Ahorro por litro de leche sustituido, USD/litro sustituido	--	0,135	--

[1] **Leche:** 400 litros de leche fresca y **RL:** 135 litros de leche fresca + 36 Kg de RL.

Conclusiones

En conclusión, se puede plantear que el sistema de alimentación de terneros utilizado en el presente experimento, con el empleo del RL en evaluación, presenta ciertas limitaciones para su uso eficiente, sobre todo en las primeras 2 a 4 semanas de vida del ternero cuando, no se encuentra fisiológicamente preparado para la digestión eficiente de sus componentes. No obstante, se obtienen ganancias promedio durante todo el período experimental de 493 g/ternero/día y se obtienen resultados económicos favorables, por lo que

constituye una variante aceptable para su aplicación en la práctica productiva. No obstante, se recomienda continuar trabajos que permitan mejorar la calidad del RL, así como la adecuación de los sistemas de alimentación de los terneros, para su utilización. Esto permitiría mejorar el comportamiento de los terneros y sustituir mayor cantidad de leche fresca, ya que los terneros aún consumen 150 litros de leche con alto valor económico e importancia social. Se debe plantear, que en estos sistemas de crianza de terneros, con el uso de RL no convencionales, con bajos niveles de productos lácteos, debe prestársele especial atención a la calidad del alimento sólido acompañante, pues los dos, en conjunto, garantizan el buen desempeño de los animales.

Referencias bibliográficas

- Anon. (2002), Disponible en: http://www.fveter.unr.edu.ar/Objetos/tpIII.pdf. (Consulta: 30 de abrol, 2010)
- AOAC. (1995), Ass Off. Anal. Chem. Washington. DC.
- Barbosa, M. (2010), Tesis en opción al grado de Magister Scientia. Opción Rumiantes. Universidad "Hermanos Saiz Montes de Oca"- Instituto de Ciencia Animal. 61p. material impreso.
- Constable, P; Ahmed, A; Misk, N. (2005), Journal of Veterinary Internal Medicine 19: 97–102.
- De Passille, A; Jefrey, R. (2006), Applied Animal Behaviour Science. 101:243–252
- Cowles, K; White, R; Whithouse, N; Erockson, P. (2006), J. Dairy Sci. 88:585-594
- Duncan, D. (1955), Biometrics. 11:1.
- Fontes, F; Coelho, S; Lana, A; Costa, T; Carvalho, A; Ferreira, M; Saturnino, H; Reis, R; Serrano, A. (2006), Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 58:2.
- García Trujillo, R; Pedroso, D. (1989), Ed. EDICA. Instituto de Ciencia Animal. La habana. Cuba.
- Gregory, N. (2003), Australian Veterinary Journal 81, 549–552.
- Kertz, A; Reutzel, L; Mahoney, J. (1984), J. Dairy Sci. 67:2964-2969.
- Kuehn, C; Otterby, D; Linn, J; Olson, W; Chester-Jones, H; Marx, G; Barmore, J. (1994), J. Dairy Sci. 77:2621-2629.
- Lalles, J; Toullec, R; Branco Pardal, P. (1995), J. Dairy Sci. 78:194.
- Luchini, N ; Lanes, F ; Combs, D. (1995), J. Dairy Sci. 74:3949.
- Mathieu, C ; Barre, P. (1968), Ann. Biol. anim, Bioch. Biophys. 8:501.
- Mir, P; Burton, J; Buchanan-Smith, J. (1991), Can. J. Anim. Sci. 71:97
- Miyazaki, T; Miyazaki, M; Yasuda, J; Okada, K. (2010), The Veterinary Journal. 183: 205–209.
- Nitsan, Z; Golan. M; Nir, I. (1990), Small Ruminant Research. 3:325.
- Plaza, J; Fernández, E. (1994), Rev. Cubana Cienc. Agric. 28:51.
- Quigley, J. (2001), Calf notes. Disponible en: http://www.calfnotes. (Consulta: 1 de mayo de 2001).
- Robledo, C; Di Rienzo, J; Guzmán, W; Mónica, G; Balzarini, F; Laura A; Tablada, E. (2001), InfosTat. Software estadístico. Versión 1. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Saucedo, Q; Avendaño, R; Alvarez, V; Rentería, E; Moreno, R; Medina, B; Montaño, G; Gallegos, H. (2005), Disponible en: http://ammveb.net/XXVIII%20CNB/memorias/socioeconomicas/soc03.doc. (Consulta: 30 de abril de 2010)
- Sayalero, P; Pérez, P. (1996), Dispoible en: http://www.etsia.upm.es/Fedna/capitulos/96capituloIV.pdf (Consulta: 1 de Mayo de 2010)
- Terré, M ; Devant, M ; Bach, A. (2007), Livestock Science 110:82–88
- Thivend, P. (1978), Bull. Tech. Supp. Pp. 55
- Troccon, J; Toullec, R. (1989). INRA Prod. Anim. 2:117.

EFECTO DE LA HARINA DE CAÑA PROTEICA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL HUEVO DE GALLINAS PONEDORAS.

EFFECT OF THE PROTEIC MEAL OF SUGAR CANE IN THE PRODUCTION AND QUALITY OF THE EGG OF LAYING HENS.

Yordan Martínez Aguilar[1], Román Rodríguez Bertot[1], Mario Cisneros López[1], Antonio Labrada Santos[1], Manuel Valdivié Navarro[2].

[1]Universidad de Granma, Aptado Postal 21. Bayamo, Granma. C.P 85300. ymartíneza@udg.co.cu
[2]Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de Las Lajas, La Habana.

Resumen

Se evaluó el efecto de altos por cientos de harina de caña proteica (HCP) en la producción y calidad de los huevos de gallinas ponedoras comerciales (White Leghorn Híbrido L-33) en condiciones de producción. Se emplearon tres grupos experimentales (66 gallinas cada uno), que recibieron diferentes dietas variando el por ciento de inclusión de harina de caña proteica (0, 20 y 47.36 %). Se determinó la producción de huevo, peso inicial y final de las gallinas, peso del huevo, resistencia a la rotura, altura de la clara densa, durante 20 semanas, a partir de la semana 29. Los resultados mostraron que la dieta de 20 % harina de caña proteica tuvo un efecto significativamente positivo en la producción de huevo y en la altura de la clara densa con respecto al control, se alcanzó índices de puesta de 76, 81, 80 y 81 % en las semanas 29, 36, 42 y 49, respectivamente. Además, los altos niveles de inclusión de este alimento no afectaron el peso de las gallinas y contribuyeron a mejorar la calidad de los huevos. La inclusión de 20 % de harina de caña proteica no deprime el peso final de las gallinas y la producción y calidad del huevo comercial.

Palabras clave: caña, azúcar, pescado, gallinas, huevo

Abstract

The effect of high percents proteic meal of sugar cane in the diet of commercial egg-laying hens (White Hybrid Leghorn $_{L-33}$) under production conditions were evaluated for the production and quality of the eggs. Three experimental groups (66 hens each one) were tested. They received different diets (0, 20 and 47.36 percent) varying the percent of proteic meal of sugar. Different criteria were determined: the amount of eggs produced, initial and final weight of the hens, eggs resistance to break, height of the dense egg-white and color of the yolk during 20 weeks starting from the 29th week. The results showed that the diet of 20% of had a significantly positive effect in the production of eggs and in the height of the dense egg- white and color of the yolk compared to the control. Indexes of lays of 76, 81, 80 and 81 percent in the weeks 29, 36, 42 and 49 were reached respectively. Also, the high levels of inclusion of this feed did not affect the weight of the hens and they contributed to improve the quality of the eggs. The inclusion of 20% proteic meal of sugar cane does not depress the final weight of the hens and egg quality production and trade.

Key words: sugar, cane, fish, laying, egg

INTRODUCCIÓN

En Cuba se buscan alternativas para dar solución al déficit de alimentos convencionales, importante no sólo para la producción total, sino también la calidad de los huevos y la carne. En este sentido se realizan importantes investigaciones en el campo de la alimentación avícola, incluyendo alimentos no convencionales como por ejemplo, la caña de azúcar y sus subproductos (Valdivié, 2003).

En el caso específico de las aves, la caña de azúcar tiene gran importancia y prioridad, ya que mediante tratamientos se convierte en alimentos alternativos de gran valor, lo que se revierte en la producción de carne y huevo con materias primas autóctonas. De esta forma se buscan soluciones para satisfacer la demanda creciente de la población. Cisneros et al. (1999); Rodríguez et al. (2005) y Rodríguez (2007), propusieron la harina de caña proteica como una alternativa atractiva en las dietas balanceadas para aves.

La harina de caña proteica según Cisneros et al. (1999) es un alimento que se obtiene a partir de la combinación de harina de caña de azúcar con ensilaje de pescado en una proporción tal que permite alcanzar niveles de proteína entre 18 y 22 % y fibra bruta por debajo de 15 %, lo cual la convierte en un alimento con perspectivas si se tiene en cuenta que las materias primas que la componen son de origen nacional.

Además, en Cuba existe un alto potencial de subproductos de la pesca, que bajo procesos preparatorios de bajo costo, se pueden convertir en fuente principal de proteínas para la alimentación de los cerdos y las aves (Vyraphet, 1997; Cisneros *et al*. 2005).

Es indudable que la avicultura, dentro de las actividades pecuarias, representa uno de los sistemas más rápidos en la producción de alimentos de alta calidad (huevos y carne) para el consumo humano, es por ello que dado el alto precio de las materias primas convencionales y la baja solvencia económica de los países en vías en desarrollo merece continuar desarrollando investigaciones para perfeccionar los sistemas de alimentación donde se utilicen alimentos no convencionales. El objetivo del trabajo es evaluar el efecto niveles de inclusión de harina de caña proteica en la producción y calidad de los huevos en gallinas ponedoras comerciales (White Leghorn Híbrido L-33) en condiciones de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Unidad experimental

La investigación se desarrolló en la Unidad Experimental Avícola del Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba. La humedad relativa media fue de 77.5 %, la temperatura mínima promedio de 16.8 ^{0}C y la temperatura máxima promedio de 27.7 ^{0}C.

Composición química de la harina de caña proteica

La materia seca (MS), cenizas (Cz), proteína bruta (PB), calcio y fósforo se determinaron según AOAC (2006) y la proteína verdadera (PV) según Bernstein et al. (1977).

La fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), celulosa (Cel) y lignina detergente ácido (LDA) se determinaron según Van Soest et al. (1991)

Diseño Experimental

Se empleó un diseño completamente aleatorio, se conformaron tres grupos experimentales de 66 gallinas de la raza Whithe Leghorn (Híbrido L-33), cada uno. Se establecieron 7 variables y 11 repeticiones. Las gallinas de 26 semanas de nacidas y sin síntomas aparentes de enfermedad, fueron seleccionadas al azar de un grupo de 3000 animales con edad y características raciales similares.

Variables medidas

- ✓ Peso inicial de las gallinas
- ✓ Producción de huevos
- ✓ Peso del huevo
- ✓ Índice de rotura de los huevos
- ✓ Grosor de la cáscara del huevo
- ✓ Altura de la clara densa del huevo
- ✓ Pesaje final de las gallinas

Procedimiento Experimental

Las 198 gallinas ponedoras seleccionadas se alojaron en jaulas metálicas diseñadas para este tipo de producción con tres animales por hueco. Todas las aves recibieron la misma cantidad de alimento de acuerdo al grupo experimental, el cual fue suministrado dos veces al día. Las dietas experimentales fueron formuladas según establece el NRC (1994), para esta categoría. La alimentación se restringió a 115 g/ave a partir de la semana 26, momento pico de la puesta de huevos por las gallinas. El período de adaptación duró dos semanas según Caballero (1982) y las mediciones se realizaron a partir de la semana 29.
El peso inicial de las gallinas se realizó individualmente a las 26 semanas, y el peso final, en la semana 49 en una balanza alemana y error de ± 1.5 g. Durante las semanas 29 y 49, por tres días consecutivos se pesaron los huevos, mediante balanza técnica digital de nacionalidad rusa y error de ± 0.1 g. Se midió también el grosor de la cáscara en ambos polos y lados laterales de los huevos con un tornillo micrométrico de fabricación rusa y una precisión de 0.01 mm, así como la resistencia a la rotura del huevo en las semanas 30 y 36, mediante una balanza Syro/2001 de procedencia suiza. También fue objeto de medición la altura de la clara densa con un calibrador de altura y una exactitud de 0.01 mm.
Los tratamientos consistieron en:

Primer Grupo: Las ponedoras se alimentaron con pienso a base de maíz y soya.
Segundo Grupo: Inclusión de 20 % de harina de caña proteica en la dieta.
Tercer Grupo: Se mezcló el pienso comercial con harina de caña proteica (47.36 % H.C.P) más 8 g de maíz molido.

En la Tabla I se describen las fórmulas de pienso utilizadas en cada tratamiento.

Tabla I. Formulación de los piensos (%).

Ingrediente	Control	Ingrediente	H.C.P. 20 %	Ingrediente	H.C.P. 47. 36 %
Maíz	63.17	Maíz	46.00	Pienso control	47.36
Harina de Soya	21.26	Harina de Soya	19.63	H.C.P.	47.36
Harina de Pescado	3.00	Aceite Vegetal	3.00	$CaCO_3$	4.63
Aceite Vegetal	1.00	H.C.P.	20.00	NaCl	0.15
Ca_2PO_4	1.33	Premezcla Vit.-min.	1.00	Premezcla vit.-min.	0.5
$CaCO_3$	8.82	NaCl	0.30		
DL-Metionina	0.17	$CaCO_3$	9.00		
NaCl	1.00	Ca_2PO_4	1.00		
Premezcla vit.-min.	0.25	DL-metionina	0.07		

La composición química estimada de los piensos y la H.C.P. se expone en la Tabla II:

Tabla II. Composición química de los piensos (%).

Tratamientos	MS	Cz	PB	PV	Ca	P	FDN	FDA	LDA	Cel
Control	92.65	16.7	18.97	17.36	0.45	0.16	11.22	4.7	1.05	3.5
20% H.C.P.	91.58	18.11	19.6	16.33	1.31	0.16	14.78	7.57	1.99	5.05
47.36% H.C.P	89.07	19.11	25.4	17.21	1.62	0.18	21	5.7	2.55	6.83
H.P.C	85.91	16.47	28.35	18.6	1.6	0.17	36.46	22.14	4.56	16.95

MS: materia seca; Cz: cenizas; PB: proteína bruta; PV: proteína verdadera; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente acida, Lig: lignina; Cel: celulosa.

Análisis estadísticos

Se empleó un diseño completamente aleatorizado, los datos se procesaron con un análisis de varianza ($P<0.05$) de clasificación doble con arreglo factorial para determinar el efecto de las dietas empleadas el período de medición y su interacción. La comparación múltiple de las medias de los tratamientos se realizó mediante la prueba de Duncan. Para probar la normalidad de los datos se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Barttlet para probar la homogeneidad de varianza entre tratamientos. El peso final de las gallinas se procesó con un análisis de varianza ($P<0.05$) para determinar el efecto de las dietas, tomando el peso final como variable. Todos los datos de análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico: "S*tatistica for Windows*", versión 6.0 (2006).

RESULTADOS

Al iniciar el experimento en la semana 26, después de distribuir las gallinas en los tres grupos de forma aleatoria y pasadas 24 horas de descanso, se procedió a determinar el peso vivo promedio de los animales en cada grupo, se observó diferencias significativas entre los grupos 1 y 2 con respecto al grupo 3 ($P<0.05$), con mayor peso este último (Tabla III).

Tabla III. Pesaje individual de gallinas al inicio del experimento.

Dietas	Peso inicial de las gallinas (g)	EE (±)	CV (%)
Control	1525.0^{b}	7.4	0.48
HCP 20 %	1537.1^{b}	8.9	0.57
HCP 47.13 %	1564.3^{a}	8.6	0.54

En las columnas, medias con letras distintas presentan diferencias significativas ($P<0.05$), según Duncan.

El peso promedio de cada uno de los grupos está en correspondencia con el establecido para la edad y la línea de gallinas utilizadas.

Al observar el Gráfico 1, se puede apreciar que los grupos 1 y 2 mantuvieron una producción estable durante todo el período experimental, el grupo 1 alcanzó índices de puesta de 76, 81, 80 y 81 %, mientras que para el grupo 2 fueron de 77, 81, 80 y 80 % en las semanas 29, 36, 42 y 49, respectivamente. En el caso del grupo 3, donde el consumo de HCP fue elevado, el descenso en la producción de huevos se notó rápidamente, donde los índices de puesta disminuyeron por debajo de 40 % a partir de la semana 36.

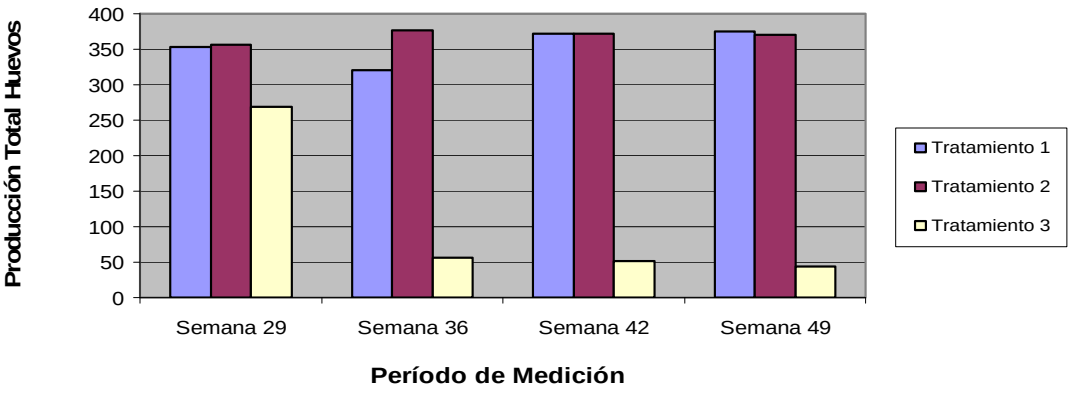


Gráfico 1: Producción Total de Huevos por Semanas de Medición.

En el pesaje de los huevos (Tabla IV), no se observó diferencias significativas entre los tratamientos en las semanas de medición (interacción-tratamiento con el período de muestreo).

Tabla IV. Pesaje de los huevos de gallinas ponedoras alimentadas con niveles de HCP por semanas de medición.

Indicadores	Control	HCP 20 %	HCP 47.13 %	EE (±)	CV (%)
Semana 32	54.72	56.72	53.91	0.66	6.61
Semana 34	60.74	59.94	58.34	0.89	7.82
Semana 36	57.03	58.15	57.66	1.35	12.8
Semana 38	63.95	63.27	62.40	1.36	7.47
Semana 40	58.20	63.10	60.10	0.90	8.17
Semana 45	62.90	64.10	60.50	0.92	8.06
Semana 47	60.90	63.70	60.90	0.81	7.24

El efecto conjunto de los tratamientos y los días de muestreo (interacción), para el inicio y final de la prueba, se observa en las Tablas V y VI. La altura de la clara densa para ambos casos mostró interacción entre los tratamientos y los periodos de muestreo.

Tabla V. Calidad del huevo de gallinas ponedoras alimentadas con HCP (29 semanas).

Tratamientos	Período de muestreo	Grosor de la cáscara	Altura de la clara densa
1	1	0.36	6.21^{c}
1	2	0.37	7.89^{a}
1	3	0.37	7.56^{a}
2	1	0.36	6.90^{b}
2	2	0.37	6.83^{b}
2	3	0.71	7.81^{a}
3	1	0.37	7.21^{ab}
3	2	0.36	7.77^{a}
3	3	0.38	7.88^{a}
EE (±)		0.03	0.05
CV (%)		27.75	26.8

Medias con letras distintas presentan diferencias significativas ($p<0.05$), según prueba Duncan.

Tabla VI. Calidad del huevo de gallinas ponedoras alimentadas con HCP (49 semanas).

Tratamiento	Período de muestreo	Grosor de la cáscara	Altura de la clara densa
1	1	0.40	7.8^{df}
1	2	0.41	7.63^{d}
1	3	0.42	9.34^{bc}
2	1	0.40	9.12^{bf}
2	2	0.40	8.38^{a}
2	3	0.42	10.23^{c}
3	1	0.38	9.07^{c}
3	2	0.37	9.06^{c}
3	3	0.48	9.02^{c}
EE (±)		0.001	0.06
CV (%)		7.5	17.00

Medias con letras distintas presentan diferencias significativas (P<0.05), según prueba de Duncan.

Con relación al peso final de las gallinas, en comparación con el peso inicial (Tabla VII), no se observó diferencias significativas.

Tabla VII. Comparación entre el peso inicial y final de las gallinas ponedoras en cada grupo.

Tratamientos	PV inicial (g)	PV final (g)	ES (±)	CV %
1	1525	1604	8.10	0.35
2	1537	1612	7.40	0.41
3	1564	1563	7.10	0.58

En la última semana del experimento se procedió a determinar el índice de rotura de los huevos que fue de 3,90; 3,59 y 2,95; para los tratamientos 1, 2 y 3, valores que son bajos y están acordes con los resultados expuestos en tablas VI y VII donde no existió diferencias significativas en la interacción para el grosor de la cáscara.

DISCUSIÓN

Según Grobas et al. (2006) se ha comprobado que niveles elevados de FB reducen la ingesta energética, lo que trae como consecuencia una disminución de la producción de huevos. Esta pudiera ser la explicación a los resultados que se exponen en la gráfica 1 ya que el alto nivel de inclusión de H.C.P. en las dietas incrementó el contenido de FB en la ración como refleja la Tabla II. Sin embargo, el componente más importante que puede haber influido son elementos que conforman la FB, ya que el tratamiento 3, al hacer un cálculo de consumo de energía se comprueba que es de 1.32 MJ de EM/ave/día inferior al 1.39 y 1.40 MJ EM para 1 y 2 tratamiento respectivamente. En el 3 tratamiento el alto por ciento de LAD y FDN que aporta la H.C.P. pudo influir como factor determinante en la baja producción de huevos. En tal sentido, Marrero (1998); Savón et al. (2007), Savón et al. (2009) expresaron que por los altos porcientos de FND de la caña de azúcar presenta un mayor contenido de esclerenquima, lo que supone que el tratamiento 3 con mayor nivel de inclusión de H.C.P. presenta una disminución de la energía y por consecuente una baja producción de huevos.

Sin embargo, en la tabla IV se pueden apreciar varios detalles interesantes, en primer lugar, en el experimento se confirma lo planteado por Martínez et al. (2012a) que a medida que aumenta la edad de las

gallinas ponedoras aumenta el peso del huevo. Summer y Leeson (1983); Zaviezo (2004) refieren que la composición corporal de las gallinas influye en el tamaño del huevo al inicio de la postura, asimismo, el efecto del tamaño corporal sobre el peso de los huevos continúa durante la postura, por lo tanto en este caso no se observa diferencias significativas entre el tiempo de postura y los tratamientos con relación al peso de los huevos, ya que las gallinas de los 2 primeros tratamientos aumentaron ligeramente el peso y el con el tratamiento 3 se mantuvieron estables, este precisamente es el segundo detalle a tener en cuenta, pues estos mismos autores plantean que existen diferentes factores que influyen en el peso del huevo como la edad de las gallinas, la genética, las condiciones ambientales, los medicamentos, el manejo y la alimentación siendo este último el factor más importante, especialmente debido a la influencia que tiene el contenido de PB de la dieta y la calidad de las mismas, por tanto en el tratamiento 3, aun cuando el nivel de FB es mayor que en los otros 2 tratamientos, las gallinas dispusieron de un nivel elevado de proteína de alta calidad aportada por el pescado, tal como se muestra en la tabla III, en la que se puede apreciar como elemento justificativo de la interacción el alto contenido de PV de este tratamiento (3). Según Grobas et al. (2001) y Zaviezo (2004) el adecuado suministro de proteína y aminoácidos es esencial para producir un buen tamaño de huevo, debido a que el 50 % de la porción sólida de un huevo está constituida por proteínas. Aunque se ha concluido que el factor nutricional más importante que determina el tamaño es el nivel de aminoácidos, la metionina tiene a su vez un efecto específico en el peso de los huevos más allá que el resto de los aminoácidos. Otro aminoácido esencial es la lisina que niveles bajos incide en el peso y producción de huevos.
Los investigadores están enfrascados en la reducción del peso del huevo al final de la postura sin afectar la producción, manipulando el suministró de aminoácidos en la dieta esencialmente la metionina (Martínez, 2009).

La producción de huevos en ocasiones se ve afectada por la mala calidad de los alimentos suministrados con déficit de nutrientes de calidad, esto trae consigo que se reduzca la producción de huevos. Según Faria *et al.* (2003) señala que se han empleado aminoácidos esenciales para maximizar la producción de huevos, como es el caso de la treonina, tritopfano, lisina, isoleusina y valina.
Según Martínez et al. (2012a) existe una importante variabilidad entre los datos que se han reportado sobre los factores que influyen sobre los componentes y composición química del huevo, lo que se destaca la mejora genética, la calidad y tipo de alimentación. También Grobas et al. (1996) relacionan estos como los dos factores más importantes a tener en cuenta, planteando además que en la actualidad dado los importantes excedentes de producción y la mayor renta de los consumidores de países desarrollados, es la calidad y no la cantidad el principal tema de interés, lo que implica una mayor importancia para los nutríologos de cuáles son las materias primas que puedan conllevar a la obtención de huevos con mayor calidad nutritiva para el consumo humano.

Los resultados que se exponen en las tablas V y VI acerca de la interacción significativa que se obtuvo en la altura de la clara densa en ambos momentos (29 y 49) reviste una importancia capital ya que debe tenerse en cuenta que más del 90 % de la materia seca de la clara está constituida por proteínas, por tanto, el incremento del porcentaje de la yema es sinónimo de huevos con un menor contenido de lípidos, calorías, y especialmente colesterol (Martínez et al. 2012b).
En las tablas antes mencionadas (V y VI) la altura de la clara densa favoreció al tratamiento 3, lo que indudablemente es una influencia de la característica de la dieta consumida, coincidiendo con lo planteado Whitehead (1995) y Rodríguez et al. (2005) quienes al revisar los factores que influyen en la composición del huevo indican que el nivel de proteína en el mismo aumenta ligeramente al aumentar la proteína de la dieta y que la cantidad de la clara depende del equilibrio en aminoácidos que aporta la proteína de la dieta, así una deficiencia en lisina y metionina reduce el peso de la clara. En el trabajo realizado por Penedo (1989) se demuestra el alto contenido en aminoácidos esenciales que presenta el ensilaje de pescado por lo que en el caso de H.C.P tal y como se refieren Cisneros et al. (2000), este elementos está garantizado, comprobándose en el presente trabajo la influencia positiva sobre la calidad de los huevos al incluir altos niveles H.C.P.

Como se plantea anteriormente los países con avicultura desarrollada han estado encaminados al trabajo hacia la búsqueda de mayor calidad nutritiva de los huevos, en tal sentido Martínez et al. (2012b) señala que los huevos que contienen altos niveles de Omega 3 han crecido en popularidad debido a sus atributos saludables. Son conocidos como importantes en la prevención de enfermedades cardiovasculares, proporcionando una buena salud a las mujeres embarazadas y sus hijos neonatales.

Los resultados del estudio del color de la yema de los huevos se pudo apreciar que se mantuvo un color estable de 5.25 y 5.75 en la escala de Roche, para la semana 29 y 49 respectivamente, este comportamiento concuerda con lo planteado por Beardworth et al. (2003) quienes explican que el color de la yema está muy relacionada a los pigmentos carotenoides, es decir, a los pigmentos naturales que aportan los alimentos consumidos.

CONCLUSIONES

La inclusión de 20 % harina de caña proteica en la dietas de gallinas ponedoras en pleno pico de puesta, no afectó la producción y calidad externa e interna de huevos en 20 semanas de experimentación. El nivel de inclusión 47. 13 % deprimió la producción de huevos y el peso final de las gallinas, no obstante se mantuvo estable la calidad externa e interna de los huevos.

REFERENCIAS

AOAC. (2006), Official Methods of Analysis of AOAC. 18th ed. Gaithersburg, MD, USA. Association of Official Analytical Chemists.

Bartlett, M. (1937), *Proc Royal Soc London.* 160, 268-273.

Bernstein, C; Koetzle, F; Williams, J; Meyer, F; Briceand, D; Rodgers, V. (1977), *Journal of Molecular Biology*. 112, 535-542.

Caballero, A. (1982), Folleto de Diseño Experimental. Instituto Nacional de Ciencia Agrícola, La Habana, Cuba, pp, 1-30.

Cisneros, M. (2005), Harina de Caña enriquecida con proteínas (HCP) para la alimentación animal. Informe final del Proyecto. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de Granma, Cuba, pp, 1-65.

Cisneros, M; Otero, M; Castillo. E; Miranda, O; González, E; Betancourt, M; Fonseca, J. (1999), Harina de caña de azúcar enriquecida con proteína para la ceba de pollos y peces. Proyecto. Programa Científico Técnico para la producción de proteína animal por vía biotecnológica y sostenible. Grupo Nutrición Animal, Cuba, pp, 1-28.

Faria, E; Harms, H; Antar, B; Russell, B. (2003), *J App Animal Res*. 23, 161-166.

Grobas, S; Mateos, G. (1996), Influencia de la Nutrición sobre la composición Nutricional del Huevo. XII Curso de Especialización FEDNA. España, pp, 1-25.

Grobas, S; Méndez, J; Lázaro, R; Blas, C; Mateos, G. (2001), *Poult Sci*. 80,1171-1178.

Martínez Y. **(**2009), Caracterización química de la Harina de Semilla de Calabaza y su empleo de la alimentación de gallinas ponedoras y pollos de ceba. (Tesis Doctoral). Cuba, Habana, pp, 1-112.

Martínez, Y; Córdova, J; Santana, A; Martínez, O; Valdivié, M; Betancur, H. (2012a), *Rev Mex Cienc Pecu*. 3, 65-75.

Martínez, Y; Valdivié, M; Solano, G; Estarrón, M; Martínez, O; Córdova, J. (2012b), *Cuban J Agricult Sci*. 46, 73-78.

Massey, F. J. (1951), *J Amer Statistical Asoc*. 46, 68-76.

National Research Council, (NRC), (1994), *Academy Press*. 6, 19-26.

Penedo, J; Cisneros, M; Rodríguez, J. A. (1989), *Rev Prod Animal*. 1, 17-22.

Rodríguez R. (2005), Valor nutritivo de la Harina de Caña Proteica en la alimentación de gallinas ponedoras. CD: Congreso. Latinoamericano de avicultura.

Rodríguez, R. (2007), Valor nutritivo de la Harina de Caña Proteica y su inclusión en la alimentación de gallinas ponedoras White Leghorn L $_{33.}$ Tesis presentada en opción al Título de Doctor Ciencias Veterinarias. Habana, Cuba, pp, 1-100.

Savón, L; Scull, I; Dihigo, L; Albert, A. (2009), *Rev Cubana de Des Local*. 1:1-5.

Savón, L; Scull, I; Martínez. M. (2007). *Cuban J Agricult Sci*. 41, 359-361.

Valdivié, M. (2003), *Cuban J Agricult Sci*. 37, 24-28.

Van Soest, P. J; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. **(**1991), *J Dairy Sci*. 74, 3583-3597.

Vyraphet, P. (1998), Inclusión de ensilaje de pescado (Conservado en miel final en la dieta de cerdos durante la etapa de crecimiento-ceba). Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad de Granma. Cuba, pp, 1-98.

Whitehead, C. C. (1995). Plasma oestrogen and the regulation of egg weight in laying hens by dietary fats. *Anim Feed Sci Technol* 53, 91-97.

Zaviezo, D. (2004), *Avi Profes*. 22, 11-14.

SITUACIÓN ACTUAL CON RESPECTO AL USO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL, EN EL MUNICIPIO CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES.

ACTUAL SITUATION IN REGARD TO USE OF THE SUGARCANE (*Saccharum* spp.) IN ANIMAL FOOD, IN THE CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES TOWNSHIP.

Yoslen Fernández Gálvez[1]; Hermis Ramírez Peláez[2]; Redimio Pedraza Olivera[3]; Raúl Guevara Leyva[3]; Ailsa Llanes Díaz[1];Jesús Sánchez Gutiérrez[1]; Félix Valladares Arrocha[1]; Joaquín Montalvan Delgado[1]; Isabel Torres Varela[1]; Arlandy Noy Perera[1]; Isnoel Rodríguez Cisneros[1].

1- Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Centro-Oriental. Camagüey.
2- Unidad Empresarial de Base Ignacio Agramonte.
3- Centro de Desarrollo para la Producción Agropecuaria. Universidad Ignacio Agramonte Loynaz. Camagüey.
uascte@eticacm.azcuba.cu

RESUMEN

Con el objetivo de conocer la situación actual con respecto al uso de la caña de azúcar, en el municipio Carlos Manuel de Céspedes, provincia Camagüey se realizó un total de 41 encuestas para comprobar si se utiliza esta planta y la forma en que es suministrada, así como detectar las principales causas por la que no se utiliza y valorar el comportamiento de algunos indicadores productivos de la masa bovina con y sin el empleo de esta fuente forrajera. Los datos obtenidos se procesaron mediante el programa estadístico Statgraphics Centurion XV. I, se realizaron distribuciones de frecuencia, así como pruebas no paramétricas para determinar la diferencia entre dos o más medias muestrales (Mann- Whitney $P < 0,05$). Los resultados de las encuestas permitieron comprobar que en ocho unidades, que representaron el 19,51 % del total de encuestadas, se utiliza la caña de azúcar para la alimentación animal, haciéndose un uso correcto de la misma en solo tres de ellas (37,5 %). Las principales causas detectadas por la cual no se utiliza la caña de azúcar como alimento animal, se fundamentaron en la falta de capacitación a los productores y la no disponibilidad de semilla de variedades recomendadas para dicho fin. Se demostró que esta fuente de forraje tuvo una influencia positiva en el incremento de la producción de leche. Además, con el empleo de la misma se redujo la edad promedio al sacrificio.

Palabras clave: caña de azúcar; alimento animal; forraje.

ABSTRACT

With the objective to know the actual situation of the sugar cane, in the Carlos Manuel de Céspedes township, Camagüey province, were realized 41 interviews to know if is used this plant and the form in which it is supplied, so detecting the principal causes which it not used and to consider the behavior of some productive indexes of the bovine cattle with and without this forage source. The dates obtained were processing by the Statgraphics Centurion XV. I Statistical Program, frequency distributions were realized, also non parametric tests to determine the differences between two or more samples medium (Mann-Whitney $P < 0,05$). The interview results allowed to know that in eight cattle farm, that represent the 19,51

% of the total interviewed using the sugar cane in the animal feeding, only three (37,5 %) making a correct use of it. The principal causes detected which the sugar cane was not used as animal feeding were the lack of farmer capacitating and non seed available of varieties recommending for it. Also, were demonstrated the increasing of milk production and the reduction of average age to sacrifice with this forage source.

Key words: sugarcane; animal food; forage.

INTRODUCCIÓN

El municipio Carlos Manuel de Céspedes, perteneciente a la provincia Camagüey, cuenta con una producción bovina (de ceba y doble propósito) que ocupa más de 34 637,50 ha distribuidas en más de 40 fincas, con una población de 27 097 cabezas, lo que la constituye en una de las principales actividades productivas de la región.

Las limitaciones que enfrenta la producción bovina en época seca en varias zonas de Carlos Manuel de Céspedes y en áreas similares de Cuba, se asocian con la limitada disponibilidad de pasto (en cantidad y calidad) para el rebaño bovino, exigiendo la aplicación de prácticas de suplementación usualmente costosas que permitan mejorar la productividad de los sistemas ganaderos.

Las cuales se ven afectadas en los momentos actuales según Jorge y otros (2002) por la crisis económica mundial y de alimentos a las que tiene que enfrentarse la humanidad, principalmente los países subdesarrollados, que no permite basar la producción de leche y carne con concentrados-granos, cereales y proteína animal, porque con ello compite en primer lugar el hombre y en segundo término las aves y el porcino, cuya producción es mucho más eficiente con esta fuente de alimentación.

Por estas razones, la incorporación en la región de la caña de azúcar, *Saccharum* spp., como alternativa alimenticia en la época seca debe ser considerada por las ventajas que presenta en comparación con otras opciones y por sus posibilidades de integración favorable con otras prácticas.

Rincón (2005) reporta que el potencial de este cultivo como recurso forrajero para la ganadería bovina en condiciones tropicales se sustenta en ventajas como su adaptación a un amplio ámbito de condiciones agroecológicas, baja sensibilidad a pobres condiciones de fertilidad del suelo y a regímenes cálidos-húmedos prolongados, tecnología disponible (asociada con el aprovechamiento industrial) para su producción y la habilidad para mantener en forma consistente en el campo su valor nutritivo por un período considerable.

Se reconoce que la caña de azúcar se utiliza desde hace más de 400 años, como fuente de forraje para el ganado vacuno durante la época de seca, considerada una de las plantas de mayor producción de biomasa por hectárea (Molina y Tuero, 2000). Preston (1986) plantea que su producción puede alcanzar 120 t de biomasa verde ha/año, 100 t de biomasa por ha/año (74 t de tallos, 26 t de hojas y cogollo); 63,5 t/ha de caña entera sin cogollo y más de 22,5 t/ha de hojas y cogollo.

Se puede afirmar que la caña de azúcar ofrece grandes posibilidades para ser utilizada como forraje verde en la alimentación del rumiante, y su cosecha corresponde con el período menos lluvioso, además de su gran adaptabilidad a distintas condiciones edafoclimáticas del país y superando a todas las plantas forrajeras conocidas en producción de materia seca por hectárea (MS/ha) y energía metabolizable por hectárea (EM/ha). En resumen es el captador vivo de energía solar más eficiente, y almacena esa energía en una enorme cantidad de biomasa en forma de fibra y azúcares fermentables.

Por todo lo anteriormente planteado, se considera el cultivo de la caña de azúcar como una solución viable a los problemas de alimentación existentes en la ganadería cubana actual, principalmente en la época seca. Por lo cual este trabajo persigue los siguientes objetivos:

Objetivo general**:**

Conocer la situación actual con respecto al uso de la caña de azúcar como alimento animal en el municipio Carlos Manuel de Céspedes.

Objetivos específicos**:**

- Comprobar si se utiliza la caña de azúcar y la forma en que es suministrada en la alimentación animal.
- Detectar las principales causas por la cual no se utiliza la caña de azúcar como alimento animal.
- Valorar el comportamiento de algunos indicadores productivos de la masa bovina con y sin la incorporación de la caña de azúcar en la dieta de esta especie de rumiante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se llevó a cabo en áreas del municipio "Carlos Manuel de Céspedes", provincia de Camagüey. El que se ubica entre los 21° 13' y 21° 86' de latitud norte y los 77° 83' y 78° 05' de longitud oeste.
Para dar cumplimiento a los objetivos trazados en el estudio, se efectuaron un total de 41 encuestas en diferentes entidades del sector agropecuario (UBPC; CPA; CCSF; UEB; decreto 259 y fincas particulares).
La encuesta que se utilizó para obtener toda la información necesaria fue la siguiente:

USO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

1- Localización.
   - Comunidad o zona donde radica: _____
   - Tipo de identidad a que pertenece:_____

   UBPC: _____ CPA: _____ CCSF: _____ Privado: _____ UEB _____
   Decreto 259: _____
2- Caracterización del productor.
   - Edad: _____
   - Nivel escolar: _____
   - Capacitado: _____

3- Caracterización de la unidad o finca.
   - Nombre de la unidad: _____
   - Área total de la unidad: _____
   - Área con marabú: _____
   - Área de silvopastoreo: _____
   - Área destinada al pastoreo: _____
   - Cantidad de bovinos: _____

4- Recursos con que dispone la unidad.
   - Dispone de agua: _____ Todo el año: _____
   - Dispone de sales minerales: _____ Todo el año: _____
   - Dispone de urea: _____ Todo el año: _____
   - Dispone de norgold: _____ Todo el año: _____
   - Suplementos: _____
   - Máquina sacharinera: _____

5- Utilización de la caña de azúcar como complemento de la dieta animal.
   (En caso de utilizar la caña responda los siguientes aspectos)
   - Área plantada: _____
   - Variedad (es): _____
   - Conoce las variedades recomendadas: _____
   - Fertiliza el área plantada: _____

- Tipos de fertilizantes químicos u abonos orgánicos empleados:

- Dispone de riego: _____
- Edad que efectúa el corte para su consumo (meses): _____
- Número de cortes realizados: _____
- Conoce el rendimiento del área (t/MV/ha): _____
- Período en que la suministra: Seco____Lluvioso____ Todo el año_____
- Cantidad que suministra (kg): _____
- Frecuencia con que la suministra: _____

5.1 Forma en que se suministra:
- Integral (entera): _____
- Troceada: hojas _____ cogollos_____ tallos _____
- Molida: _____
- Molida + urea: _____
- Molida + sales minerales: _____
- Molida + urea + sales minerales: _____
- Molida + leguminosas (tipo de especie): _____
- Molida + gallinazas: _____

5.2 Indicadores productivos de la masa bovina.
- Producción media kg/leche/vaca/día: _____
- Peso promedio al sacrificio kg/animal (ceba): _____
- Edad promedio al sacrificio (meses): _____

6- Causas por las que no se emplea la caña de azúcar en la alimentación animal.
- Falta de capacitación: _____
- Dispone de semilla: _____
- Carencia de recursos financieros: _____
- Déficit de fuerza de trabajo: _____
- Dispone de área para plantar: _____
- Déficit de maquinarias e implementos agrícolas: _____
- Cuenta con otros alimentos forrajeros (cuáles):

_____

- Está de acuerdo con su uso: _____
- Otras razones:

_____

6.1 Indicadores productivos de la masa bovina.
- Producción media kg/leche/vaca/día: _____
- Peso promedio al sacrificio kg/animal (ceba): _____
- Edad promedio al sacrificio (meses): _____

7. Aptitud del productor.
- Está dispuesto a recibir una capacitación _____

Procesamiento estadístico

Para el procesamiento de toda la información obtenida se utilizó el siguiente paquete estadístico: SPSS. Versión 11.5. Se realizaron distribuciones de frecuencia, así como pruebas no paramétricas para determinar la diferencia entre dos medias muestrales (Mann- Whitney $P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del productor

- Edad

Como se puede apreciar en la Figura 1, los productores con edades que oscilan entre los 31-40 y 41-50 años de edad, respectivamente, son los que con mayor frecuencia se encuentran desempeñando la labor de dirigir todo lo relacionado con la producción agropecuaria de las áreas encuestadas. Siguiéndole con una menor frecuencia los productores de 50-60, y posteriormente los de 20-30 años de edad respectivamente.

El promedio de edad de los productores encuestados fue de 44 años, a pesar de no ser la misma muy avanzada, es preciso señalar que se debe trabajar en lograr que los jóvenes con edades que oscilan entre los 20 y 30 años se vinculen aún más a estas tareas, principalmente aquellos egresados de las carreras agropecuarias de nivel medio y superior. Esto se puede corroborar en los resultados obtenidos en las encuestas, al representar solo el 9,75 % los productores comprendidos en el rango de edad antes mencionado.

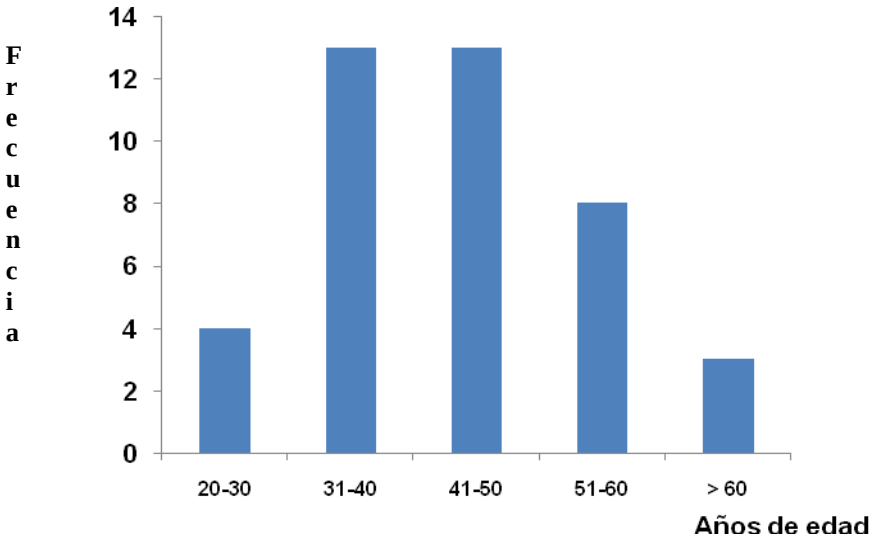


Figura 1. Frecuencia de los productores según su edad.

- Nivel cultural

En la Figura 2, se puede observar que los productores con un nivel medio de escolaridad son los que con mayor frecuencia nos encontramos desempeñando la labor de dirigir todo lo relacionado con la producción agropecuaria de las áreas encuestadas. Siguiéndole con una menor frecuencia los productores de nivel medio superior o bachilleres, y posteriormente los de nivel escolar de técnico medio. En el caso de los productores con nivel superior solo se pudo contactar con uno, señalando que este compañero desempeña una labor que no está acorde a su profesión, al ser graduado de Licenciatura en Cultura Física.

Estos resultados demuestran con claridad, que los compañeros que dirigen la importante tarea de la producción agropecuaria de las áreas encuestadas no poseen la suficiente preparación para desempeñar la misma, ya que no tienen un conocimiento previo con respecto a la labor que realizan, la cual enfrentan de una manera empírica al no poseer una calificación al menos de técnico medio que le permita llevar a cabo esta tarea con el mínimo de conocimientos requeridos. Estos son los casos de los productores con nivel medio y nivel medio superior o bachiller de escolaridad que representan un 68,29 % del total de encuestados (Figura 2).

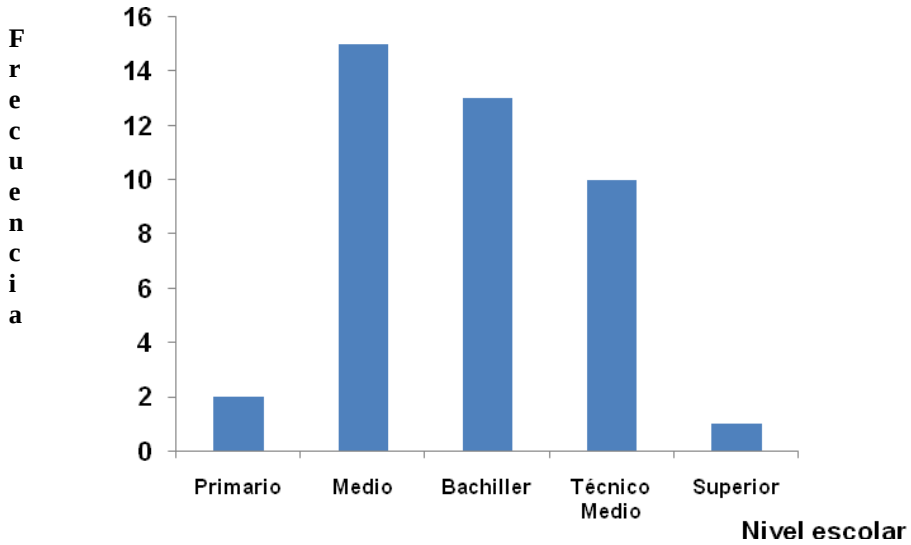


Figura 2. Frecuencia de los productores según su nivel escolar.

- Capacitación

En la Figura 3, se puede observar el porcentaje que representan los productores capacitados y sin capacitar del total de encuestados.

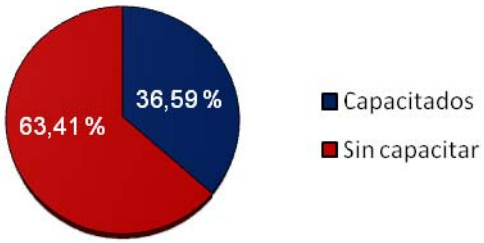


Figura 3. Porcentaje que representan los productores capacitados y sin capacitar.

En la Figura 3, los productores capacitados solo representan un 36,59 % del total de encuestados, situación no tan alarmante, pero sí a considerar, ya que según los resultados anteriormente debatidos en el epígrafe anterior, donde los productores de nivel medio y bachilleres representan un 68,29 %, la capacitación se convierte en uno de los principales eslabones de esta cadena que es la producción agropecuaria. Mientras más se capaciten a los productores con todo lo relacionado con la tarea que desempeñan, introduciendo los resultados científicos a la producción, poniéndose de manifiesto el estrecho vínculo que debe existir entre las entidades científicas y la producción, mejores serán los resultados a alcanzar en el sector agropecuario.

Caracterización de la unidad

En la Figura 4, se puede observar la caracterización de las unidades encuestadas, donde las mismas en su conjunto ocupan unas 8 136,6 ha, de las cuales solo están destinadas al pastoreo unas 4 001,67 ha, lo que

representa el 49,18 % del área total, de ésta unas 2 085,25 ha están invadidas por el marabú, lo que representa el 52,11 % del área total de pastoreo.
Como se puede apreciar, esta situación con la planta de marabú es alarmante, si se tiene en cuenta que el número de bovinos a pastorear es de 5 117 unidades de ganado mayor (UGM), que representa una carga de 2,67 UGM/ha, la cual es elevada, lo que propicia el sobrepastoreo del área, por lo que se hace necesario eliminar el marabú existente en la mayoría o en la totalidad del área para lograr disminuir la misma y de esta forma poder contrarrestar los efectos tan nocivos del sobrepastoreo de los pastizales.

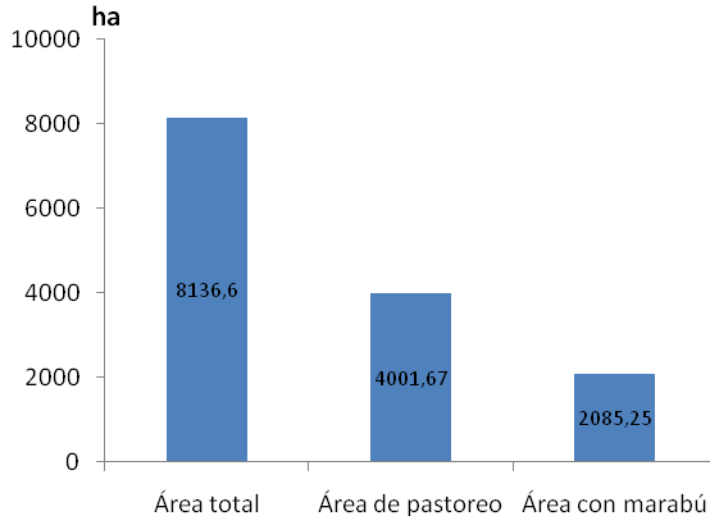


Figura 4. Caracterización de las unidades encuestadas.

Es necesario señalar que las unidades que poseen un mayor porcentaje de área invadida por marabú, pertenecen al sector estatal, las cuales representan un 98,08 % del área total ocupada por esta planta. Lo que demuestra el sentido de pertenencia del sector privado.
En la Tabla I, se puede observar los recursos con que disponen las unidades encuestadas para la alimentación animal.

Tabla I. Recursos disponibles en las unidades para la alimentación animal.

Recursos con que dispone la unidad	**Unidades**	**Porcentaje**
Agua (todo el año)	41 (34)	100 (89,93)
Sales minerales	1	2,44
Urea	2	4,88
Norgold (todo el año)	7 (3)	17,07 (7,32)
Máquina de triturar	12	29,27

Como se observa en la Tabla I, las 41 unidades encuestadas (100 %) poseen agua, pero solo 34 de ellas (89,93 %) durante todo el año, ya que las restantes siete (10,07 %) se les hace muy difícil su obtención en el período poco lluvioso del año. Con respecto a las sales minerales, urea y norgold, los porcentajes representados por las unidades que poseen los mismos son muy bajos, al tener solo una unidad (2,44 %) sales minerales, dos (4,88 %) urea y siete (17,07 %) norgold, pero de éstas últimas siete unidades solo tres (7,32 %) todo el año. En cuanto a las unidades que cuentan con una máquina de triturar, solo 12 (29,27 %) de ellas poseen la misma.

De forma general se puede resumir que la situación con respecto al agua en las unidades no es tan alarmante, aunque si es preciso señalar que en aquellas unidades que no poseen la misma durante todo el año deben realizar todas las gestiones posibles y tomar todas las alternativas que posibiliten que no falte este preciado líquido que tanta importancia tiene en la producción animal. La situación más crítica la encontramos en la falta de sales minerales, urea y norgold, por la situación económica actual que atraviesa el país, por lo que las unidades deben crear sus propios programas para la producción de alimentos para sus animales con los recursos propios existentes en cada una de ellas. En cuanto a las máquinas de triturar se debe hacer un esfuerzo por lograr que cada unidad posea al menos una, por las ventajas que ofrece la misma a la hora de suministrar los alimentos y que sean mejor aprovechados por los animales.

Utilización de la caña de azúcar en la alimentación animal

En la Figura 5, se puede observar el porcentaje que representan las unidades que utilizan y no utilizan la caña de azúcar en la alimentación animal.

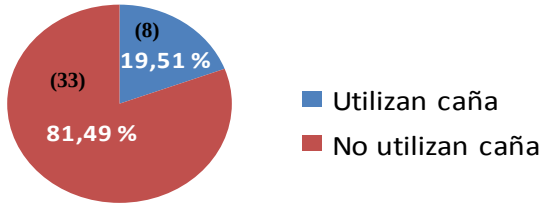


Figura 5. Unidades que utilizan y no utilizan caña en la alimentación animal.

Como se puede apreciar en la Figura 5, solo ocho unidades, que representan el 19,51 % del total de encuestadas utilizan la caña de azúcar en la alimentación animal. Por lo que se pone de manifiesto la poca cultura que existe en el sector agropecuario con respecto al uso de esta planta forrajera en la alimentación animal.
En la Tabla II, se pueden observar varios aspectos relacionados con la utilización de la caña de azúcar en las unidades.

Tabla II**.** Utilización de la caña de azúcar en las unidades.

Utilización de la caña	Unidades	Porcentaje
Conocimiento de variedades recomendadas	0	0
Fertilización del área plantada	2	25
Disponibilidad de riego	0	0
Conocimiento producción de biomasa	1	12,5
Conocimiento del total de alimento a suministrar	0	0

De las ocho unidades que utilizan la caña en la alimentación animal, en ninguna de éstas se tiene conocimiento de las variedades recomendadas para este fin. Por lo que se están utilizando las variedades que más fácil sean de adquirir en la unidad, sin tener en cuenta que las mismas puedan realmente contribuir al aumento de la producción animal por su valor nutritivo. Del total de área plantada solo se fertiliza en dos unidades, haciendo uso del compost y del estiércol vacuno. Ninguna de las áreas plantadas en las ocho unidades dispone de riego. En solo una unidad se conoce la producción de biomasa verde del área plantada, por lo que los productores no tienen conocimiento del tiempo que pueden alimentar a la masa bovina según la disponibilidad de alimento existente en la misma. En ninguna de las unidades que utilizan la caña como

forraje conocen la cantidad de alimento a suministrar en cada ración recomendada según la categoría animal (Tabla II).

Forma en que es suministrada la caña de azúcar como alimento animal

En la Tabla III, se pueden observar las formas en que se suministra la caña de azúcar en las unidades en que se emplea la misma en la alimentación animal.
De las ocho unidades que utilizan la caña, en tres se utiliza troceada, en dos molidas, en una molida más urea y king grass, en una como sacharina y en una molida más king grass. En ninguna de las unidades se utilizó molida más sales minerales, molida más leguminosas, ni molida más gallinaza.

Tabla III**.** Utilización de la caña de azúcar en las unidades.

Forma en que se suministra la caña	**Unidades**	**Porcentaje**
Troceada	3	37,5
Molida	2	25,0
Molida-urea-king grass	1	12,5
Molida-sales minerales	0	0
Molida-urea- sales minerales	1	12,5
Molida-leguminosas	0	0
Molida-king grass	1	12,5
Molida-gallinaza	0	0

En cuanto a la forma que se suministra la caña de azúcar, se puede plantear que la misma se ofertó de diferentes formas, en dependencia de las condiciones y los recursos con que dispone cada unidad. Destacando que en cinco este alimento forrajero fue procesado con el uso de la máquina sacharinera y en tres se ofertó troceada, lo que trajo consigo que fuera mejor aprovechada en comparación con el suministro de caña integral (entera), forma en la que los productores encuestados no brindan esta planta como forraje a sus animales (Tabla III).
Aunque es preciso señalar, que solo tres unidades (37,5 %) realizaron un uso correcto de la caña de azúcar, si se tiene en cuenta lo planteado por Molina y Valdez (1998) que el inconveniente principal en el desbalance de proteínas y minerales que presenta la caña de azúcar, puede solucionarse en forma sencilla y económica con nitrógeno no proteico (urea, amoniaco, gallinaza) ó con leguminosas de pastoreo (leucaena y glicine), así como sales minerales.
Por otra parte, se puede aclarar que en ninguna unidad se utilizó la caña molida más leguminosas, la cual es muy provechosa por los bovinos, si se tiene en cuenta lo planteado por Milera y otros (1989) donde señalan que la adición de urea es importante, pero no basta para explotar todas las posibilidades energéticas de la caña, siendo necesario la implementación de proteína natural, también se ha demostrado respuesta cuando se dió acceso a bancos de proteínas con glicine a vacas que consumían caña y concentrados.

Principales causas por la que no se utiliza la caña de azúcar en la alimentación animal

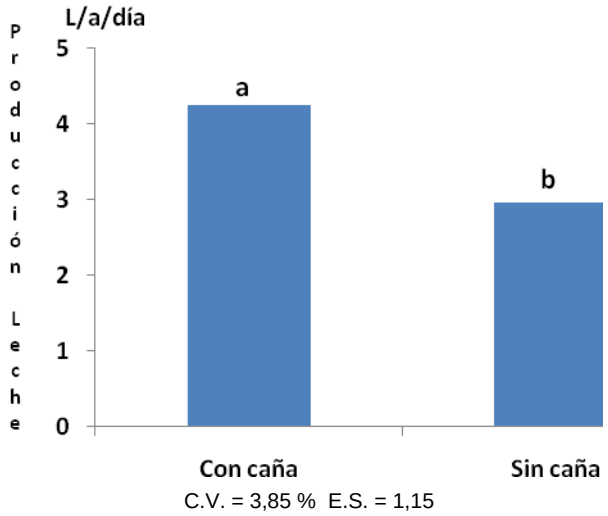
Como se aprecia en la Tabla IV, la falta de capacitación a los productores y la no disponibilidad de semilla de variedades recomendadas para la alimentación animal, son las causas que mayor inciden en que no se utilice este cultivo en las unidades agropecuarias como forraje. El déficit de maquinarias e implementos agrícolas, la carencia de recursos financieros, el déficit de fuerza de trabajo, la disponibilidad de área para plantar y contar con otro alimento forrajero en las unidades fueron las causas que por el mismo orden anteriormente mencionado tuvieron un mayor peso en que se dificulte la utilización de la caña de azúcar en las unidades agropecuarias para la alimentación animal.

Tabla IV. Principales causas por la cual no se utiliza la caña de azúcar como alimento animal.

Principales causas por la que no se utiliza la caña	Unidades	Porcentaje
Falta de capacitación a los productores	33	100
Disponibilidad de semilla de variedades recomendadas	33	100
Carencia de recursos financieros	17	51,51
Déficit de fuerza de trabajo	14	42,42
Disponibilidad de área para plantar	13	39,39
Déficit de maquinarias e implementos agrícolas	27	81,81
Cuentan con otro alimento forrajero	3	9,09

Comportamiento de algunos indicadores productivos con y sin la utilización de la caña de azúcar en la alimentación animal

En la Figura 6, se pueden observar los resultados del análisis de varianza simple y comparaciones de medias, según Mann-Whitney (P < 0,05) para los valores de producción de leche por animal por día con y sin la utilización de la caña de azúcar en la alimentación animal.
Como se aprecia en la Figura 6, la utilización de la caña de azúcar en la alimentación animal tuvo una influencia positiva en la producción de leche, al mostrar diferencias estadísticamente significativas con respecto a las unidades donde no se utilizó la caña de azúcar.



Medias con letras diferentes, difieren según Mann-Whitney (p < 0,05).

Figura 6. Producción de leche con y sin la utilización de la caña de azúcar en la alimentación animal.

Estos resultados confirman lo planteado por Pate (1975); Preston (1986); Martín (1994); Pedraza y otros (1998) y Roque y otros (2002) que la caña de azúcar constituye una importante fuente de biomasa para la alimentación del ganado bovino en el trópico, principalmente en el período poco lluvioso.
En la Tabla V, se pueden observar algunos indicadores productivos de la masa bovina con y sin la utilización de la caña de azúcar en la alimentación animal.

Tabla V. Resultados de indicadores productivos con y sin la utilización de la caña de azúcar.

Indicadores productivos	Con caña	Sin caña	Diferencia
Peso promedio al sacrificio (kg)	405,13	403,12	**2,01**
Edad promedio al sacrificio (meses)	36	44	**8**

Como se puede apreciar en la Tabla V, a pesar de no existir mucha diferencia en el peso promedio al sacrificio, se puede notar que para alcanzar ese peso con la utilización de la caña solo se necesita de 36 meses, sin embargo sin la utilización de la misma se necesitan 44 meses.
Resultados similares fueron reportados por Alvarez y Preston (1985) al suministrar 13,4 kg/día de caña fresca y obtener ganancias en el orden de 480 g/día, logrando alcanzar un peso promedio al sacrificio en el orden de los 408 y 442 kg, en un período que osciló entre los 36 y 38 meses.
Reafirmando lo planteado por Pedraza y otros (1998) que la caña de azúcar constituye un excelente material para la alimentación del ganado bovino y de hecho se ha venido utilizando, desde hace muchísimos años en la alimentación bovina durante los períodos de sequía o inundaciones, pero más recientemente se han iniciado esfuerzos para utilizar la caña de azúcar picada y mezclada con king grass, leguminosas, gallinaza y otros materiales para el engorde intensivo del ganado bovino con buenos resultados.
También Preston (1986) afirma que 10 kg de caña de azúcar adecuadamente picada y preparada (una ración) permiten disponer de 4 kg de celulosa por día, más 6 kg de jugo, que con un contenido mínimo del 10 % de sacarosa aportan no menos de 600 g de azúcares por ración, que el ganado asimila convirtiéndolo en carne.
Además, reafirma que la caña de azúcar constituye un aporte de energía fácilmente aprovechable si se proteiniza la misma mediante el agregado de urea (60 g cada 10 kg), alcanzándose por este medio ganancias de peso de hasta 300 g/día como mínimo garantizado.

Aptitud del productor

En las unidades encuestadas se pudo comprobar que el 100 % de los productores están de acuerdo en recibir una capacitación que les permita mejorar el trabajo que desempeñan y por lo tanto que los conocimientos adquiridos puedan ser revertidos en aras de incrementar la producción de leche y carne en las unidades agropecuarias tan deprimidas en los momentos actuales, principalmente en el período poco lluvioso del año en Cuba.

CONCLUSIONES

- Se pudo comprobar que en ocho unidades, que representan el 19,51 % del total de encuestadas, se utiliza la caña de azúcar para la alimentación animal. Destacando que en solo tres de ellas (37,5 %) se realiza un uso correcto de esta planta forrajera.
- Las principales causas detectadas por la cual no se utiliza la caña de azúcar como alimento animal, se fundamentan en la falta de capacitación a los productores y la no disponibilidad de semilla de variedades recomendadas para dicho fin.
- La utilización de la caña de azúcar en la alimentación animal tuvo una influencia positiva en el incremento de la producción de leche. Además, con el empleo de la misma se redujo la edad promedio al sacrificio.

RECOMENDACIONES

- Desarrollar programas de capacitación relacionados con el uso de la caña de azúcar como alimento animal.
- Las unidades que utilicen la caña de azúcar como alimento animal, deben desarrollar sus propias alternativas para mejorar el aprovechamiento de este recurso.
- Las entidades responsables de estos productores deben fomentar bancos de semillas, para un mejor uso de las variedades recomendadas para dicho fin.

REFERENCIAS

- Álvarez, E., Preston, J. (1985), *Animal* Science 91, 205-213.
- Jorge, H., González, R., Casas, M. A., Jorge, I. (2002), *Cuba & Caña* 1, 7- 9.
- Martín, P. C. (1994), *Animal Science* 123, 9-16.
- Milera, N., López, J., María, N., Balance, C., Hervis, N. (1989), *ATAC* 4, 13-14.
- Molina, A., Tuero, O. (2000), *ACPA* 7, 11-13.
- Molina, A., Valdez, G. (1998), *AGRONAT* 98, 17-18.
- Pate, F. (1975), *Animal* Science 53, 881-888.
- Pedraza, R. M., Gálvez, M., Pérez, J. L., Alcina, M., Guevara, G. (1998), *Ciencias Agrícolas* 16, 147-151.
- Preston, T. (1986), *Animal* Science 94, 121-128.
- Rincón, E. (2005), *Agronomía Tropical* 21, 205-213.
- Roque, R., Sosa, E., Gómez, E. (2002), *ACPA* 10,17-19.

EMPLEO DE LA LIGNINA HIDROLÍTICA DE BAGAZO EN LA PROFILAXIS DEL SÍNDROME DIARREICO DE CERDOS EN LA CATEGORÍA DE PRECEBA

USE OF HIDROLÍTIC LIGNIN FROM BAGASSE IN THE PROPHYLAXIS OF DIARRHEIC SYNDROME IN PIGS IN THE PREFATTENING STAGE

Yosvell Rodríguez Baluja, Carlos Bravo Pino, Daisy Dopico Ramírez, Pedro Islen Limonta.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca 804 y Carretera Central. La Habana 11000. Cuba
yrbaluja@yahoo.es

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la efectividad de la Lignina hidrolítica de bagazo en la profilaxis del síndrome diarreico en la fase de destete en la categoría de cerditos en desarrollo. Se seleccionaron 450 cerditos, aplicándose un tratamiento profiláctico los 10 primeros días después del destete a un grupo de 225 cerditos, la otra mitad conformó el grupo control. Se evaluó la presentación de diarreas, tiempo de recuperación y aplicación de antibióticos. En el grupo tratado hubo una reducción significativa en la presentación de cuadros diarreicos en un 89% con respecto al grupo control. La morbilidad fue tan solo de un 2.7% en el grupo bajo tratamiento en comparación al 25.3% que presentó el grupo control. La cantidad de cerditos que necesitó antibioterapia fue menor ($P<0.001$) en el grupo tratado con respecto al grupo control e igualmente el tiempo de recuperación fue más corto en el primer grupo. La ganancia media diaria (GMD) fue de 378g para el grupo bajo tratamiento, superior ($P<0.01$) en un 20% con respecto al grupo control para 302g. El costo del tratamiento en el grupo que se aplica Lignina hidrolítica de bagazo fue inferior en un 73% con respecto al grupo control.

Palabras claves: lignina, bagazo, profilaxis, diarrea, cerdos.

ABSTRACT

The present work deals with the evaluation of the effectiveness of hydrolytic lignin of bagasse in the prophylaxis of diarrheal syndrome at the weaning stage in the category of growing pigs. Its use reduces the incidence of diarrheal disorders in weaned piglets by adsorption of pathogens and toxins in the intestinal tract, maintaining health and high production efficiency. Its application is less expensive than the use of antibiotics, for meat production and it does not leave residues being a non-absorbable natural product. 450 pigs were selected for the evaluation of a prophylactic treatment. During the first 10 days after weaning hydrolytic lignin was applied to a group of 225 animals, the other half constituted the control group. The presence of diarrhea, time of recovery and application of antibiotics was evaluated. A significant decrease ($P<0.001$) in the presence of diarrheal disorders was measured in treated pigs (89 % in relation with control). Morbidity was only 2.7% in the treated group as compared with 25.3% in the control group. The number of pigs that required antibiotic therapy was lower ($P <0.001$) in the treated group with lignin than in the control group, and recovery was faster being the cost of the treatment cheaper by 73 % compared with control. Daily live weight gain (DWG) was 378g for treated group, a 20% superior in comparison to a control group (302 g) with $P <0.01$.

Keywords: lignin, bagasse, prophylaxis, diarrhea, pigs.

INTRODUCCION

En los lechones el destete representa un momento crítico donde se combina el estrés por la separación de la madre, supresión de la leche materna por una ración completamente seca, más irregularidades de tenencia, suministro y calidad de los alimentos que provocan una depresión del sistema inmunológico predisponiendo a la presentación del síndrome diarreico según Enckevort y otros (2001) y Daza (2009), una de las entidades con mas prevalencia en esta etapa donde sus causas son variadas, deteriorando su estado de salud e indicadores productivos. Como arsenal para la terapia y prevención de este síndrome se utiliza toda una artillería de antibióticos, donde se elevan sus dosis cada vez más y se buscan otros más potentes para el control de estos cuadros entéricos. Dada la tendencia actual de producción de alimentos de origen animal libres de residuos medicamentosos la farmacología en nuestro presente se apoya cada vez más en las bondades de la biotecnología y el empleo de elementos naturales para elaborar medicamentos eficaces e inocuos, dirigidos a la salud animal sin perjudicar las características y la calidad de las carnes procedentes de los animales tratados, y que actúe de forma beneficiosa en la mejora de los indicadores productivos.

En este sentido y tomando en consideración las características y ventajas ofrecidas por la lignina constituyente de la pared celular de las plantas, se desarrolló por especialistas de la Unión de Investigación y Producción de la celulosa del Bagazo, UIP Cuba-9 la lignina hidrolítica de bagazo, cuyo principio activo lo constituye la lignina del bagazo de la caña de azúcar. El mismo consiste en un antidiarreico polimérico natural capaz de actuar a la vez contra un gran número de agentes patógenos capaces de provocar el síndrome diarreico dado sus propiedades adsortivas sobre un gran número de bacterias, virus, hongos y toxinas. Este producto resulta altamente efectivo en cerdos, terneros, ovinos y equinos, de acuerdo con las estadísticas que indican que más del 90% de los animales jóvenes con síndrome diarreico fueron curados cuando se aplicaron dosis terapéuticas (200mg/kg) de este producto según Figueredo y otros (1996), y una reducción significativa en la presentación de diarreas cuando se utilizó como preventivo en lechones en la categoría de preceba, según Fraga y otros (1996). La Lignina hidrolítica de bagazo tiene entre sus ventajas que no crea residualidad en el animal, como ocurre con el uso de antibióticos, que limitan el consumo humano de sus carnes.

Dada las propiedades de este producto y la información descrita sobre su empleo en cuadros gastroentéricos nos trazamos como objetivo evaluar la efectividad de la Lignina hidrolítica de bagazo en dosis mínimas en la prevención del síndrome diarreico en lechones recién destetados.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en 5 Unidades Porcinas Integrales comprendidas en las provincias de Pinar del Río, La Habana y Villa Clara, bajo diferentes condiciones de tenencia y alimentación. Donde toda la crianza en lactancia es en piso cementado y la de preceba tanto en cubículos con piso cementado y cubículos con pisos flat deck de aluminio, con condiciones de higiene aceptables. El sistema de alimentación se basó en concentrados categoría de inicio en la etapa de lactancia y en la primera semana de preceba, solo en dos unidades se utilizó concentrado de inicio en preceba, en el resto fue concentrado para la categoría de desarrollo o pienso B. Existían tetinas para el suministro de agua. El destete se realizó entre los 30-33 días de edad, promediando un peso de 6.8-7.2 kg. En cada unidad se seleccionaron 90 cerditos *(híbridos del cruce de* L_{35} *ó* CC_{21} *x YL)*. A 45 de ellos se les suministró en el concentrado Lignina hidrolítica de bagazo en dosis de 100mg/Kg de peso vivo (PV) en la primera comida del día por un periodo de 10 días. El otro lote de 45 cerditos conformó el grupo control. Se trabajó en total con 450 cerditos, de ellos, la mitad 225 se les administro la Lignina vía concentrado, la otra mitad se mantuvo como control. La evaluación se realizó en la primera fase del destete en la categoría de preceba por ser el periodo más critico con mayor prevalencia de trastornos gastroentéricos. Se evaluó la presentación de cuadros diarreicos, así como la ganancia media diaria

(GMD). Mediante un examen clínico se determinó la presencia de diarreas en los animales, que por sus características se emitió un diagnóstico presuntivo de síndrome diarreico por causas tanto por transgresiones alimentarías o por colibacilosis, uno de los patógenos que más incide en esta etapa. Las crías fueron examinadas clínicamente de forma diaria para valorar el curso del cuadro, su recuperación y/o la utilización de antibióticoterapia. Los resultados se analizaron mediante un modelo de clasificación simple según Steel y Torrie (1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los grupos bajo observación se encontró que los cerditos afectados por el síndrome diarreico presentaban piloerección, pérdida de la vitalidad, apetito disminuido y la temperatura normal o ligeramente aumentada en algunos casos. Las heces se caracterizaron por ser en su mayoría pastosas y en menor número líquidas, predominando el color amarillo-carmelitoso con ligera o moderada presencia de mucus. Todos estos síntomas coinciden con los descritos por China y otros (1999) y Sala (2010) y para la colibacilosis, uno de los patógenos con más prevalencia en esta etapa según China y otros (1999) y Pascual y otros (2010). La mayor incidencia en la presentación de los cuadros diarreicos se observó entre los 4 y 7 días posteriores al destete correspondiendo con lo planteado por Daza (2009).

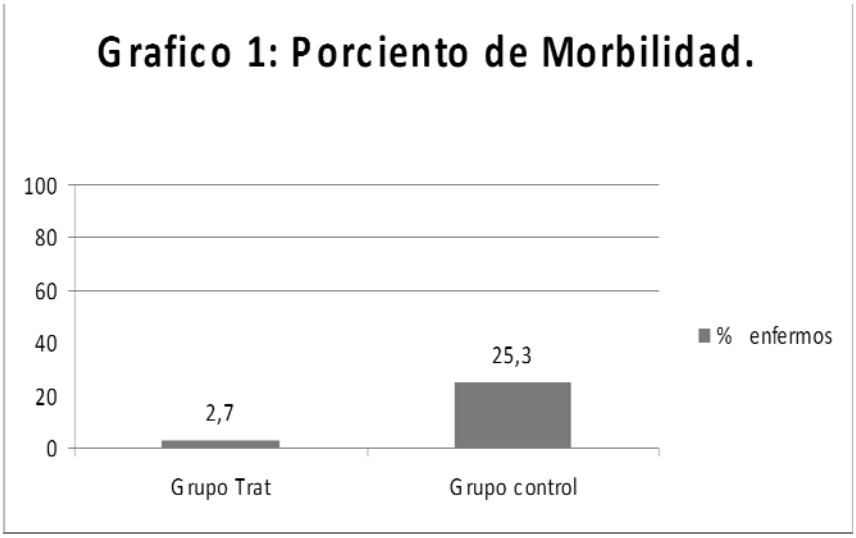
Disminuyó ($P>0.001$) la presentación de cuadros diarreicos entre el grupo que se le administró la Lignina hidrolítica de bagazo en un 89% con respecto al control según se observa en la tabla I, evidenciando su efectividad sobre patógenos y toxinas dada sus propiedades adsortivas sobre estos, reduciendo su carga de ataque sobre la mucosa entérica, propiedades descritas por autores como Fukuchi (1999) y Castellanos (2008), al observar semejante acción de la lignina sobre bacterias, virus, y toxinas como por ejemplo Escherichia coli, estafilococos y hongos. Resultados similares fueron obtenidos por Fraga y otros (1996) al utilizar lignina como profiláctico en la etapa de destete en dosis de 100 y 200mg/kg de PV.

Tabla I: Cerditos que presentaron síndrome diarreico en el grupo que se suministro la LH-C9 (Lignina hidrolítica de bagazo) y en el grupo control.

Indicadores	Aplicación de lignina	Control
N° de animales por grupo	225	225
N° de animales que enfermaron	6 [a]	57 [b]

Superíndice no comunes en fila difieren a $P<0.001$

Esto representó una morbilidad de tan solo un 2.7% en el grupo que se administró la Lignina en comparación a un 25% del grupo control como se observa en el grafico 1. Los animales que enfermaron en el grupo que se administró la Lignina presentaron mayor vitalidad, menor grado de deshidratación y disminución en el número e intensidad de las deposiciones. Esto es importante, ya que al reducirse el número de enfermos disminuye el foco de infección minimizándose la cadena de contagio y al reducirse la carga patógena disminuye el nivel de lesión en los intestinos conociéndose que puede presentarse enteritis crónica post-destete que puede provocar una detención completa del crecimiento en cerdos recuperados, según Valdés y otros (2009).



Para la remisión de los cuadros diarreicos en los lechones afectados se aplicó mayor cantidad de tratamientos con antibióticos al grupo control (P>0.001) con respecto al que se le administro la Lignina para tan solo 1.3 % según se puede observar en la tabla II. De igual forma el tiempo de recuperación en los animales que hubo que aplicársele antibióticos fue menor en el grupo que se suministró Lignina (2 días) con respecto al control (3.7 días). Resultados similares al empleo de la lignina se encontraron por Figueredo y otros (1996), Fraga y otros (1996) y Gallego y otros (2006) cuando se utilizó la lignina en dosis de 200mg/kg de PV con fines terapéuticos con muy buena efectividad en el tratamiento de cuadros diarreicos sin encontrarse diferencias significativas (P>0.05) con antibióticos utilizados como eritromicina, diarrex, tetracan, kanamicina, cloranfenicol y amoxicilina con en el mismo propósito. Se infiere un menor tiempo de recuperación en el grupo que se les suministró la lignina por ser menor la carga de patógenos y antígenos que pudieran estar afectando la pared del tracto digestivo siendo menor el nivel de daño según Serrano et al (2009).

Tabla II: Cerditos que fueron tratados con antibióticos y el tiempo que demoraron en recuperarse.

Indicadores	Aplicación de lignina	Control
Cerditos que recibieron antibióticos.	3 [a]	47 [b]
% que representa del grupo total	1.3	21
Tiempo promedio de recuperación (días)	2	3.3

Superíndice no comunes en fila difieren a P<0.001

La ganancia de peso en el periodo de evaluación fue significativamente superior (P<0.01) en el grupo que se administro la Lignina en comparación con la del grupo control, para una ganancia de peso diaria en el grupo de aplicación de lignina de 378 g con respecto a la de 302 g en el otro grupo según puede observarse el la tabla III. Algunos investigadores como Ordoñez y otros (1996); Sanz (1999); Thacker (1999) y Camacho (2008) han enfatizado que un cerdo entre los 5 y 10 kg tiene una capacidad para ganar 400 y 700 g de peso diariamente. Sin embargo, es común obtener hasta un 50 % menos de estos rendimientos debido a problemas de manejo y enfermedades post-destete. Estos resultados en la etapa post-destete, tienen un efecto importante en el comportamiento de los cerdos e influye en el número de días y alimento consumido para alcanzar el peso de sacrificio. Por lo que se puede inferir un mejor comportamiento productivo en los cerditos que se les administró lignina en su primera fase de destete con una mayor ganancia de peso y conversión con respecto a los cerditos que no se les suministró.

Tabla III: Ganancia media diaria (GMD) en los cerditos afectados y del grupo total.

Indicadores	Aplicación de lignina	Control
GMD enfermos (g)	293 g	216 g
GMD grupo total (g)	378 g [a]	302 g [b]

Superíndice no comunes en fila difieren a P<0.01

El tratamiento preventivo con la Lignina en la primera fase de destete resultó menos costoso en un 73% que el empleo de antibióticos en los cerditos del grupo control como se observa en la tabla IV.

Tabla IV: Costo de los tratamientos empleados en los cerditos.

	Tratamiento	
Componente monetario	Aplicación de Lignina + Antibióticos	Aplicación de Antibióticos
CUC	6.8	25.38

Tabla V: Precio de la Lignina hidrolítica de bagazo y de los antibióticos utilizados en la terapia de los cuadros diarreicos.

Productos	Costo en CUC
LH-C9 (1kg)	0.29
Oxitetraciclina de larga acción (100ml)	23
Enrofloxacina (100ml)	20
Tylosina (100ml)	18
Lincomicina (100ml)	21

Se tomo como referencia que el costo del tratamiento por cerdito (8kg PV) con la Lignina hidrolítica de bagazo durante 10 días es de 0.023 CUC y el costo medio de varios antibióticos importados que se utilizaron (ver tabla V) es 0.54 CUC por cerdito en tres días de tratamiento. La Lignina hidrolítica de bagazo además de ser menos costosa es un producto natural que no deja residuales en los animales, también que al disminuir el número de enfermos son menos los animales que podrían demorar más días en alcanzar el peso de la categoría o quedar por debajo con un incremento del costo de producción al permanecer más tiempo en la unidad con un mayor consumo de concentrado para alcanzar el peso deseado.

CONCLUSIONES

1. En el grupo que se administro LH-C9 como profiláctico hubo una reducción significativa (P<0.001) en la presentación de cuadros diarreicos en un 89% con respecto al grupo control.
2. La morbilidad fue tan solo de un 2.7% en el grupo bajo tratamiento en comparación al 25.3% que presentó el grupo control.
3. La cantidad de cerditos que necesitó antibioterapia fue menor (P<0.001) en el grupo que se le administró LH-C9 con respecto al grupo control e igualmente el tiempo de recuperación fue más rápido en el primer grupo.
4. La GMD fue de 378g para el grupo total bajo tratamiento superior (P<0.01) en un 20% con respecto al grupo control para 302g.

5. El costo del tratamiento en el grupo que se aplicó Lignina hidrolítica de bagazo fue inferior en un 73% con respecto al grupo control.

REFERENCIAS

- Camacho. C. (2008), Efecto de probióticos en el alimento sobre los parámetros productivos de lechones. Disponible en: http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/index.html
- Castellanos. A. A. (2008), Efecto de la adición de dos probióticos y su combinación en la dieta de lechones sobre la productividad post-destete. CENIDFA- INIFAP. Disponible en: http://www.ergomix/MA-porcinocultura/sanidad/articulo/165-po.htm
- China, B. y Goffaux, F. (1999), Secretion of virulence factors by Escherichia coli. Veterinary Research, 30:181-202
- Daza. A. (2009), Alimentación de los lechones durante la fase del postdestete. Departamento de Producción Animal. E.T.S de Ingenieros Agrónomos. Disponible en: http://www.agroparlamento.html.
- Enckevort, L.C., Denkavit, B.V. y Voorthvizen, C. (2001), Alimentación en el período post-destete. Cerdos/Swine (México), 12(2):17
- Figueredo, J,M., Cruz, R., Navarro, D., Bulnes, C., Gallardo, J., Dopico, D., Carballo, N., Ruisanchez, J., Fraga, I. y Reyes, M. (1996), Ligmed-A: Antidiarreico polimérico natural con fines veterinarios. In: III Taller sobre Celulosa, Papel y Derivados del Bagazo. La Habana, p15-21
- Fraga, I., Alfonso, L, Bulnes, C. y Pérez, A. (1996), Evaluación del Ligmed-A como profiláctico del síndrome diarreico del cerdito cría. Revista de Salud Animal, 18:
- Fraga, I., Alfonso, L, Bulnes, C. y Pérez, A. (1996). Evaluación del Ligmed-A como profiláctico del síndrome diarreico del cerdito cría. Revista de Salud Animal, 18:
- Fukuchi, K. (1999), Inhibition of herpes simplex virus infection by pine cone antitumor substances. Anticancer Research, 9313-9319
- Gallego. C, Mayuly Martínez, Castro. M, Figueredo. J.M, Hernández. L y Pérez. R. (2006), Nota sobre el empleo del Ligmed-A en el control de diarreas en crías porcinas. 13(1): 23
- Ordoñez, J.A., López, M.O., Hierro, E., Cambero, M.L., y De la Hoz, L. (1996), Efecto de la dieta de lechones sobre el rendimiento productivo. Food Science and Technology International, 2:383–390
- Pascual. B. (2010), Protocolo de abordaje a los procesos entéricos en ganado porcino. Fases de lactación y transición. Ed. Valencia. España: 36
- Sala. V. (2010), El papel condicionante de la nutrición en los mecanismos de defensa gastrointestinales. Universidad de Milán. Disponible en: http://www.3tres3.com/nutrición/ficha.php
- Sanz, M. (1999), Programa básico para la adecuación de una explotación porcina a los nuevos requerimientos y conceptos ambientales. ANAPORC (Madrid), 19(190):32-42
- Serrano. M. P, Valencia. D. (2009), Prohibición del uso de antibióticos como promotores de crecimiento. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET. Disponible en: http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070705.html.
- Steel, R.G.D y Torrier, J.H, (1980), Principles and Procedures of Statistics. Mc Graw-Hill Book Company In Company. New York, pp 481
- Thacker, P. A. (1999), Nutritional requeriments of early weaned pigs: a review. Asian-Australasian Journal of Animal. Science, 12:976–987
- Valdes, G. R; One, L.D (2009), Revista Electrónica de Veterinaria REDVET. Disponible en: http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070705.html. .

FORMULACIÓN DE DIETAS PARA TILAPIA (*Oreochromis spp.*) CON ENSILAJES DE PESCADO PRE-SECADO CON HARINA DE CAÑA.

DIETS FORMULATION FOR TILAPIA (*Oreochromis spp.*) WITH PRE-DRIED FISH SILAGE AND CANE MEAL.

Botello AL[1]; Cisneros MVL[1]; Viana MTC[2]; Valdivié M[3]; Ariza EP[4], Girón ET[4], Gutberto SS[1]; Miranda OM[1], Rodríguez YV[5]; Botello AR[6].

[1]Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov", Carretera: Bayamo-Manzanillo Km 16 ½, Peralejo, Bayamo-Granma-Cuba. CP: 85300.
Correo electrónico: abotellol@dimitrov.cu
[2]Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, México.
[3]Instituto de Ciencia Animal, Cuba.
[4]Dirección Provincial de Acuicultura, Granma, Cuba.
[5]Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Granma, Cuba.
[6]Instituto de Medicina Veterinaria, Mayarí, Holguín, Cuba.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el comportamiento bioproductivo al utilizar diferentes niveles de inclusión de ensilaje de pescado pre-.secado con harina de caña (EPPHC) en la alimentación de tilapia *(Oreochromis spp.).* Se formularon cuatros dietas isoproteicas con diferentes niveles de inclusión de EPPHC (0%, 12%, 14% y 16%). Se alimentaron 700 juveniles de tilapia roja (10,48±0,01 g), distribuidos bajo un diseño completamente aleatorizado en siete jaulas por tratamiento (25 peces por jaulas). Después de 60 días, no se presentaron diferencias significativas entre 0%, 12% y 14%, pero si con 16%, en el peso final, incremento de peso diario (g día^{-1}), factor de conversión alimentario y eficiencia alimenticia. Sin embargo, no se observaron diferencias al estimar la tasa de eficiencia proteica y tasa de crecimiento específico. La supervivencia mostró valores de 99 a 100%. Se concluye que el ensilaje de pescado pre-secado con harina de caña se puede incluir en dietas completas hasta un 14% para la alimentación de la tilapia *(Oreochromis spp.)* sin afectar los indicadores bioproductivos.

Palabras clave: alimentación, caña, ensilaje, *Oreochromis spp,* tilapia.

ABSTRACT

This work aims to determine the bio-behavior when using different inclusion levels of pre-dried fish silage and cane meal (PSFSCM) in feed for tilapia (Oreochromis spp.). Four isonitrogenous diets were formulated with different inclusion levels of PSFSCM (0%, 12%, 14% and 16%). Seven hundred Red Tilapia juvenile (10,48 ± 0,01 g), distributed under a completely randomized design in seven cages per treatment (25 fish per cage) were fed. After 60 days, no significant differences were found between 0%, 12% and 14%, but with 16% in the final weight, daily weight gain (g day^{-1}), feed conversion ratio and feed efficiency. However, no differences in estimating the protein efficiency ratio and specific growth rate. Survival showed values from

99 to 100%. We conclude that pre-dried fish silage and cane meal in complete diets can include up to 14% for feeding tilapia (*Oreochromis spp.*) without affecting bioproductive indicators.

Key words: cane, feeding, *Oreochromis spp.*, silage, tilapia.

Introducción

La tilapia es un pez teleósteo, del orden Perciforme perteneciente a la familia Cichlidae, habita la mayor parte de las regiones tropicales del mundo. En Cuba su cultivo puede estar limitado por el incremento actual en el precio de las materias primas para la formulación de los piensos (Toledo 2007). Por lo que cobra gran importancia la búsqueda de materas primas proteicas de menor precio, como los subproductos de la Industria Pesquera; sin embargo, su mayor problema es el rápido deterioro y heterogeneidad. El ensilaje ácido de pescado elaborado con una mezcla de ácidos orgánicos e inorgánicos es una solución viable de preservación de los subproductos pesqueros a un bajo costo pero con un contenido alto de humedad (Borghesi *et al.*, 2007; Botello, 2004). Para disminuir el contenido líquido del ensilaje se empleó la caña de azúcar seca y molida, como un agente higroscópico que originó el EPPHC (Cisneros *et al.*, 1999).
El objetivo del presente trabajo fue determinar el comportamiento bioproductivo al utilizar diferentes niveles de inclusión de ensilaje de pescado pre-.secado con harina de caña en la alimentación de tilapia *(Oreochromis spp.).*

Materiales y Métodos

La caña de azúcar (*Sacharum oficinarum*), deshojada y secada al sol (72 h) se molió y se pasó por un tamiz (250 mm) para obtener la harina de caña. El ensilaje de pescado se elaboró a partir de boquerón (*Ophistonema oglinum*) entero y fresco (subproducto de la fauna acompañante del camarón) el que se mezcló con ácido sulfúrico y se obtuvo el ensilajes de pescado pre-secado con harina de caña (EPPHC) de acuerdo a Cisneros et.al., (1999). Se formularon cuatro dietas con distintos niveles de EPPHC (Tabla I); Control, D12, D14 y D16. La peletización de las dietas se llevó a cabo en un molino de carne con diámetro de 1,5 mm. Las dietas se colocaron en la estufa a 60 ^{0}C durante 8 horas y se tomaron 3 muestras de 100 g por cada dieta para la composición química.

Tabla I. Ingredientes de las dietas experimentales.

INGREDIENTES	**Niveles de Inclusión (%)**			
	Control	**D12**	**D14**	**D16**
Harina de Pescado	20,00	13,16	12,18	11,20
EPPHC	-	12,00	14,00	16,00
Harina de Soya	31,50	33,40	33,63	33,98
Harina de Maíz	15,35	8,29	7,04	5,67
Harina de Trigo	25,00	25,00	25,00	25,00
Aceite de Soya	2,50	2,50	2,50	2,50
Cloruro de Sodio	0,15	0,15	0,15	0,15
Premezcla de Vitaminas	1,00	1,00	1,00	1,00
Premezcla de Minerales	1,00	1,00	1,00	1,00
Bentonita	2,50	2,50	2,50	2,50
Fosfato Monocálcico	1,00	1,00	1,00	1,00
Total (%)	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**

La composición química de los alimentos se realizó por medio de los métodos estándares descritos por la A.O.A.C (1995). La energía digestible (ED) se calculó de forma teórica de acuerdo a New (1987) a partir de los factores de conversión de 3.00 kcal g^{-1} de alimento, para carbohidratos (no leguminosa) y 2.00 (leguminosa), 4.25 proteína animal, 3.80 proteína vegetal y 8.00 para lípidos.

El bioensayo se realizó en la Estación de Alevinaje "ACUIPASO" ubicada en el municipio de Bartolomé Masó, provincia Granma, Cuba. Se emplearon 700 alevines machos de tilapia *(Oreochromis spp.)*, 25 por cada unidad experimental. Las tilapias se adaptaron al sistema durante 7 días recibiendo alimento comercial de tilapia, según Toledo (2007). Organismos de 10.48 ± 0.01 g, (±0.01 g) se distribuyeron en 28 jaulas rectangulares (7 jaulas por tratamiento) de 0.256 m^3 (0.8 m alto, 0.8 m largo y 0.4 m ancho) cada una, construida con un marco de cordeles de hilo y mallas de hilo de 10 mm. Las jaulas fueron suspendidas dentro de un solo estanque circular de hormigón (8 m diámetros y 2 m alto) ubicado en una nave techada. Se utilizaron comederos tipo charola elaborados a partir de una malla de 0.5 mm (0.4 m largo y 0.4 m ancho) para cuantificar la cantidad de alimento consumido. El experimento tuvo una duración de 60 días. El flujo de agua se estandarizó a razón de 0.47 l seg^{-1}. La frecuencia de alimentación fue de 3 raciones diarias (7:30 AM, 11:30 AM y 3:30 PM) con una tasa de alimentación de 4 % con relación al peso corporal $día^{-1}$, de acuerdo a Fagbenro (1994). Los organismos se pesaron individualmente (0, 15, 30, 45 y 60 días). La temperatura, concentración de oxígeno disuelto (oxímetro Oxyguard MK III) y el pH se registraron a diario antes de cada alimentación, mientras que nitritos, nitratos y amonio cada 10 días (espectrofotómetro YSI 2030). El bioensayo se desarrolló bajo un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos acorde al nivel de inclusión de EPPHC (0, 12, 14 y 16%) con siete repeticiones (25 peces por repetición). A los parámetros investigados se les realizó un análisis de varianza de clasificación simple, previa comprobación de la normalidad de la distribución por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de las varianzas según prueba de Bartlett. Las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey, mediante el software informático de cálculo STATISTICA®, versión 6.0 para Windows 2000.

Resultados y Discusión

La caña de azúcar mezclada con ensilaje ácido de pescado da lugar al EPPHC con una composición química promedio (Tabla II) donde se observa un incremento de PC hasta 29,8%, lo cual concuerda con resultados anteriormente publicados (Cisneros *et al.* 1999 y Rodríguez 2007). El análisis químico efectuado a los piensos (Tabla II) confirmó que son fórmulas isoproteicas, con valores medios de PC (30,0%). De acuerdo a resultados previos (Jauncey y Ross 1982), tilapias de peso entre 6-30 g, requieren niveles de PC de 30-35%, por lo que las dietas formuladas aquí presentan la concentración necesaria.

Tabla II. Composición química (base seca) de las dietas y EPPHC.

NUTRIENTES	EPPHC	**Tratamientos**				
		Control	**D12**	**D14**	**D16**	**ES±**
Composición química (%)						
Materia seca (MS)	90,5	92,3	92,1	92,0	92,0	0,22
Proteína cruda (PC)	29,8	30,0	30,1	30,0	30,0	0,22
Grasa cruda (GC)	3,5	5,9	5,7	5,6	5,6	0,26
Fibra cruda (FC)	13,3	2,1	3,3	3,5	3,7	1,12
Cenizas	12,1	10,8	11,8	11,8	11,9	0,22
Extracto Libre de Nitrógeno (ELN)	41,2	51,2	49,2	49,0	48,9	1,15
Valores calculados						
ED (Kcal g^{-1} de alimento)		2,7	2,7	2,7	2,7	
PC ED^{-1} (mg PC $Kcal^{-1}$)		101,0	102,2	102,4	102,8	
FC Origen EPPHC $FC\ Total^{-1}$ (%)		-	47,6	52,5	56,9	

ES = Error Estándar.

Los niveles de FC aumentaron en las dietas hasta 3,7% a medida que se incrementó el EPPHC, al mismo tiempo, el aporte de FC del EPPHC con relación a la FC total (%) de las dietas fue aumentando según se incrementó el EPPHC de 47.6 a 56.9% (tabla II). Al respecto, se recomienda hasta un 4% de FC (Shiau *et al.* 1989) como valor general, en dietas para la nutrición de tilapias, sin tener en cuenta los niveles permisibles de lignina, celulosa y hemicelulosa. Resultados anteriores demuestran que la composición nutritiva del EPPHC con valores promedios en base seca de FC (12.6%), 16.4% de celulosa, 10.2% hemicelulosa y 4.8% lignina podían afectar la digestibilidad de los nutrientes en monogástricos (Rodríguez 2007).

La ED fue de 2.7 Kcal g^{-1} alimento, cerca de lo reportado por Llanes *et al*. (2007) de 2.6 Kcal g^{-1} alimento en dietas para la tilapia (*Oreochromis spp*.). La relación proteína/energía (mg PC $kcal^{-1}$ ED) de las dietas balanceadas se encontraron de 101 a 103 (tabla II), quedando dentro de los índices reportados para tilapias de 5–50 g, de 100 a 108 (El-Dahhar y Lovell, 1995; El-Sayed, 1987; Winfree y Stickney, 1981).

La respuesta de los indicadores bioproductivos (Tabla III) se encontró que el promedio del peso final (PF) del tratamiento T16 (33,2 g), presentó diferencias significativas con el grupo Control (33,8 g). La característica principal que distingue a los animales de este grupo es que recibieron un dieta con un nivel de FC (3,7%) mayor, lo que aparentemente debió haber afectado la digestibilidad del resto de los nutrientes. Anteriormente Rodríguez (2007) demostró, en gallinas ponedoras, que al aumentar los niveles de EPPHC **y**

por tanto de FC, la digestibilidad de la dieta se afecta. Esto pudiera significar que un nivel de fibra de 3.7% no es deseable a diferencia de lo reportado anteriormente del 4% (Shiau *et al.*, 1989).

En el incremento de peso diario (g día^{-1}), no se observaron diferencias significativas entre el Control, T12 y T14, con valores promedio de 0.39 g día^{-1}, pero si con relación a T16. Sin embargo, Fagbenro y Jauncey (1994) obtuvieron valores mayores (0,8 g día-^{1}) pero con alevines de pez gato africano *Clarias gariepinus* (especie con mayor tasa de crecimiento) y alimentados con dietas que contenían harina y ensilajes de pescado.

Resultados anteriores demuestran que al sustituir harina de soya por harina de algodón en 6 niveles del 0 al 56%, con 31% de PC para alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus*) se obtuvo una TEP del 2.5, superior a los aquí reportado (2.1) (Yue y Zhow (2008). De la misma manera, se han reportado valores de 1.9 a 2.0 con alevines de tilapia (*Oreochromis niloticus*) alimentados con dietas a las que se le había incluido ensilados de pescado (Fagbenro 1994).

Tabla III. Índices biológicos en la tilapia alimentadas con EPPHC.

Indicadores	**Tratamientos**				
	T0%	**T12%**	**T14%**	**T16%**	**ES±**
Peso inicial (g)	10,48	10,49	10,48	10,46	0,009
Peso final (g)	33,74^{a}	33,69^{ab}	33,65^{ab}	33,17^{b}	0,07
Incremento peso diario (g día^{-1})	0,39^{a}	0,39^{a}	0,39^{a}	0,38^{b}	0,009
Tasa de eficiencia proteica	2,09	2,09	2,10	2,07	0,004
Factor de conversión alimenticia	1,73^{a}	1,73^{a}	1,73^{a}	1,75^{b}	0,004
Supervivencia (%)	99,00	99,00	100,00	99,00	

ES = Error Estándar. Superíndices distintos difieren significativamente (p<*0.05*), dentro de las filas. Peso inicial (PI) y Peso final (PF) Incremento de peso diario, IPD = PF-PI/ tiempo de cultivo (1). Tasa de eficiencia proteica, TEP = ganancia en peso / proteína consumida (2). Factor de conversión alimentario; FCA = alimento consumido / ganancia en peso (3). Supervivencia, S = No. animales finales / No. de animales iniciales x 100 (4).

El FCA, fue similar para las dietas Control, T12 y T14, con valores promedio de 1.7, pero con relación a T16 si hubo diferencia (1.8), tratamiento que presentó el nivel más alto de FC (3.7), lo cual es el resultado del valor de la eficiencia proteica y por ende del crecimiento. Mientras que Llanes *et al.* (2007) utilizaron dietas hasta un 40% de ensilajes de pescado obtuvieron valores superiores de 3.6 de FCA en alevines tilapia roja (*Oreochroomis spp*).

La supervivencia de los alevines en todos los tratamientos fue alta (99-100%), reflejo de un desempeño adecuado de los alevines a lo largo del experimento. La temperatura promedio del agua durante el bioensayo fue de 27.5^{o}C con valores promedios de concentración de oxígeno disuelto de 4.2 mg L^{-1}. Los nitratos con 0,04 mg L^{-1}, nitritos de 0,02 mg L^{-1} y el amonio, 0,005 mg L^{-1}, todos los valores se mantuvieron dentro del rango fisiológico para el cultivo de esta especie (Toledo, 2007).

Conclusiones

El ensilaje de pescado pre-secado con harina de caña se puede incluir en dietas completas hasta un 14% para la alimentación de la tilapia *(Oreochromis spp.)* sin afectar los indicadores bioproductivos.

Referencias

1. AOAC. (1995). Official Methods of Analysis. 16 th. Edition (1).
2. Borghesi, R., Portz, L., Oetterer, M., Cyrino, J.E.P. (2007). Apparent digestibility coefficient of protein and amino acids of acid, biological and enzymatic silage for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquacult Nutr. 3:1–7.
3. Botello, A.L. (2004). Utilización de diferentes ensilados químicos de pescado en la alimentación de alevines del pez gato africano (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822). Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Biología Marina con mención en Acuicultura. Centro de Investigaciones Marinas. Universidad de La Habana. Cuba.
4. Cisneros, M., Otero, M., Castillo, E., Miranda, O., Rodríguez, R., González, J.L., Betancourt, M. y Fonseca, J. (1999). Informe Final de Proyecto 0800030. Harina de Caña enriquecida con proteínas para la ceba de pollos y peces. Centro de Estudio de Producción Animal, Universidad de Granma, Cuba.
5. El-Dahhar, A.A., Novell, R.T. (1995). Effect of protein to energy ratio in purified diets on growth performance, diet utilization and body composition of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Peters). Aquacult Res. 26: 451-457.
6. El-Sayed AFM. 1987. Protein and energy requirements of Tilapia zillii. Doctoral dissertation, Michigan State University, East Lansing, Michigan.
7. Fagbenro, O., Jauncey, K. (1994). Growth and protein utilization by juvenile catfish (*Clarias gariepinus*) fed moist diets containing autolysed protein from stored Lactic-acid-fermented fish-silage. Bioresource Technol. 48:43-48.
8. Fagbenro, O. (1994). Dried fermented fish silage in diets for *Oreochromis niloticus.* ISR J Aquacult. BAMID. 46: 140-147.
9. Jauncey, K., Ross, B., A. (1982). Guide to Tilapia Feeds and Feeding. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland.
10. Llanes, J.E., Toledo, J.P. y Lazo, José., M.V. (2007). Tecnología de producción de alimento semi-húmedo a base de ensilados de residuos pesqueros en la alimentación de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus x Oreochromis niloticus). Disponible en:* http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090907.html *[Consulta: febrero 10 2008]*.
11. New, M.B. (1987). Feed and Feeding of Fish and Shrimp. A Manual on the Preparation of Compound Feeds for Shrimp and Fish in Aquaculture. FAO, Rome, Italy.
12. Rodríguez, R.B. (2007). Valor nutritivo de la Harina de Caña Proteica y su inclusión en la alimentación de gallinas ponedoras White Leghorn L_{33}. Tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias. Ministerio de Educación Superior, Universidad de Granma-Instituto de Ciencia Animal.
13. Shiau, S.Y. Kwok, C.C., Chen, C.J., Hong, H.T.Hsteh , H.B. (1989). Effects of dietary fiber on the intestinal absorption of dextrin, blood sugar level and growth of tilapia, *Oreochromis mossambicus x Oreochromis aureus.* J Fish Biol. 34:929-935.
14. STATISTICA® For Windows. 6.0.(2000). http:// http://www.statsoft.com
15. Toledo, J.P. (2007). Procedimientos operacionales de trabajo para los aspectos nutricionales del cultivo de la tilapia. Ministerio de la Industria Pesquera. Cuba. 9 p.
16. Winfree, R.A., Stickney, R.R. (1981). Effects of dietary protein and energy on growth feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aureus.* J Nutr. 111:1001-10.
17. Yue, Y.R., and Zhou, Q.C. (2008). Effect of replacing soybean meal with cottonseed meal on growth, feed utilization, and hematological indexes for juvenile hybrid tilapia, Oreochromis niloticus x O. aureus. Aquaculture. 284:185–189.

SISTEMA INTEGRAL PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE ALIMENTO ANIMAL EN LA UEB "ANTONIO SÁNCHEZ"
INTEGRAL SYSTEM PROCESS FOR SUSTAINABLE ANIMAL FOOD PRODUCTION IN "ANTONIO SANCHEZ"

MSc. Carmen Amarilys Guevara Rodríguez [(1)], Dr. Antonio Bell García [(1)] y MSc. Danilesvy Mijares Mena [(2)]

(1) Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA).Vía Blanca 804. Esquina Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba. CP 11000

(2) Empresa de servicios técnicos industriales (ZETI). UEB Asistencia técnica. Calle 27 y B Vedado: La Habana. Cuba. CP 10400.

Resumen:

El objetivo del trabajo radica en el diseño de un sistema integrado de procesos tecnológicos aprovechando las producciones establecidas en la UEBD Antonio Sánchez, combinadas con nuevas tecnologías para el aprovechamiento óptimo de los productos, subproductos y residuales, de la producción de alcohol y producciones agrícolas para la fabricación y formulación de alimentos secos balanceados, alcanzando producciones de 3350 t/año de piensos o núcleos según el caso, en los cuales participan además de la torula forrajera, granos, salvado de arroz y otros, que en conjunto representan ahorros de importaciones por valor de 1.8 MM de USD, resultando el proyecto viable económicamente y ambientalmente sostenible.
Palabras claves: integración, procesos, derivados, alimento animal, piensos, núcleos.

Abstract

In a paper is showed the development of a technological process using the productions established in Antonio Sánchez mill combined with optimal utilization the ethanol production residues in a production of fodder yeast as well as products and by products from agricultural crops such as grains and rice and among others, in order to develop the formulation of different dry concentrated animals fed in order of 3350 t/year. These entire production permit changeover imported products and saving the derogation of almost 1.8 million dollars taking into account the Environmental friendship.
Key words: Integral, process, forest yeasts, animal food.

Introducción:

El aprovechamiento de los residuos y subproductos generados por la agroindustria azucarera reconvertidos a productos con valor agregado redunda beneficiosamente para la economía empresarial y su vez como medida de preservación del medio ambiente y en beneficio de la sociedad. El proyecto en su integralidad promueve la sostenibilidad de las producciones existentes, empleando además los residuos y/o residuales generados por los procesos, de forma tal que el denominado dilema del desarrollo humano local en su apertura al nuevo milenio dentro de las problemáticas que motivan las

principales inquietudes de la humanidad (alimentación, medio ambiente y empleo) Strapasson (2006) y Almazán (1967), no constituyen una carga al medio ambiente en este caso particular y brinda adecuada respuesta a los problemas locales.

La insuficiencia alimentaria nacional agravada por la escasez de pastos y forrajes de calidad y otros alimentos que podrían ser aportados por la agricultura, entre los cuales se encuentran los granos como la soya y el maíz, elevada insuficiencia de alimentos y agua durante los prolongados periodos de seca y el incremento de precios en el mercado internacional de todos aquellos productos relacionados con este fin, obligan a tomar decisiones a corto plazo para alcanzar y mantener posteriormente la soberanía alimentaria de la nación. Un ejemplo de ello se presenta en la tabla No I. En la misma, de 5 alimentos importados para uso en alimento animal, 4 de ellos (80%), han incrementado su precio en más del 45% acorde con Leyva (2011). Esto impone trazar una estrategia que permita lograr una suficiencia alimentaria para la masa ganadera con el uso de materias primas de producción nacional y la producción de alimentos utilizando prácticas sostenibles, utilizando esquemas tecnológicos productivos que integren los componentes en un sistema productivo integral y diversificado, que mitigue el efecto ambiental y donde se aprovechen los residuales de la agroindustria azucarera para evitar erogaciones de significación en granos y cereales, que en la actualidad alcanzan altos precios Preston (2001).

Tabla1: Precios en el mercado mundial de cinco alimentos de importación básicos (UM: USD/TM).

Producto	**Precio promedio 2010**	**Precio actual**	**Diferencias**
Trigo	280	411	+ 131 (+47 %)
Maíz	240	388	+ 148 (+62 %)
Harina de soya	412	433	+ 21 (+5 %)
Aceite de soya	992	1442	+ 450 (+45 %)
Leche en polvo	3125	4930	+1805 (+58%)

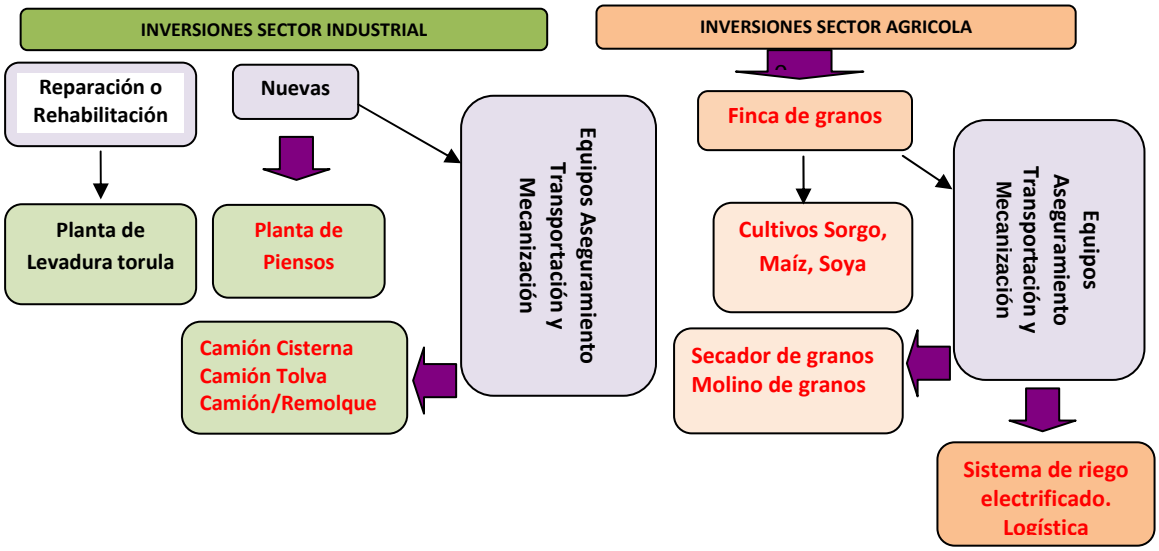
Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y dando cumplimiento a los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, No.136 y 212, que sitúan la producción de azúcar, derivados de la caña, alimento animal y el medio ambiente en un lugar preponderante, nos propusimos en el trabajo como objetivo evaluar un sistema tecnológico de integración de procesos para la producción de alimento animal, factible económicamente, a partir del desarrollo de un esquema agroindustrial para la producción de alimento animal (piensos y/o núcleos), elaborando la ingeniería conceptual de la fábrica de piensos, las formulaciones de los alimentos balanceados, el diseño de una finca de granos y las áreas forrajeras para complementar el balance alimentario de los animales, evaluándola económicamente.

Materiales y Métodos:

Se tomó la UEBD “Antonio Sánchez” como polígono para el desarrollo de un programa sostenible para la alimentación y desarrollo pecuario dentro del antiguo sistema MINAZ, el cual, tomando como punto de partida la existencia de un central azucarero, una destilería y una planta de levadura torula, se diseñó un sistema anexo que permitiera producir alimentos balanceados para diferentes especies de animales y sus respectivas categorías.

Para ello se deberían acometer inversiones para la rehabilitación de la planta de levadura, así como enfrentar nuevas adquisiciones entre las que se destacan; una planta para la producción de los alimentos balanceados, el desarrollo de una finca de granos y forrajes y la adquisición del equipamiento necesario para el procesamiento de arroz para que en alianza con los productores privados de la zona vinculados a la producción de arroz popular, obtener derivados de este cultivo. La figura No 1 muestra el esquema integral del desarrollo propuesto.

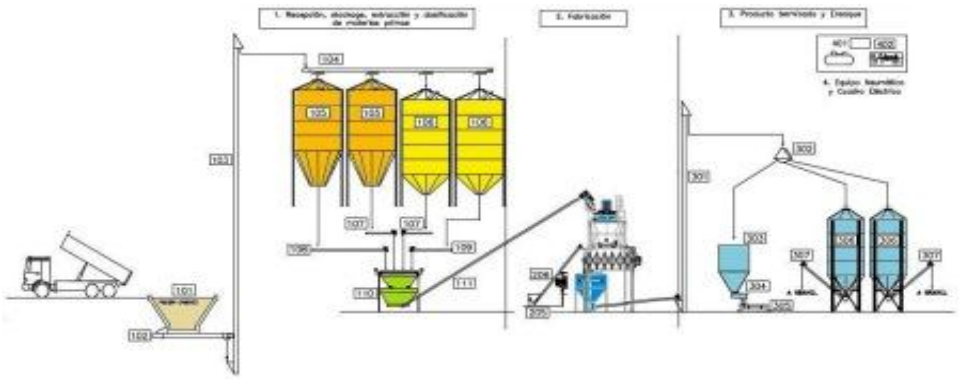
Figura 1. Esquema integral de desarrollo.



La planta de alimentos concentrados ha sido concebida acorde con procesos contemporáneos, de carácter automático, siendo la primera de su tipo en el grupo AZCUBA. Esta por sus características tecnológicas permite la producción de alimentos concentrados balanceados en estado seco, donde la fuente de proteína que prevalece es la levadura torula a partir de vinaza en base seca, destinados a la producción de piensos bovinos y porcinos, fundamentalmente para satisfacer los requerimientos nutricionales de la especie y categoría a la cual sea destinado.

El flujo tecnológico de la planta se sustenta como la mayoría de su tipo en las siguientes operaciones: molida o molturado de todas las materias primas en un molino centrífugo, integración de las diferentes corrientes que participan en el alimento y según formulación tipo en una mezcladora vertical con capacidad de 1 tonelada. El producto final es ensacado y posteriormente cosido. Igualmente contará con almacenes destinados para las materias primas y aditivos (fosfato dicálcico, cloruro de colina, levadura torula, cloruro de sodio y premezclas, así como para los productos finales. (Piensos y/o núcleos). En figura No 2 se muestra un esquema del flujo productivo de la planta.

Figura No 2. Esquema de la planta de alimentos balanceados.



La instalación cuenta además con facilidades requeridas para el pesaje de las materias primas que llegan a la planta, en este caso indistintamente procedentes del puerto, proveedores agrícolas o industriales, así como el control de salida de las producciones terminadas. Se presentan algunas imágenes de la planta características de diferentes momentos del proceso productivo en las figuras No 3, 4 y 5.

Figura No 3. Alimentación y molturado

Figura No 4. Composición y mezclado

Figura No 5. Ensacado y cosido

Las formulaciones para los alimentos a producir en la planta de alimentos balanceados, se plantearon y calcularon con ayuda del sistema computacional (NUTRION-5), para garantizar una adecuada alimentación por especie y las diferentes categorías animales, estableciendo restricciones como estar integrados como mínimo por un 80% de subproductos y productos de la agroindustria azucarera, agrícola y un mínimo de componentes importados.

Los productos a formular considerando los ingredientes anteriormente enunciados bien provenientes de la industria azucarera o sus derivados, la finca de granos así como las importaciones de los micro componentes o de las eventuales importaciones al país de otros renglones aparecen a continuación:

- Núcleo (activador ruminal) para rumiantes (vacas y toros en ceba) compuesto por ingredientes como la levadura torula de vinaza, urea, sorgo, salvado de arroz, fosfatos, carbonatos, azufre, cloruro de sodio y la premezcla minero vitamínica (30-004), el cual aparece representado en la tabla II.

Tabla II. Aportes nutritivos del núcleo para Bovinos.

Aportes % (base húmeda)	UM		Razones	
Materia seca	%	90,5	N : S	10 : 1
Proteína bruta (N x 6,25)	%	44,1	Ca : P	1 : 1
Calcio	%	1,6	Ca : Mg	3 : 1
Fósforo	%	1,4		
Magnesio	%	0,6		
Azufre	%	0,7		
Energía Metabolizable	Mcal/Kg	2,1		

– Pienso criollo para bovinos: compuesto por: harina de maíz o sorgo, salvado de arroz, fosfatos, levadura torula, carbonatos, cloruro de sodio, premezcla minero vitamínica (33A-022), cloruro de colina, que realiza el aporte de nutrientes que se refleja en la tabla III.

Tabla III. Aportes nutritivos del pienso para bovinos.

Aportes	UM	
Materia seca	%	88
Proteína Bruta (mínima)	%	14 - 21
E. Metabolizable (mínima)	Mcal/Kg.	2,9 - 3,3
Calcio total	%	0,5-1,3
Fósforo total	%	0,6 - 0,9

– Pienso criollo para la categoría de crecimiento y ceba porcina (animales entre 76 –210 días), bromatológicamente mostrado en la tabla IV.

Tabla IV. Aporte de nutrientes del pienso ceba porcino.

Aportes	UM	
Materia seca	%	88
Proteína bruta	%	16
Calcio	%	0,54
Fósforo	%	0,68
Energía Metabolizable	Mcal/kg	2,9

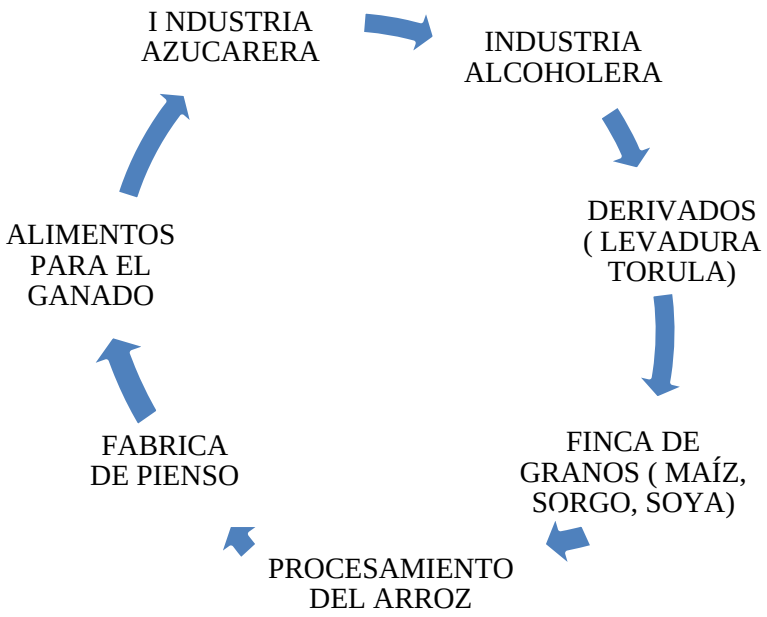
Esta producción se concibe para mantener una población animal de 400-500 reproductoras porcinas con sus descendientes con una ganancia promedio de mínima de 600gramos y 1000 cabezas de bovinos durante todo el año con ganancias de peso estimadas de -1 a 1.2kg. Período en el cual la totalidad de las producciones brindan las utilidades que hacen viable económicamente este esquema productivo. Para el cálculo económico se tuvieron en cuenta las fichas de costos establecidas por la Dirección de Planificación, Economía y Contabilidad de MINAZ (2011) y los costos de importación de las materias primas y alimentos fijados por Alimport para el año 2011.

Resultados y discusión.

Como parte de nuestros resultados se materializa un desarrollo agroindustrial y pecuario integral que sustenta localmente un desarrollo pecuario importante sobre una base ecológicamente sustentable por cuanto se planifica además de lo anteriormente plasmado, el tratamiento de los residuales generados por

la producción animal y la agricultura. El esquema que mejor representa la concepción del sistema es el que aparece en la figura No 3, en el cual se persigue lo planteado por autores tales como Funes y Claverías (2001) y también Mesa y Llanes (1997), que aseveraron, que los desechos de un proceso pueden ser la materia prima de otro y así sucesivamente hasta formar un ciclo cerrado.

Figura No 6. Diseño de la integración de los procesos



Los elementos que hemos asumido para el cálculo de los ingredientes que sustentan el programa son como siguen:

- **a.** La producción de alcohol a partir de las mieles de caña constituye, en general, un objetivo obligado en cualquier esquema de diversificación de la agroindustria azucarera, asociada a las tendencias mundiales favorables de su comercialización, necesidades dentro del mercado nacional para la producción de ron y de aguardiente y potencialidades como carburante sustitutivo o desarrollo de la alcoquímica. Por otra parte, el tratamiento de sus residuales viabiliza localmente la disminución de costos de la producción de proteínas. Por esta vía se pueden obtener como promedio en beneficio de nuestro esquema 4500toneladas anuales de levadura torula que constituye una fuente apreciable de proteína, aminoácidos, y vitaminas del complejo B, que sustituirá la importación de la misma cantidad de harina de soya. Esto representa según Leyva (2011) un ahorro de 1.2 MM USD atendiendo al costo de producción según la fichas de costos del MINAZ (2011).
- **b.** Por el servicio prestado a los productores de Arroz, (secado y molinado), se obtienen 3000 t de salvado, como resultado del procesamiento de 30000 t de arroz bs/año.
- **c.** Con la producción de granos (1656.6t/año) y el Salvado del arroz (3000t/año), se sustituye la importación de 4600t de cereales, lo que significa un ahorro de 1.8 MM USD considerando como referencia los valores de importación del maíz citados por Leyva (2011) y el costo de producción determinado en la fichas de costo del MINAZ (2011).
- **d.** Con la disponibilidad de granos, salvado de arroz y levadura torula, se producen en la planta de piensos (10t/día de productos en 8horas de trabajo), como mínimo 3350t/año, quedando a

voluntad de la empresa explotar la planta un segundo turno e incrementar la utilidad producida por la inversión.

e. Los alimentos tendrán como característica fundamental que el 80% de sus ingredientes lo constituyen materias primas producidas dentro del esquema de desarrollo concebido para la UEBD y con un mínimo de componentes importados. Se coincide con lo planteado por Cabello (2002), que el formular alimentos integrales en base a caña y sus subproductos, disminuyendo excesivamente la participación de otros elementos o productos que no se producen dentro del sector azucarero es un error, de aquí la participación agrícola en el contexto del proyecto.

f. El alimentar la masa ganadera (porcina y vacuna) por los sistemas tecnológicos de alimentación recomendados por Rodríguez et al. (2011) y Piloto et al (2008a, b), utilizando alimentos balanceados, permitirá por el concepto de la producción de carne y leche la sustitución de importaciones por un valor mínimo de 1.2 MM USD anualmente.

La evaluación técnico económica del proyecto refleja indicadores económico-financieros favorables a la inversión, por cuanto se obtiene un valor actualizado neto (VAN) mayor que cero y una tasa interna de recuperación (TIR) superior a la tasa de actualización utilizada (10%) para la inversión; para el análisis del rendimiento de la inversión.

Desde el punto de vista del proyecto, este es viable, pues se reportan flujos monetarios positivos al registrar beneficios en su vida útil para la moneda analizada, que permiten que el capital invertido y el capital social se financien con los resultados obtenidos por la inversión.

Conclusiones

1. Se logra dentro del sector azucarero cubano, ejecutar un sistema tecnológico integrando procesos agroindustriales y agrícolas para producir de forma sostenible y sustentable ecológicamente alimento balanceado de las categorías de piensos y/o núcleos en cantidad de 3350toneladas anuales de elevado impacto para el desarrollo pecuario local.
2. La integración de procesos realizada en la Unidad Empresarial de Base Derivados “Antonio Sánchez” resulta capaz de producir alimentos constituidos en un 80% por materias primas producidas de la localidad bajo un esquema que incluye la producción industrial y la agrícola para un mismo fin.

Recomendaciones

Ejecutar donde existan las condiciones de base similares a la de la UEBD Antonio Sánchez este proyecto, teniendo en cuenta los resultados positivos que representa para la economía del país.

Referencias bibliográficas

Almazán, O y Gregr, V. (1967).Significado de la investigación para el desarrollo de la industria de fermentación en Cuba”. Cuba azúcar, Vol. XVIII, abril/marzo.

Alimport. Precios de importación planificados para el año 2011. Cuba. MINCEX.

Cabello, A. (2002).Los sistemas agroalimentarios actuales y la caña de azúcar: un análisis comparativo. Monografía. La Habana. ICIDCA, pág. 156.

Claverías, R. (2001). Pobreza y tendencias sostenibles de la ganadería en el altiplano peruano. LEISA Revista de agroecología, vol. 18, pag.28. Disponible en Web: http://www.agriculturesnetwork.org/. Consultado 20 agosto del 2012.
Funes, F.; Del Río, J. (2001). Experiencias agropecuarias sostenibles en una finca cubana. LEISA Revista de agroecología, vol.18.pag.18. Disponible en Web**:** http://www.agriculturesnetwork.org/. Consultado 20 agosto del 2012.
Leyva, A. I. (2011).Evolución de los precios en el mercado mundial de cinco alimentos de importación básicos (UM: USD/TM, PUESTO EN CUBA) Granma Internacional Digital. La Habana, 15 de abril del 2011. Disponible en Web: http://www.granma.cu/**.**Consultado el 20 mayo del 2011.
Lineamientos de la política económica y social del Partido Comunista de Cuba. (2011). La Habana. Cuba.
Mesa, J.; González, L.; Llanes, J. (1997). Caracterización preliminar del mercado de cultivos alternativos a la caña de azúcar para alimento animal. Revista ICIDCA. No. 2, pág. 60.
MINAG. (2002). Tecnología para la Producción de Semilla de Sorgo", Ministerio de la Agricultura, Ciudad de La Habana. Cuba.
MINAG. (2002). Tecnología para la Producción de Semilla del Maíz", Ministerio de la Agricultura, Ciudad de La Habana. Cuba.
MINAZ. (2011). Fichas de costos. Dirección de Economía y Contabilidad. Revisado enero 2012.
NUTRION Software. BÁSICO-PRO Manual de Operación. Versión 5. 2009. Sitio Web: www.nutrion.com.
Preston, T. R. (2001). Hacia sistemas integrados a partir de recursos locales LEISA Revista de agroecología.Vol.18, pág.17. Disponible en Web: http://www.agriculturesnetwork.org/. Consultado 20 agosto del 2012.
Piloto, J.L.; Mederos, C.M.; Almaguel, R.; Camino, Y. y Tolón, N. (2008a). 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. In: Seminario Internacional de Porcicultura Tropical. La Habana, versión electrónica disponible en disco compacto ISBN-978- 959-075-3.
Piloto, J.L., Mederos, C.M. y Almaguel, R.E. (2008b). Utilización de Levadura torula obtenida a partir de vinazas como fuente de proteína y vitaminas del complejo B en dietas de cereales para cerdos en crecimiento. In: Seminario Internacional de Porcicultura Tropical. La Habana, versión electrónica disponible en disco compacto ISBN-978-959-075-3.
Rodríguez, V.; Guzmán J.; Ruíz, R.; Martín, P.C. (2011). Manual sobre el sistema tecnológico para la producción de leche a base de pastos durante la estación de lluvia y forraje de caña de azúcar más pastoreo restringido durante la estación de seca.
Strapasson, A. (2006).Etanol y medio ambiente. Taller internacional sobreproducción y usos del etanol. Diversificación 2006, La Habana, junio 19-21

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTO ENSILADO COMO DIVERSIFICACIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

FOOD PRODUCTION PLANT ENSILAGE DIVERSIFICATION OF THE SUGAR INDUSTRY

Autores: Arelys Vázquez Peña[1], Pedro Lezcano Perdigón[1], Alexys Rodríguez Bolaños[2], Yaneisy García Hernández[1], Orlando Cerso García[3], Jorge Luis Piloto[4], Osney Pérez Acosta[1], Zoraya Rodríguez Alonso[1], Ramón Bocourt Zalabarria[1], Raúl Cobo Cuña[1], Daylin Sosa Cossio[1], Duniet Pérez Acosta[1], Idania Scull Rodríguez[1].

Instituto de Ciencia Animal
Carretera Central Km 47 ½, San José de las Lajas, C.P 32700. Mayabeque, Cuba
avazquez@ica.co.cu,
2 Unidad Empresarial de Base Derivados Mayabeque (UEB de Derivados)
Empresa azucarera "Héctor Molina Riaño", San Nicolás de Baris, Mayabeque, Cuba
3 Grupo Azucarero AZCUBA
Calle23, NO. 171 e/ N. y O, Plaza de la Revolución, CP 10400, La Habana, Cuba

RESUMEN

La ganadería porcina a nivel mundial, adolece del uso eficiente de los subproductos agroindustriales y de las cosechas y sus residuos. Diversificar la industria azucarera, buscando opciones de producción de alimento animal a partir de sus subproductos, derivados y residuos (miel B, crema de levadura Sacharomyces cerevisiae, vinaza) con la incorporación de viandas tropicales está entre los objetivos de trabajo del Instituto de Ciencia Animal de la República de Cuba. El alimento ensilado para cerdos de nueva creación es energético y cubre las necesidades de los cerdos en crecimiento–ceba hasta un 66 %, con ganancias de peso vivo por animal/al día superior a los 840 g. La planta de Ensilaje de 5000 m^2, produce 45 t/día, 300 días/año, beneficia más de 25000 cerdos/año, representando 1800 t de carne en bandas. El alimento enriquecido con forrajes proteicos, con sustitución total de los piensos tradicionales superó las expectativas en cerdos, cerdas lactantes y gestantes, con ganancias comparables a la ceba tradicional. La única planta de su tipo en el mundo, obtiene un producto de composición bromatológica estable, con calidad higiénico-sanitaria dentro del límite de tolerancia establecido en la NC 585:2008. No sé aplica antibióticos ni antiparasitarios a los animales que lo consumen ni se observan macroscópicamente lesiones en sus órganos. Los rendimientos al sacrificio y la composición de la canal son comparables con dietas convencionales. Para comenzar en el 2013 se dejó de importar 10000 t de maíz para suplir con ensilaje, con un ahorro por sustitución de importaciones de 4,7 millones de dólares.

Palabras clave: Alimento, ensilado, cerdo, ganancias, importaciones

ABSTRACT

Pig livestock worldwide lacks the efficient use of agro-industrial sub products and residues from harvests. The diversification of the sugar industry, searching for new options in animal feeding from sub products and derivates (molasse B, Sacharomyces cerevisiae yeast cream, vinasse) together with the adding of tropical viands is among the working objectives of the Institute of Animal Science of Cuba. Brand new ensilage food

for pigs is energetic and supplies the pigs' growing-fattening necessities up to 66%, with liveweight gain animal/day above the 840 g. The 5000 m2 Ensilage Plant produces 45t/d, 300 days/year and benefits more that 25 000 pigs/year, representing 1 800 t of meat in bands. The food enriched with protein forage, with total substitution of traditional fodders, surpassed all expectations in pigs, female suckling and breeders, with gains equal to traditional fattening. This plant, unique in the world, obtains a product of stable bromatological composition, with high hygienic quality within the tolerance limits established by the NC 585:2008. Antibiotics or antiparasitaries are not used on the feeding animals and macroscopic lesions in organs are not observed either. The performance at sacrifice the carcass composition are comparable to conventional diets. As a start, 10000 t of corn were not imported in 2013 to supply with ensilage with an importation saving of 4.7 million USD.

Key words: Feed, ensilage, pigs, imported, liveweight

INTRODUCCIÓN

A finales de la década de los 60, el Instituto de Ciencia Animal (ICA) de la República de Cuba comienza a investigar en el uso de la caña de azúcar en la alimentación animal con el aprovechamiento de sus subproductos y derivados. La vinculación del ICA con Ministerio de Azúcar, hoy Grupo Azucarero AZCUBA data casi desde su fundación en el 1965. Por la diversificación de la agroindustria azucarera y la imperiosa necesidad de producción de alimento animal a partir de fuentes nacionales, es que se reafirman las acciones de colaboración desde el 2008 con el Grupo de Alimento Animal (GAA) de AZCUBA con el objetivo de asesorar y transferir las tecnologías desarrolladas por el ICA. En el año 2011, el ICA y el Grupo Azucarero, desarrollaron un proyecto con el objetivo de producir y evaluar un alimento animal, elaborado a partir de productos y subproductos de la industria azucarera y del sector agrícola, al trabajo se fueron integrando Ministerios como: Agricultura (MINAG), Economía y Planificación (MEP), Finanzas y Precios (MFP), Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) e instituciones como: Instituto de Pastos y Forrajes (IPF), Instituto de Investigaciones Porcina (IIP), Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT) y el Instituto de Medicina Veterinaria (IMV).

La concepción del proyecto surge por la necesidad de dar respuesta a escala industrial, de la tecnología de elaboración de un alimento ensilado, que tuvo sus bases a partir de las experiencias a pequeña escala en instalaciones de AZCUBA de la Provincia de Matanzas.

La producción de cerdos en Cuba se ha visto afectada durante varios años, no sólo por la falta de disponibilidad de las materias primas para la elaboración de los piensos, sino porque en ocasiones la calidad de estas no están acorde a lo que se contratan en el mercado internacional. Por los niveles de producción de carne de cerdo que hoy no cubren las necesidades nacionales, y por los altos precios de sus materias primas para lograrlo, es que el GAA trabajó de forma acelerada en la tecnología de producción de alimento ensilado a escala industrial.

En el año 2007 un grupo de productores porcinos y campesinos de la región central del país encontraron una opción para elaborar un producto manufacturado (Yogurt de Yuca) a partir de materias primas nacionales, logrando sustituir entre el 60 y el 80 % de los piensos tradicionales utilizados en la ceba porcina, posteriormente en el INIVIT fue publicado por Rodríguez y col. (2008). La tecnología alcanzó gran aceptación en el resto de los productores de cerdos del país al no disponer de maíz y otros alimentos energéticos que resultan costosos para estos fines. Con el transcurso del tiempo los productores fueron innovando con otras fuentes de alimentos (suero de leche, vinazas de destilería, cremas crema de levadura Saccharomyces cerevisiae, crema de levadura Tórula, residuos de la industria pesquera y otros) que permitieron la conservación y mejora nutricional del producto. Entre las principales ventajas del producto señaladas por investigadores y productores se pueden enumerar las siguientes: fácil preparación, tiempo prolongado de conservación, buena palatabilidad, nivel de inclusión elevado en las dietas para cerdos en

ceba y cerdas gestantes (entre 60 y 80 %) y empleo de otros productos y subproductos agrícolas (boniato, plátano, ñame). En este sentido, el ICA, ha seguido investigando y transfiriendo a través de su Sistema de Extensión y Transferencia de Tecnologías (SEICA), donde se contribuye a mejorar la calidad de dicho alimento y hacer un uso más eficiente por parte de los cerdos.

Se conoce el producto como Alimento Ensilado para Cerdos porque su destino es la producción porcina para la sustitución parcial o total de las fuentes energéticas (maíz, trigo). Buscando respuesta a las potencialidades de los alimentos ensilados en cerdos crecimiento – ceba es que surge el proyecto de investigación conjunta entre Cuba y Brasil. Es en el 2011 que Lezcano y col., realizan investigaciones conjuntas para la evaluación nutricional del alimento con el empleo de diferentes variantes de ensilados. Encontrar la mejor opción para la sustitución total del maíz, tiene su fundamento en la experiencia de utilización de materias primas como: subproductos, derivados y residuos de la agroindustria azucarera, llegando a obtener resultados que sobrepasan los 1300 g de ganancia por animal al día. (Lezcano, 2011). Con los resultados obtenidos en Brasil, las experiencias en Cuba y las investigaciones desarrolladas por el ICA, es que se establece la tecnología de producción de Alimento Ensilado para Cerdos (AEC). A partir de un proyecto que inició el ICA y el Grupo Azucarero AZCUBA, se establece a escala industrial la producción de AEC con el objetivo de diversificar la agroindustria azucarera y de producir alimentos con fuentes nacionales comparables en resultados a las fuentes tradicionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el 2011 la Unidad Empresarial de Base de Derivados Mayabeque emite dos variantes para seleccionar el lugar donde se podía erigir la planta de AEC, y a partir de las experiencias y trabajos desarrollados por especialistas en Cuba y en el extranjero se proyecta la transformación de la infraestructura de un antiguo centro de acopio de caña, que se encontraba inactivo hacía 2 años en la Empresa Azucarera Héctor Molina de la provincia Mayabeque. En un área de 5000 m^2 se propone la primera planta de su tipo en Cuba y el mundo con capacidad para producir 45 t en jornadas de 8 horas, durante 300 días de producción al año. Se planteó recuperar y aprovechar equipamiento (tolva receptora, estera transportadora, báscula), con el objetivo de abaratar los costos e inversiones a realizar, siendo insuficientes los equipos, para todo lo que necesita una planta de alimento de escala industrial.

La tecnología propuesta por el ICA con ingeniería de detalles por parte del Instituto de Proyectos Azucareros (IPROYAZ), fue la mejor variante para producir los AEC., siempre adaptando lo qué se quería obtener con lo qué se podía tener, para ser de está una tecnología flexible y adaptable a las condiciones y características de cada lugar y país. Entre las premisas del grupo de trabajo, estaba disponer de una tecnología de calidad cerca de las fuentes de suministros de materias primas y de los consumidores, que fuera libre de contaminantes, ciento por ciento nacional y que contribuyese con la reducción de importaciones.

La formulación del AEC, se basó en las disponibilidades de materias primas de la industria azucarera y la capacidad de crecimiento de este sector y a la vez de darle un mayor valor agregado a los subproductos y residuos que generan. Unido a esto, se crearon las condiciones para la producción de productos agrícolas (viandas tropicales), que contribuyan con la obtención y estabilidad de un alimento nacional de calidad, que cumpla con las exigencias nutricionales para lo cual fue creado.

Se propusieron tres variantes de formulaciones, que se evaluaron en condiciones experimentales y se obtuvieron con la aplicación de la técnica de ensilaje a la mezcla de crema de levadura Saccharomyces cerevisiae, vinaza concentrada, miel B y boniato, todas con muy buenos resultados. En condiciones de producción se realiza la variante más económicamente factible en los estudios realizados por el MFP y MEP según las condiciones actuales y está se validó para sustituir el maíz en un 33 %, 66 % y 100% en cerdos de la etapa crecimiento ceba, completando los requerimientos con el núcleo proteico NUPROVIM del IIP. Al ensilaje producido a escala industrial para la prueba de validación se le tomaron varias muestras para análisis microbiológico y ver su comportamiento y apreciar cómo se manifiesta con respecto a maíz importado.

Para tener conocimiento de causa y constancia de la vida de los animales por tratamientos en el experimento, se emitió un modelo donde se refleja, entre otras cosas, el estado de salud por animal, el uso de medicamentos y otras observaciones.

Los animales al sacrificio, por ser alimentados con las diferentes dietas experimentales, se les realiza una revisión macroscópica para ver si existen anomalías en sistema respiratorio: glotis, tráquea, pleura y pulmones, sistema cardiovascular: corazón, sistema digestivo: esófago, estómago, hígado, bazo, intestino delgado y grueso, aparato urinario: riñones y vejiga y sistema linfático: ganglios

Producto de la integración de los centros, se efectuó la validación de la tecnología durante un año de trabajo de la planta y el uso del AEC, en seis escenarios productivos, dos de ellos centros de investigación. Se realizaron pruebas de observación en disímiles unidades y productores porcinos del MINAG.

Diagrama del Proceso.

En la figura 1, se muestra el diagrama del proceso tecnológico.

Recepción de materias Primas – Trituración –Mezclado–Ensilaje-Almacenamiento – Comercialización

Figura 1. Diagrama del proceso tecnológico

La Planta de alimento ensilado, que no genera residual alguno, cuenta con una metodología de trabajo, un sistema de monitoreo de sus producciones y con las condiciones necesarias para ofrecer un producto de calidad, acorde a las exigencias del mercado y de los productores. Cuenta con un colectivo relativamente joven de 13 trabajadores, con edad promedio de 43 años, de ellos 4 son mujeres, 4 son técnicos Medios y una Ingeniera Industrial y especialista en alimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1. Se cuenta con una planta industrial para la obtención de un alimento que se produce por la técnica del ensilado, donde 3,3 t de AEC sustituye 1 t de maíz.

Al disponer de un alimento líquido que reduce la inclusión de maíz en las dietas de los cerdos al llevarlo a planos superiores de producción, en el 2013 con la producción de 37 000 toneladas de AEC, se contribuye a un ahorro de 4,7 millones de dólares dejando de importar 10 000 toneladas de maíz. (Porres, 2012)

2. Se obtiene un producto tecnológicamente estable.

La composición química del alimento producido en la planta se muestra en la tabla I.

Tabla I. Composición química del ensilado de boniato producido en la planta de Derivados Mayabeque.

Indicadores	**n**	**Media**	**DE**	**CV, %**	**Mínimo**	**Máximo**
Materia Seca, %	23	24,63	1,82	7,41	21,67	26,81
Cenizas, %	23	13,96	0,73	5,22	12,85	16,24
Proteína Bruta, %	22	11,15	1,65	14,76	8,61	15,06
Fibra Bruta, %	21	2,92	1,36	46,54	0,92	5,49
Calcio, %	12	1,58	0,25	15,84	1,27	2,03
Fósforo, %	12	0,25	0,03	12,67	0,20	0,31
pH	23	3,61	0,02	0,67	3,57	3,65

n: número de muestras DE: desviación estándar CV: coeficiente de variación

La tecnología propuesta con metodología de trabajo desde la recepción de las materias primas, hasta la calidad del producto final, con chequeo diario de todos sus indicadores productivos, está acorde a las exigencias de cualquier proceso industrial donde se genere un alimento para uso animal. Los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados al alimento ensilado se muestran en la tabla II.

Tabla II. Análisis microbiológicos del alimento ensilado (Laboratorio IIP)

Tipo de muestra	**Código**	**Conteo total bacterias, ufc/g**	**Coliformes, ufc/g**	**Conteo total hongos, ufc/g**	**Salmonella**
Ensilaje	1	$5.0x\ 10^{4}$	$< 10^{2}$	$2.0x\ 10^{3}$	Negativo en 25 g
Ensilaje	2	$4.0x\ 10^{4}$	$< 10^{2}$	$2.5x\ 10^{3}$	Negativo en 25 g
Ensilaje	3	$5.0x\ 10^{4}$	$< 10^{2}$	$2.0x\ 10^{3}$	Negativo en 25 g
Ensilaje	4	$2.1x\ 10^{5}$	$< 10^{2}$	$1.4x\ 10^{3}$	Negativo en 25 g
Ensilaje	5	$2.0x\ 10^{4}$	$< 10^{2}$	$9.4x\ 10^{5}$	Negativo en 25 g
Ensilaje	6	$\mathbf{5.0x\ 10^{4}}$	$< 10^{2}$	$\mathbf{8.4x\ 10^{5}}$	Negativo en 25 g

La única planta de su tipo en el mundo, obtiene un producto de composición bromatológica estable, con calidad higiénico-sanitaria dentro del límite de tolerancia establecido en la NC 585:2008 y se considera que es superior a las muestras de maíz que se analizan sistemáticamente. (Piloto, 2012).

3. El producto cubre total y parcialmente las necesidades energéticas de los cerdos en crecimiento ceba.

Cuando se sustituye el 33 % del maíz por AEC se obtienen rasgos del comportamiento de los cerdos en crecimiento-ceba superiores a los que se alcanzan con las dietas convencionales. Cuando se sustituye el 66 % del maíz por AEC se obtienen rasgos del comportamiento de los cerdos en crecimiento-ceba comparables a los que se alcanzan con las dietas convencionales y cuando se sustituye el 100 % del maíz por AEC se obtienen rasgos del comportamiento de los cerdos en crecimiento-ceba inferiores a los que se alcanzan con las dietas convencionales. No obstante, esta variante pudiera constituir una alternativa en determinadas condiciones coyunturales, porque los cerdos alcanzan los 100 kg a los 110 días después de haberse incorporado a la etapa que iniciaron con 25 Kg.

4. En el análisis macroscópico de órganos de animales al sacrificio alimentados con las diferentes dietas experimentales no se observaron lesiones relacionadas con las dietas estudiadas. (Laboratorio CENEDI, 2012)

Una de las limitaciones que pudiera haber tenido el empleo de las dietas con ensilado en la alimentación de los cerdos, era la aparición de alguna anomalía en sus órganos y al ser muestreados por tratamientos no hubo lesiones en órganos investigados, solo se reportaron algunos focos neumónicos que no tienen relación con las dietas utilizadas. Se tomaron muestras para estudios microscópicos y estudiar la posibilidad de presencia de otras posibles lesiones.

5. No hubo animales muertos ni enfermos, ni se tuvo que aplicar tratamientos con antibióticos ni antiparásitarios.

El AEC tiene otras potencialidades que están por estudiar, que va más allá de otras especies y categoría animal, sino de qué factores pueden estar influyendo en que ninguno de los tratamientos con ensilado se les aplicó antibióticos ni antiparasitarios, teniendo gran incidencia al parecer los efectos de la vinaza en la salud y respuesta animal

6. Los rendimientos al sacrificio y la composición de la canal de los cerdos alimentados con las dietas experimentales, son comparables a las que se obtienen con las dietas convencionales.

Cuando a los cerdos se les aumenta el porciento de alimento ensilado dentro de la dieta, existe una disminución del tejido adiposo, teniendo mayor proporción de carne al sacrificio cuando se le sustituyó el 100 % del maíz de la dieta.

CONCLUSIONES

- Se diversifica la Agroindustria Azucarera con el empleo de los subproductos, derivados y residuos de la agroindustria azucarera en la alimentación animal, aumentando el valor agregado de la caña de azúcar y de sus subproductos y derivados.
- Se reducen las importaciones de maíz en Cuba.
- La tecnología se adapta a las condiciones de cada lugar.
- Se recupera las inversiones de la planta en un año.
- No se les aplicó antibióticos ni antiparasitarios a los animales que consumieron ensilado, durante las validaciones.
- Sustituye de los alimentos tradicionales, la fracción energética para los cerdos en crecimiento ceba.
- Continuar sus estudios y evaluaciones en otras especies y categoría animal.

REFERENCIAS

- Dapoza, C. (2005), Alimentación nitrogenada del lechón. IV Jornadas Técnicas de Porcino NANTA. Degussa Ibérica. p.8.
- Distillers Grains. (2000), Distillers Grains Technology Council. Louisville, KY.

- FAO/SMIA (2002), Perspectivas Alimentarias No. 3, p. 12.
- FEDNA, (2004), Soluciones tecnológicas en fábricas de pienso para el cumplimiento de las Normativas sobre calidad, seguridad y medio Ambiente. Barcelona, España.
- Flores, J.A.; Agraz, A. (1993), Enciclopedia Técnica del Ganado Porcino, Cría, explotación, enfermedades e industrialización. Editorial Limusa.S.A. México D.F. p. 225-240.
- González, C. (1997), Posibilidades de utilización de la batata y otros recursos en la alimentación de animales monogástricos en Venezuela. Seminario Científico Internacional "Alimentación Alternativa para el Trópico" y "IV Encuentro sobre Nutrición de Animales Monogástrico". La Habana, Cuba.
- Lezcano, P., (2011), Informe Final de Proyecto CAPES. Universidad de Minas Gerais, Brasil.
- Rico, A. (2004), Ultimas tecnologías en la producción de piensos. "Simposio Internacional de Nutrición", Degussa, Germany.
- Mederos, C.; Ly, J.; Martínez, R. M. (1995), Metodología para la evaluación de alimentos para cerdos. Instituto de Investigaciones Porcinas. Ciudad de la Habana. 94 p. 90.
- Mederos, C. (2006), Proyección de la producción porcina en Cuba hasta el 2015. Reunión Técnica de Expertos en el Instituto de Investigaciones Porcina.
- Piloto, J. L., (2012), Taller Nacional de Alimento Ensilado. Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque. Cuba
- Porres, (2012). Comunicación Personal. Grupo Nacional de Alimento Animal, AZCUBA. La Habana, Cuba.
- Tobar, M. (1997), Aspectos técnicos en el proceso de la yuca. Primer encuentro nacional de producción y transformación de la yuca. Tolú Sucre, Colombia.
- Van Der Poel, A. (2000), Últimos avances en la higienización de los piensos: "II Seminario de tecnología de fabricación de piensos". EXPOACTIVA 2000. Barcelona.

PLANTA DIVERSIFICADA PARA LA PRODUCCION DE ALIMENTO ANIMAL

DIVERSIFIED PLANT FOR THE PRODUCTION OF ANIMAL FOOD

*José A. Pérez, *Carlos Pérez, *Pedro Islén, *Carlos Bravo, *Yosvel Rodríguez, *Fernando González

*Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804, esquina Carretera Central, La Habana 11 000. Cuba

E-mail: jose.alberto@icidca.edu.cu

RESUMEN

El incremento de la población mundial, la creciente tendencia a la producción de bio-combustibles y el aumento de la demanda de alimento animal, entre otros factores, están dando lugar al incremento de los precios de estos alimentos y forrajes.
En los países productores de azúcar de caña, esta situación estimula la búsqueda de alimentos alternativos, basados en los derivados de la agro-industria azucarera.
La presente contribución tiene el propósito de exponer la concepción y el diseño de plantas diversificadas para producir diferentes tipos de alimentos de forma eficiente y competitiva, también se pueden tener en cuenta el completamiento de instalaciones existentes que han sido diseñadas para la producción de diversos tipos de alimento animal ya conocidos y previamente desarrollados, basados en sub-productos y derivados de la industria azucarera, todo lo cual permitiría aprovechar áreas y servicios ya disponibles y dotarlos de mayor flexibilidad para satisfacer las demandas de múltiples consumidores.
Se dispone del soporte tecnológico y de diseño de equipos para la realización de ingeniería o de la reingeniería según sea el caso, para la selección de los equipos que se deben utilizan en la planta, teniendo en cuenta, además, que los costos de inversión sean mínimos.

Palabras clave: Alimento Animal, Bagazo como Alimento, Derivados y subproductos de la agro-industria azucarera.

ABSTRACT

The boom in the world population, the growing tendency towards the production of bio-fuels, and the raising demand of animal food, amongst other factors, are leading to an steady increase in the prices of animal fodder.
In the countries producers of cane sugar, the combination of these factors is compelling the search for alternative animal foods, based on agro-industrial derivatives of the sugar manufacturing process.
The aim of the present contribution is to describe the conception, design and possible operating procedures of new diversified plants capable of producing animal food alternatives on an efficient and competitive way, as well as to bring to completion mills that were designed for the production of already known fodder types, based on by-products and derivatives of the sugar industry, which could take advantage of existing facilities and services providing them with suitable flexibility to satisfy the demands of several customers.

The technological and design basis for accomplishing the engineering or re-engineering, according to the case, are available, thereby enabling the design and construction of all necessary equipment on the basis of minimum investment costs.

Keywords: Animal food, fodder, Bagasse as animal food, derivatives and by-products of the sugarcane agro-industry.

1. INTRODUCCIÓN

Los derivados y subproductos de la agroindustria azucarera constituyen fuentes potenciales para la producción industrial de alimento animal.
Durante años se han desarrollado y construido plantas para ese propósito, basadas en diferentes tecnologías. Entre las mismas están el Predical, la Miel-Urea-Bagacillo, los Bloques Multinutricionales, Urea al 3 y al 5 %, Miel Amonificada, Leng (1994), Bagazo Hidrolizado, y otros, pero no se dispone de un proceso industrial que permita producir alternativa o simultáneamente los alimentos antes mencionados en función de las necesidades de los clientes.
Con esa intención, se diseñó una planta dotada de un esquema tecnológico capaz de producir los alimentos más comúnmente empleados, con la mayor eficiencia económica posible.
Con la excepción de dos de los alimentos que consumen vapor (Predical y Bagazo Hidrolizado), y de la Miel Urea Bagacillo que emplea bagacillo procedente del central, los restantes alimentos también pueden ser obtenidos en período de no zafra.
Los diseños de los equipos y sistemas están sustentados en programas de cálculo que permiten llevar a cabo de forma rápida y precisa ajustes de las capacidades de los equipos que forman parte de la planta.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

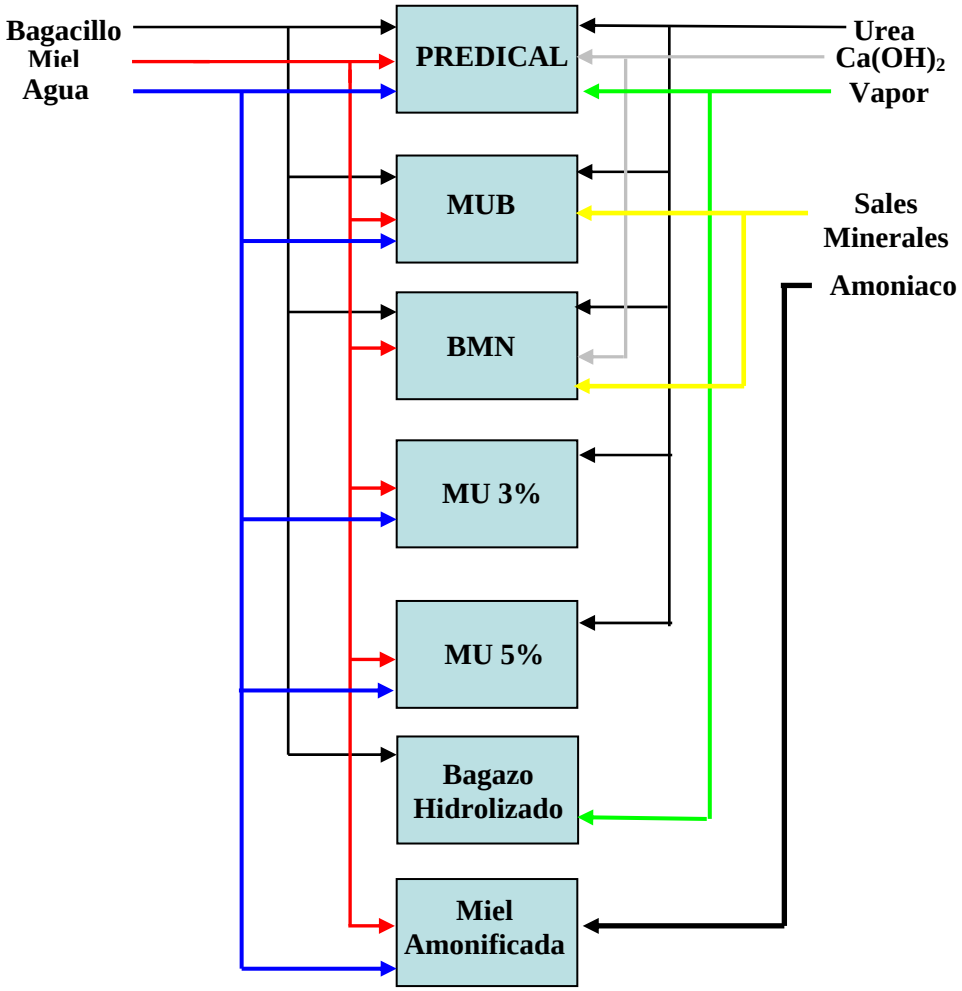
La planta está diseñada para la producción continua de los alimentos antes mencionados, la capacidad de la misma está en función de las especificaciones que solicita cada cliente, aunque se disponen de diseños establecidos para una capacidad productiva entre 25-50 T/día de producción. Se considera en todos los casos una eficiencia operacional de la planta de un 85 %, es decir, la producción antes mencionada de la planta se obtendrá en 20 h, aunque la fiabilidad de los equipos que intervienen en todo el proceso productivo pueden garantizar valores superiores, pues todos los equipos están diseñados para servicio continuo
La potencia eléctrica instalada para una planta diversificada de 30 T/día estará en el entorno de los 135 Kw y el consumo de energía eléctrica es función del tipo de producción que se realiza, pero es estimado entre los 75 – 100 kWh. Las potencias de los motores utilizados en los diferentes accionamientos del proceso son pequeñas por lo que los mismos pueden arrancarse directamente a línea, sin necesidad del empleo de ningún elemento de arranque suave. El motor de mayor potencia a utilizarse es inferior a 30 kW.
Los motores a utilizar son de corriente alterna y de velocidad constante excepto dos, los cuales requieren la variación de la velocidad de rotación para regular caudales de materias primas de acuerdo al tipo de alimento a obtener con lo cual se garantizará la misma capacidad de producción. Estos son el motor del alimentador de productos químicos y el motor de dosificación de bagacillo a proceso.

3. MATERIAS PRIMAS FUNDAMENTALES.

Es recomendable que la planta se instale anexa a un central azucarero con el objetivo de reducir costo de producción, pues las principales materias primas a utilizar son subproductos de esta industria. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloque de todas las producciones que se pueden obtener en la planta, así como las

materias primas que serán utilizadas, fundamentalmente bagacillo, miel, hidrato de cal, además de los servicios de vapor, agua y electricidad. Solamente las materias primas ajenas al proceso azucarero son las sales minerales y la urea, pero estas se emplean en pequeñas cantidades, MINAZ, (1982).

Figura 1: Diagrama de bloque de la planta de Alimento Animal Diversificada



Para la producción de Predical y Bagazo Hidrolizado se requiere vapor, que será suministrado por el sistema de generación de vapor del central. Estos dos alimentos presentan una alta digestibilidad estando en el entorno del 60 %, esto hace que tengan preferencia sobre el resto de los alimentos. El Predical y el Bagazo Hidrolizado son alimentos de características similares, por lo que se puede valorar reducir costo de inversión de la planta si se selecciona una de las dos variantes. Se debe tener en cuenta que en la producción de Predical los gastos de inversión son menores que en el caso de bagacillo hidrolizado pues para la obtención de este último se debe disponer de un reactor de alto costo y además al ser este un proceso discontinuo provoca consumos intermitentes altos de vapor que pueden provocar desbalance en el esquema energético del central

4. EQUIPOS FUNDAMENTALES DE LA PLANTA

La planta diversificada está compuesta fundamentalmente de un cernidor de bagacillo, un soplador para el transporte de este, ciclón para la separación del mismo en la planta, tolva de recepción del bagacillo y de los productos finales, sinfines alimentadores y mezcladores, reactores, bombas, tanques, prensa, dosificadores de productos químicos. La planta dispondrá de un laboratorio donde se realizarán los análisis de control de las diferentes producciones.

En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo de la planta. En ella se exponen de forma general los arreglos tecnológicos necesarios y los equipos principales para la implementación de cada tecnología.

Su funcionamiento consiste en la separación del bagacillo o médula procedente del cernidor ubicado a la salida del tandem ubicado en el central azucarero o de un proceso de desmedulado en húmedo, se extrae por medio de un ventilador y se envía a un ciclón el cual descarga en una tolva receptora ubicada en la planta. La tolva, a través de un tornillo sinfín, descarga el bagacillo a un mezclador donde se le añaden los componentes necesarios según el tipo de producción a obtener.

En la obtención de MUB (miel-urea-bagacillo), se añade en el mezclador la solución de miel urea (35% miel). Para la obtención de PREDICAL el bagacillo se predigiere previamente con hidrato de cal y el empleo de vapor, después en un reactor se le da el tiempo de retención necesario para complementar la reacción y posteriormente se le añade la mezcla de miel urea (15 % miel).

La preparación de la mezcla miel urea necesaria para la MUB y el PREDICAL, se realiza mezclando primeramente el agua con la urea y posteriormente se envía a un tanque para mezclarla con miel, ambas mezclas se garantizan por un proceso de recirculación. En ambos casos, después del mezclado del bagacillo con la miel y la urea, el producto obtenido se transporta a una tolva de almacenaje y esta a su vez se descarga al transporte disponible (camión o carreta) para ser enviado a los lugares de consumo.

En caso específico de producción de Bloques Multinutricionales, si se utilizaran otras materias primas fibrosas, se tendría que disponer de un sistema de preparación de estas (secado, molida, etc.) y /o suministro directo hasta la tolva dosificadora. El bagacillo u otra fuente fibrosa se mezclan con todos los aditivos químicos sólidos y posteriormente se le añade la miel para obtener la mezcla final la cual pasa a una tolva para el proceso de prensado.

La Miel Urea empleada en la producción de Predical y Bloques Multinutricionales es al 5 %, esto hace que esta se pueda almacenar para vender en forma líquida, de igual forma se puede diluir en mayor cantidad de miel para producirla al 3 % constituyendo otro producto.

También a la planta se le pueden hacer arreglos tecnológicos para realizar el mezclado de alimentos con otros compuestos enriquecidos fundamentalmente con proteínas.

5. CONSIDERACIONES ECONOMICAS DE LA PLANTA.

El costo aproximado de la inversión se estima entre 100 000 y 200 000 dólares americanos, en dependencia de las condiciones locales y teniendo en cuenta las alternativas de producción, exceptuando el equipamiento para la producción de bagacillo hidrolizado. Para tener un criterio de mayor precisión se recomienda realizar un diagnóstico para conocer el alcance de lo que se dispone en la construcción y montaje de la planta, con el objetivo de abaratar el costo de inversión de esta.

El costo de producción constituye una de las variables más sensible de cualquier producto, en el caso particular de las producciones a realizar en la planta resultan muy atractivas cuando se comparan su costo beneficio con otros alimentos sustitutos.

Resulta complejo brindar una ficha de costo precisa de los diferentes producciones que se pueden realizar en la planta puesto que intervienen aspectos locales que pueden modificar el costo final del producto.

En caso particular de estimaciones en la evaluación económica se dispone de un programa de cálculo soportado en Excel que permite realizar modificaciones de las diferentes variables que forman parte de la ficha de costo.

Es posible realizar modificaciones a la planta en función de las exigencias del cliente y de las condiciones del lugar donde se instalen.
El tiempo aproximado total de construcción, montaje y puesta en marcha de la planta se estima en 3 meses disponiendo del suministro estable de los materiales que se requieren.
Se estima que la recuperación de la inversión se puede realizar en un período de uno a dos años, en dependencia de las producciones que se realizaran.
Todo el diseño de la planta para la producción diversificada de alimento animal industrial está soportado en programas que agilizan la obtención de datos rápidos y precisos, un ejemplo de ello son las especificaciones en la selección de uno de los equipos (tabla I), Tyler (1992), Karassik (1993), Escanaverino, (2007).

6. CONCLUSIONES.

Esta planta diversificada para la producción de múltiples tipos de alimento animal es una alternativa económicamente factible y viable a realizar en los países que dispongan de centrales azucareros y de centros ganaderas en su entorno.
La planta se puede considerar de baja complejidad tecnológica atendiendo a que los equipos que la forman, muchos de ellos pueden construirse sin necesidad de talleres especializados. El nivel de automatización y control dependerá del presupuesto inicial que se disponga, pero la misma puede operar óptimamente con un bajo nivel de automatización garantizando los parámetros de calidad exigidos por la norma para cada producto.
Una vez que se tenga disponible la ingeniería de detalle de la planta, el proceso de compra de los equipos puede ser llevado a cabo por los propios inversionistas, pues en la descripción de los equipos se brinda una información detallada que facilita el proceso de solicitud y discusión de ofertas. En la tabla I se describe los resultados de un ejemplo de las características de un accionamiento de la planta, basado en una corrida de un programa que se tiene disponible.

Tabla I. Diseño y Principales parámetros de los accionamientos.

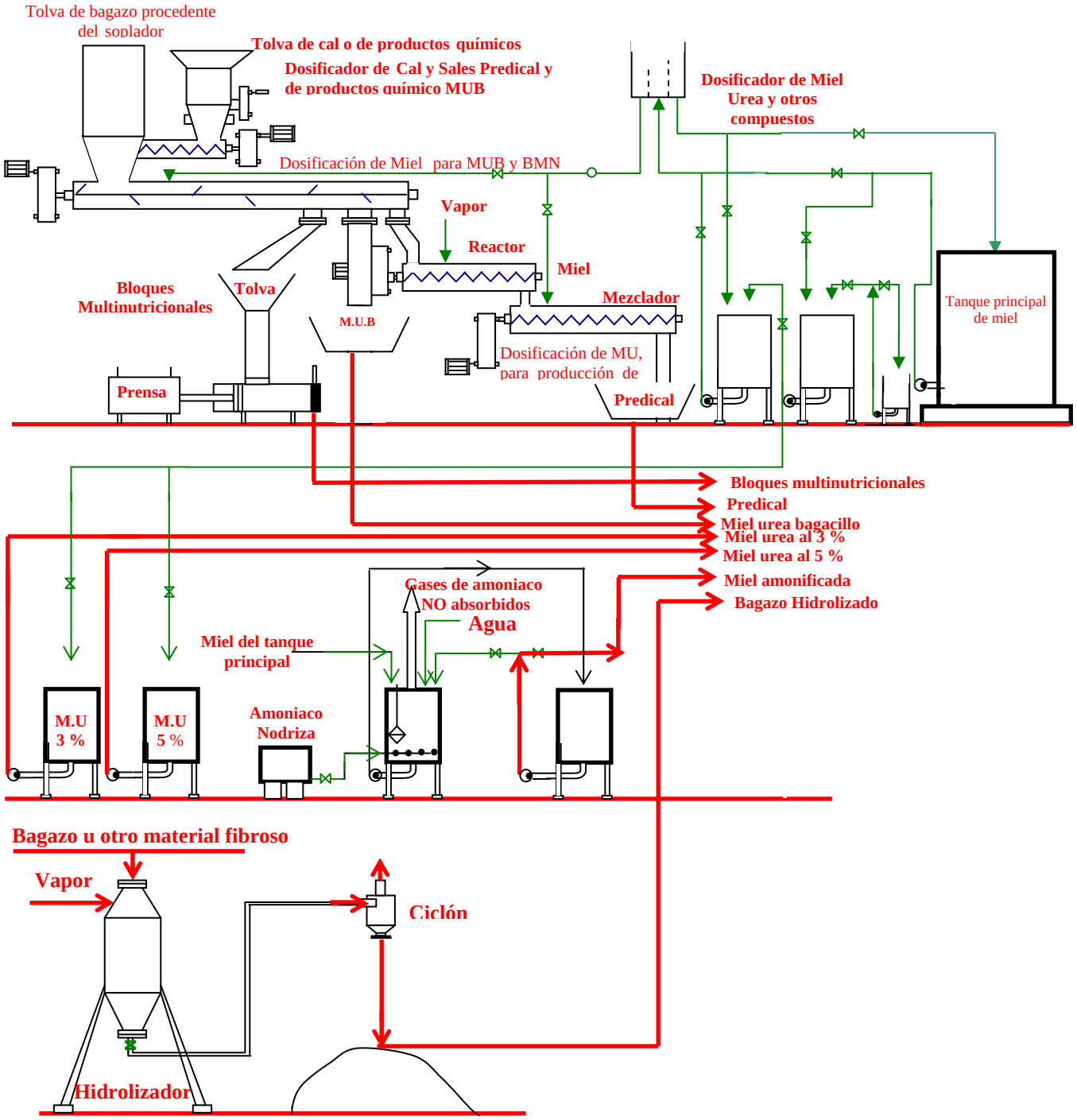
Diseño y principales parámetros de un accionamiento	
Características del sinfín	
1.Descripción:	Sinfín alimentador de bagazo al mezclador
2.Material	Bagacillo procedente de los cernidores.
3.Densidad del material (kg/m^3)	50
4.Capacidad de producción(T/h)	1
5.Longitud del sinfín (m)	2.5
6.Coeficiente de llenado Trasversal	0.42
7.Diámetro del sinfín (m)	0.30
8.Diámetro del eje del sinfín (m)	0.089
9.Coeficiente de inclinación (grado)	0
10.Paso del sinfín:	0.24
11.Velocidad del sinfín (rpm)	55
Características de la transmisión.	
12.Tipo de transmisión	Reductor
13.Torque del transportador (kgf-m)	0.41
14.Relación de transmisión del reductor	31.39 (Norma AGMA/NEMA)
15.Velocidad de entrada (rpm)	1750
16.Velocidad de salida (rpm)	55
17.Tipo de Acoplamiento	Directo

18.Factor de servicio	SF=1,35Carga constante o uniforme
19.Potencia absorbida (kW)	1.55
Características del motor	
20. Potencia del motor seleccionado (kW)	2.40
21. Velocidad del motor (rpm)	1750
22. Voltaje (v)	220/440, 3 AC
23 Frecuencia(Hz)	60
24.Protección	IP-55 (Norma IEC)
25.Factor de servicio	S1(Norma IEC)
26.Tipo de rodamiento	Estándar de una hilera de bola, con juego C3
25.Tipo de montaje	Horizontal sobre patas o bridas
26.Material del motor	Hierro fundido
27.Tipo de aislamiento	Clase F
28.Caracteristica torque-velocidad	Clase C

8. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS.

1. Tyler G, Hicks. (1992), Standard Handbook of Engineering Calculations
2. Karassik Igor J. (1993), Pump Handbook
3. Martinez Escanaverino, J. (2007), Sistemas de Accionamientos
4. Leng, R, A; Ojeda, F. Rodríguez, V. (1994), Una guía Práctica para la preparación y Uso Seguro de la melaza amonificada para la alimentación de rumiantes. Departamento de Alimento Animal, MINAZ
5. Departamento de Alimento Animal Ministerio del Azúcar. (1982), Especificaciones de calidad de la Miel Urea Bagacillo.
6. Departamento de Alimento Animal Ministerio del Azúcar. (1982), Especificaciones de calidad de la Miel Urea.
7. Grupo de alimento animal Cuba 9. (2009), Manual de operación de las plantas de miel urea bagacillo.
8. Azcarraga,J.M. (1991) Manual de Eficiencia Energética en Instalaciones de Bombeo. CADEM (Grupo EVE), Bilbao, España, 190 p.
9. Deiros Fraga, Beatriz. (1989). Optimización, Ciudad de la Habana, ISPJAE.

Figura 2: Diagrama de flujo de la planta



LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SU PARTICIPACIÓN EFICIENTE EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL EN CUBA (PARTE I)

THE SUGAR CANE AGRO-INDUSTRY AND ITS EFFICIENT PARTICIPATION IN ANIMAL FEEDING IN CUBA.(PART I)

Autores: Agustín Cabello Balbín [(1)], Tirso Sáenz Coopat [(2)]

[(1)] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA agustin.cabello@icidca.edu.cu,raul.costales@icidca.edu.cu,

[(2)] Banco de Inversiones, S.A, tirso@bdi.cu,

Resumen

La utilización de la caña, sus subproductos y derivados para la alimentación animal ha sido objeto de estudios y de materialización comercial desde hace mucho tiempo en el mundo cañero y en Cuba en particular a partir de enfoques parciales de tipo empresarial, sectorial ó territorial que no siempre han tenido en cuenta la eficiencia global y las interrelaciones que existen entre diversos aspectos que conforman la cadena alimentaria que determinan el uso biológica- y económicamente más eficiente de los recursos humanos y materiales y la preservación del ambiente.

El objeto de la presente ponencia es pasar revista a los principales factores a considerar en el desarrollo de una estrategia de aprovechamiento de la caña y de sus subproductos y derivados para alimentación animal con especial énfasis en las condiciones actuales

Palabras claves: diversificación agroindustrial, alimento animal, producción animal,

Abstract

The utilization of sugarcane and its byproducts and derivatives has been the subject of many studies and commercial application since a long time in the cane producing world and particularly in Cuba, based on enterprising, sectorial or territorial points of view that have, not always, taken in account the global efficiency and the interrelationships of the different aspects that conform the food chain. Such an analysis will determine the most efficient use in biological and economical terms of the human and material resources and the preservation of the environment.

The subject of this paper is to review the main aspects to be considered in the developing of a strategy for the use of sugarcane based animal feeds with special regard to the Cuban conditions.

Key words: agro industry diversification, animal feed, animal production,

INTRODUCCION

Los reiterados llamados de la alta dirección del país a considerar la producción de alimentos como un factor de seguridad nacional y a elevar la eficiencia de la economía de forma que “2+2 no sea = 3” (Castro, 2009) son de importancia decisiva para poder enfrentar la compleja situación que tiene ante si Cuba como consecuencia de la crisis mundial y de métodos y concepciones económicamente ineficientes aplicadas en el sector agropecuario a nivel nacional. Dentro de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución –que en la práctica constituyen la política de desarrollo del país- los derivados de la

agroindustria de la caña de azúcar, la alimentación, la alimentación animal así como la economía agropecuaria y la investigación, desarrollo e innovación tecnológica vinculados directamente con ellas representan el 8% del total -24- en 6 capítulos de mismos (PCC, 2011)

Un eslabón importante dentro de la problemática económica del país es lograr un mayor nivel de autosuficiencia alimenticia de manera de poder eliminar cuantiosas importaciones que son hoy imposibles de mantener y superan los 1.500 millones de dólares estadounidenses (USD) anuales y con tendencia creciente por la elevación tendencial de los precios-aspecto que veremos con más detalle en la Parte IIde este trabajo-. De estas importaciones aquellas que tienen que ver con materias primas o productos de origen animal (leche en polvo, carnes, entre otras) tienen un papel estratégico tanto por su valor económico como por su alto valor alimenticio para asegurar una salud y calidad de vida adecuada de la población sobre todo en grupos especialmente sensibles (niños, ancianos, enfermos).

En este escenario la agroindustria azucarera cubana se ha propuesto aumentar su participación en la producción tanto de alimento animal como de productos pecuarios. Las modificaciones introducidas a partir de la reestructuración del sector a partir del año 2002 (Tarea Álvaro Reynoso) en el objeto social de sus empresas, así como la experiencia acumulada en años anteriores en materia de producción de alimento animal y la disponibilidad de tierras para este fin permiten asumir que el aporte del Grupo Azucarero AZCUBA puede ser significativo para el país.

El objeto del presente trabajo es presentar y discutir algunas ideas y conceptos que contribuyan a la implementación de proyectos y tareas que hagan un uso más eficiente de los recursos disponibles en el sector y modifiquen algunos enfoques que limitan la eficiencia técnica y económica en la producción animal.

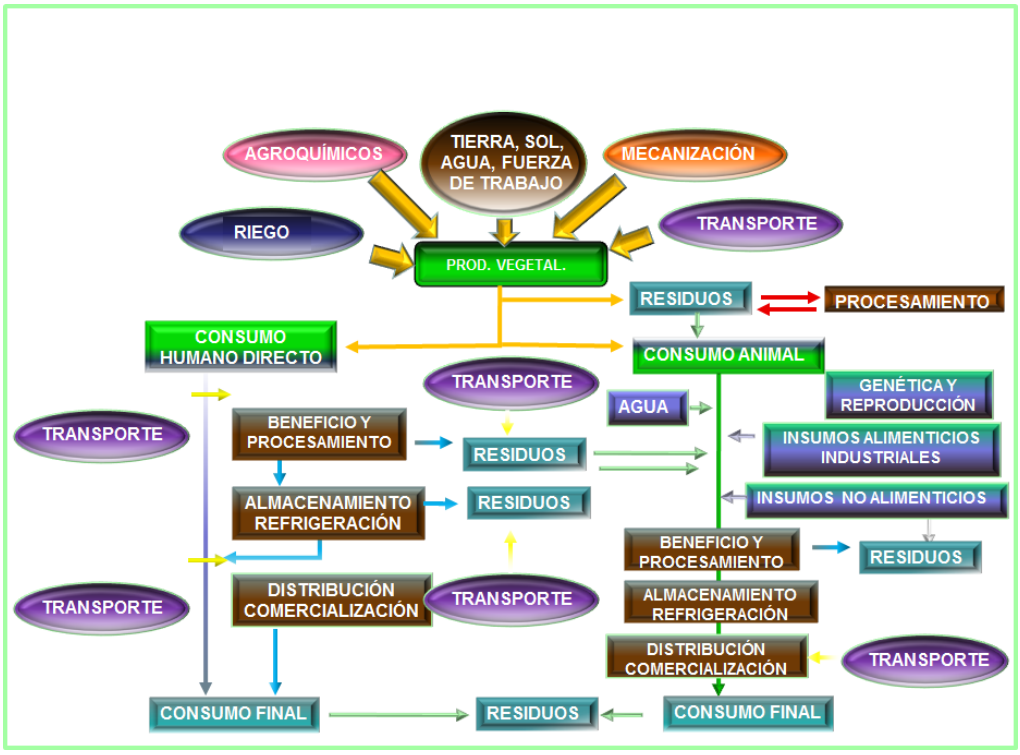
El trabajo se ha dividido en dos partes: en la **Parte I**, se analizan los factores de tipo técnico a la luz de los resultados de trabajo de muchos años en Cuba y otras partes del mundo en cuanto a los tipos de alimentos y el mejor destino que deben tener, haciendo énfasis en la importancia de complementar adecuadamente las raciones, cerrar ciclos, agregar valor y toma en consideración aspectos tan vitales como el consumo de energía y la interacción con el ambiente; la **Parte II**, se ocupa de la forma de implementar estos sistemas productivos desde el punto de vista empresarial y comercial enfocándose en aspectos tales como amplitud del objeto social, interacciones con los factores territoriales más allá de barreras institucionales, criterios de medición de ganancias, formas de estimulación empresarial y laboral y otros que pueden servir para lograr no solo mejores indicadores económicos sino también para una mayor satisfacción de las necesidades y se presentan los resultados de las evaluaciones económico-financieras destinadas a la implementación de los programas inversionistas de Bloques Multinutricionales (BMN) y Bagazo Hidrolizado Formulado (BH).

I. CONSIDERACIONES SOBRE LA EFICIENCIA TÉCNICA

1) Algunas consideraciones sobre la cadena alimentaria y sus factores

La producción de alimento animal no puede verse como algo aislado de los otros eslabones y factores que componen la cadena alimentaria porque sería equivalente a prestar atención a un árbol sin tener en cuenta el bosque del que forma parte. Aunque esto parece algo evidente es bastante común centrarse en la parte y desconocer el todo. En la siguiente figura se representa la complejidad de la cadena.

Figura # 1 – La cadena alimentaria



Un análisis somero del gráfico permite llegar a las siguientes conclusiones y comentarios:

- ✓ **La cadena alimentaria** es un proceso complejo que consta de muchos eslabones en donde **los que anteceden determinan la eficiencia de los que les siguen** hasta llegar al consumo humano.
- ✓ **La producción animal depende absolutamente de la producción vegetal.** El hombre y los animales compiten por los mismos alimentos, salvo en el caso de los pastos y forrajes o de aquellos productos que solo pueden ser utilizados por los rumiantes.
- ✓ **En todas las etapas y factores de la cadena se consume energía.** Los productos de importación tienen incluido el costo de la energía en su precio de adquisición. Vale mencionar que la producción de una tonelada de amoníaco, base de todos los fertilizantes nitrogenados, consume 991 m^3 de gas natural (1,45 toneladas de petróleo equivalente) (Funderburg, 2008). Aunque es algo que tiende a ser obviado la fuerza de trabajo es el factor que mayor consumo de energía específico tiene dentro de la cadena. Un alto insumo específico de fuerza de trabajo determina no solo una baja productividad sino también un alto consumo de energía (de Wit, 1975) sobre todo cuando esa fuerza de trabajo tiene un nivel de vida digno como es el caso de Cuba.
- ✓ **El transporte está presente en todas las etapas y contribuye de forma decisiva al costo**. Esto significa que la optimización de la producción y distribución atendiendo a criterios de distancia de transportación es un factor a priorizar e influye en buena medida en la definición de la capacidad o escala de trabajo óptima en una región determinada. La centralización de actividades de procesamiento y almacenamiento en lugares distantes del área de producción consume mucho combustible La densidad volumétrica de la carga es otro factor de importancia por su relación con el aprovechamiento de la capacidad de transportación.

- ✓ **El consumo de agua es un factor crítico y tendencialmente creciente**. Algunos expertos del llamado Primer Mundo han calculado que se requieren 1000 litros de agua a lo largo de la cadena para producir un vaso de leche y 2000 litros para producir una costilla de cerdo o que Brasil exporta 9000 millones de toneladas de agua con el azúcar que pone en el mercado (Pearce, 2008). Re-usar el agua tanto como sea posible es una exigencia actual y futura.

  En el caso de Cuba, que no posee grandes recursos hidráulicos y está sometida a periodos de sequía estacionales largos, este es un factor de la mayor importancia sobre todo para las especies de animales que dependen de pastos y forrajes -según se muestra en la Figura 1- que demuestra que si no se suplementan con alimentos en seca el peso vivo de los animales al final de dicha estación y el comienzo del periodo lluvioso del año anterior decrece significativamente y el número de muertes por esta causa se eleva en la actualidad al 3% de la masa vacuna(Yañez, 2012). Esto tiene como corolario que **tener un rebaño mayor del que se puede alimentar eficientemente es un derroche de trabajo y recursos.** Siempre será más eficiente tener 10 vacas produciendo 10 litros por día cada una que tener 30 produciendo 3 litros.

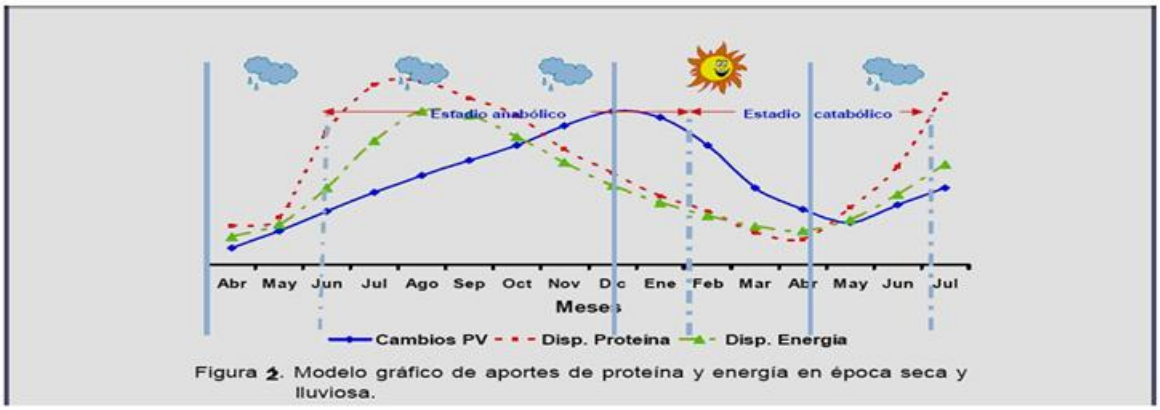


Figura 1. Modelo gráfico de aportes de proteína y energía en época seca y lluviosa.

- ✓ A lo largo de la cadena se generan residuos aprovechables como alimento animal **Es importante señalar que del total de la producción vegetal solo un 30-40% es consumida finalmente**[1]ya que el restante 60% está constituido por fracciones no consumibles, perdidas post-cosecha, residuos de procesamiento industrial y almacenamiento y residuos del procesamiento doméstico. **En el caso de la producción animal este valor no sobrepasa el 15-20%** debido a que la conversión de productos vegetales en carne, leche o huevos está mediada por las transformaciones del metabolismo animal como paso intermedio. Por tal razón,**los residuos de origen animal son de menor volumen pero contienen intrínsecamente mucho más trabajo acumulado y un valor nutritivo más alto que los de origen vegetal.** En cualquier caso, el aprovechamiento de residuos y sobre todo los de origen animal son una prioridad y una ventaja que se pierde en las empresas que venden animales en pie. Los residuos domésticos son de difícil recirculación y deben ser minimizados.

[1]...870 millonesde personas en el planeta, según indica la FAO, pasan hambre y anualmente se desperdician 1300 millones de toneladas de comida, un tercio del total que se produce…se calcula que en Europa, a lo largo de toda la cadena agroalimentaria, del campo al hogar, se pierde hasta el 50% de los alimentos sanos y comestibles. (Graziano, 2013) (Vivas, 2013)

- ✓ El procesamiento de residuos requiere de instalaciones cuya complejidad y consumo energético es variable y depende de la naturaleza de los residuos a procesar. El adecuado diseño y selección de capacidad del equipamiento y el consumo energético de estas instalaciones es esencial y debe tener siempre en cuenta el valor de lo que se va a producir. Instalaciones hechas para "resolver" y "cumplir" para obtener alimentos de baja calidad a despecho de los costos han sido frecuentes en la agroindustria de la caña de azúcar cubana y no han operado o han sido desactivadas.
- ✓ Llegar a formas terminadas de alimentos para consumo humano no solo agrega valor, sino que además, permite reducir sustancialmente los desperdicios domésticos cuya recirculación no es económicamente viable, al menos en las condiciones cubanas actuales.

2.) La caña y su relación con la producción animal

Aunque la caña es utilizada sobre todo para producir azúcares, su potencial como fuente de alimento animal es grande, tanto cuando se utiliza como planta forrajera, como cuando se utilizan sus subproductos y derivados agrícolas o industriales con este fin. Una amplia experiencia se ha acumulado en Cuba y otros países a escala investigativa y de producción, que ha sido publicada y es de dominio de los especialistas. De las más reciente compilaciones sobre el tema vale mencionar la de Martín (2004a) en relación con alimentación de rumiantes y la de Mederos (2008a) relativa a cerdos. **La caña no es una solución importante en la alimentación avícola**. En la Figura # 3 se presenta un resumen de la productividad de las principales especies animales.

No constituye objeto de este trabajo repasar los resultados obtenidos con alimentos cañeros,**pero es importante recalcar que la caña puede aportar hasta el 50-60 % de la ración en rumiantes y cerdos adultos en cualquiera de sus formas, pero exceder este límite solo conlleva a comportamientos productivos bajos que son cuestionables económicamente**. El desbalance entre energía y proteína + minerales de la caña y sus subproductos es grande y requiere ser resuelto.

La inclusión en la ración de fuentes de energía alternativas y de proteína y minerales logra que los nutrientes presentes **en la caña sean convertidos eficientemente. Esto es especialmente válido para alimentos de alto contenido de fibra (caña entera, bagazo, residuos agrícolas de la cosecha)**

La inclusión de cereales y sus subproductos en un rango que fluctúa entre 20- 60% de la materia seca de la ración, dependiendo de la especie y de la categoría, es común en sistemas alimenticios intensivos siendo el maíz el principal producto utilizado. Las harinas proteicas son el otro componente mayoritario (10-30%) de cualquier suplemento siendo la harina de soya el principal representante de este tipo de alimento a nivel mundial.

En Cuba y otros países tropicales en desarrollo que no son productores importantes de maíz o cereales en general ni de oleaginosas, que son la materia prima para la mayoría de las harinas proteicas, estos niveles de inclusión resultan poco viables y constituye la principal limitante económica para la producción pecuaria. Una alternativa posible y comprobada es la sustitución de hasta un 50% del cereal por harina de yuca que es un cultivo de menores requerimientos agrotécnicos, alto rendimiento en condiciones tropicales y tecnología más simple que la de los cereales. La Unión Europea, donde el maíz no es abundante como en Norteamérica, importa enormes cantidades de harina o chips de yuca del Sudeste de Asia y América del Sur para alimento animal. El follaje de la yuca tiene un contenido de proteína de no menos de 15% en base seca.

La sustitución de cereales por yuca requiere de una mayor participación de concentrados proteicos (harina de soya, harina de girasol, levadura torula etc.) dado que los cereales contienen más proteína que la yuca. **En las condiciones de Cuba la búsqueda de fuentes proteicas alternativas y el uso eficiente de las mismas es el problema que mayor atención demanda**. La levadura de torula producida de vinazas se explota como alternativa interesante pero el alto costo de las inversiones necesarias y su alto consumo de energía limitan las posibilidades de crecimiento de su producción en el contexto actual.

El uso adecuado de fuentes de nitrógeno no proteico en rumiantes, permite sustituir una fracción importante de los requerimientos de proteína en este tipo de animales aunque un aprovechamiento eficiente de los alimentos cañeros exige la incorporación de fuentes de proteína natural en alguna medida.

Una alternativa poco aprovechada en condiciones cubanas es la recuperación de los desperdicios del sacrificio de animales que significan no menos del 50% del peso vivo, cuyo contenido de proteína, grasa y minerales de altísimo valor biológico y mucho mayor que en los de origen vegetal, lo que es fácilmente entendible ya que son el resultado de todo el proceso de transformaciones biológicas que intervienen en la producción animal. Las Tablas 1 y 2 ejemplificanlo anteriormente dicho.

La tecnología para la transformación de estos residuos hasta harina no se justifica para escalas muy pequeñas (menores de 100 bovinos ó 200 cerdos/día) pero el ensilaje con ácido clorhídrico a pH 1-1,5 es una alternativa sencilla que permite obtener una pasta estable. Este tipo de solución es aplicable también para residuos de pescado.

Aunque la disponibilidad de estos residuos pueda parecer pequeña su desperdicio constituye un sinsentido económico y una agresión innecesaria al ambiente.

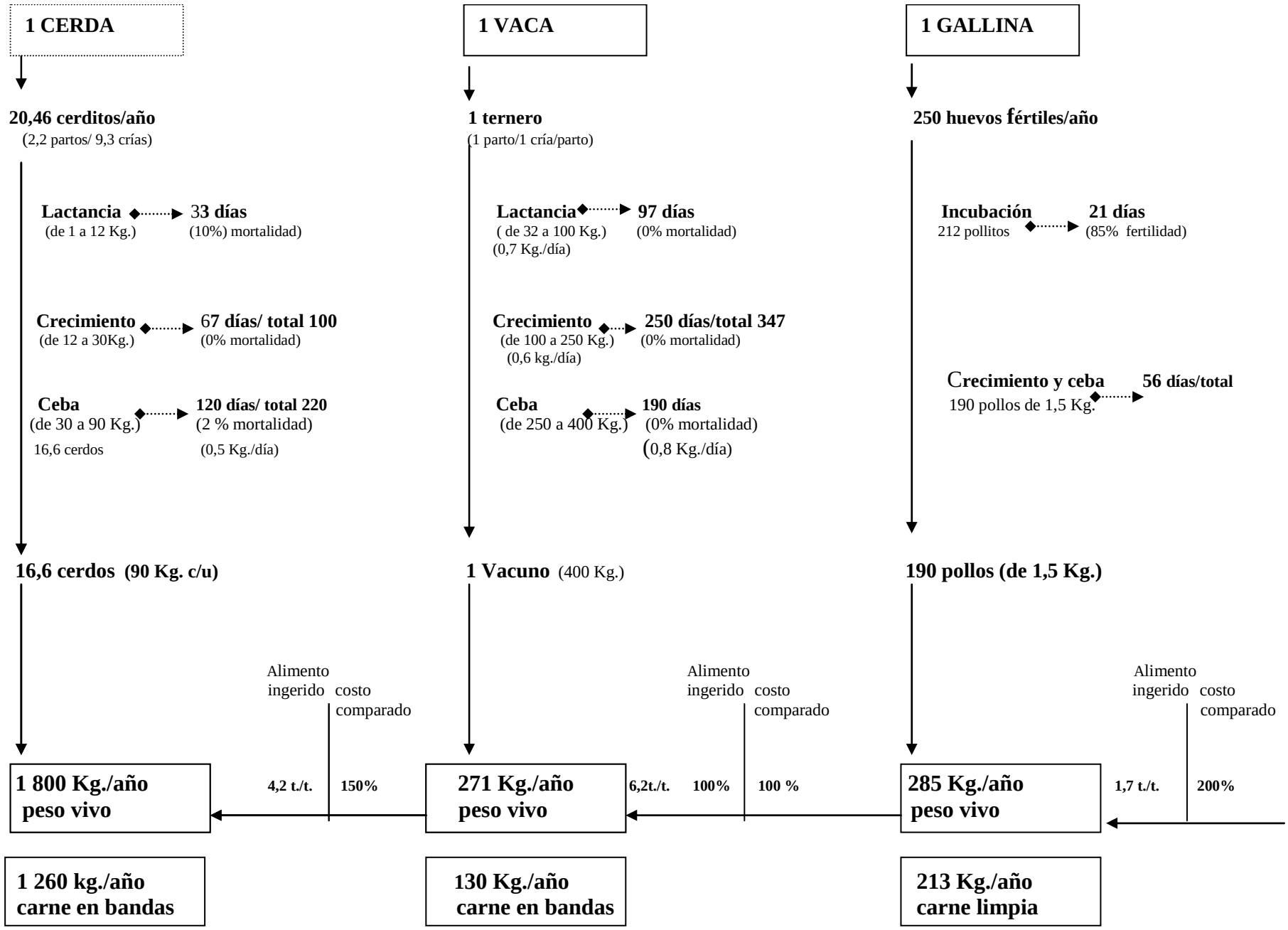


Figura # 3 – Productividad comparada de diferentes especies

Tabla 1- Cantidades promedio de desechos comestibles de matadero obtenidos en los centros de matanza de Colombia. (En % sobre el peso vivo) (Falla, 2004)

	Vacuno macho adulto	Vacuno hembra adulto	Vacunoj oven	Porcino adulto	Pollo
Peso vivo promedio en Kg. antes del faenado	430	320	50	90	1,5
Hueso	22.6	20.3	24.0	32.0	
Vísceras toráxicas	3.46	3.87	5.44	3.49	
Vísceras abdominales	5.74	9.55	6.60	7.98	
Sangre	2.28	2.63	3.00	2.67	
Cabeza con cuernos	4.80	5.62			
Cabeza sin cuernos			6.22	5.5	
Patas con cascos	2.10	1.93	5.0	1.1	
Órganos genitales	0.44	2.63	0.65	0.64	
Grasa peri renal y escrotal	4.18	4.0	0.80	2.50	
Contenido ruminal	5.81	6.3			
Plumas, sangre y vísceras					10

Tabla 2. **Análisis bromatológico de la harina de sangre, carne y hueso** (Falla, 2004)

EM Kcal- Kg.	Proteína total :%	Grasa %	Humedad %	Ca %	P %	Digestibilidad %
2,444	50,4	8,6	7,0	10,0	5,0	91,8

3.) Las tecnologías y productos más eficientes en la actualidad

De las tecnologías, procesos y sistemas de producción animal que en la década de los 90`s empleaban caña y sus subproductos una buena parte de ellos han perdido vigencia por la menor disponibilidad de materia prima cañera y porque su empleo no es económicamente sostenible en el marco de las actuales condiciones del país. De la experiencia nacional e internacional aplicable en el escenario actual se pueden señalar las siguientes variantes:

- ✓ **Caña para forraje.-** En las condiciones de clima cubano con un marcado período de seca (noviembre a mayo) esta constituye una alternativa importante para evitar el deterioro del rebaño bovino en dicha estación, tal y como se muestra en la Figura 2. Su mayor limitante consiste en la demanda de fuerza de trabajo para el corte y molida. Es imprescindible contar al menos con urea y minerales para su aplicación. El costo de la caña es la piedra angular de esta alternativa.
- ✓ **Miel B para ceba porcina.-** Constituye la principal alternativa de sustitución de cereales y de producción de carne intensiva a corto plazo, siempre que se cuente con un rebaño, instalaciones y suplementos alimenticios adecuados que permitan los valores de productividad (2 t.de carne en pie/reproductora/año) y conversión (3Kg. de m.s./Kg. de G.P.) propios de esta especie. Lograr caña con el menor costo posible y una calidad estable en el producto son factores importantes. En la tabla 3 se evidencia esta ventaja.

Tabla 3- Ganancia económica neta del uso de la miel "B" para producir carne de cerdo o azúcar y miel final(Cabello, 2008)	
Propósito	**Ganancia (pesos/t.)**
Carne de Cerdo (1.350,0 pesos/t.)	88.85
Azúcar y miel final (250,0 y 80,0pesos/t.)	59.75

- ✓ **Amoníaco como sustituto de urea en mezcla con miel final.-** Se conoce que la sustitución de urea por amoníaco anhidro significa un ahorro de hasta un 20% en base a nitrógeno suministrado a los animales y aunque en Cuba se ha aplicado puntualmente no es una práctica generalizada. Su principal limitante consiste en que la infraestructura de almacenamiento y manipulación de amoníaco está localizada en función de servir como fertilizante para la caña y no está presente en todos los lugares. Es un tema que merece mayor estudio siguiendo la tendencia de precios de la urea y el amoniaco.

- ✓ **Levadura torula en la formulación de sustitutos lecheros para terneros.-** Es conocido que la torula es una fuente de proteína costosa, por lo que buscar su mayor revalorización constituye una necesidad. Dentro de AZCUBA constituye la principal fuente de proteína y se utiliza mayoritariamente para la producción porcina, sin embargo, su uso en la formulación de sustitutos lecheros para terneros significa una revalorización mayor de la torula, según se muestra en la Tabla 4 donde se utilizaron precios de mercado internacional para carne de cerdo en banda (USD 1.851,45 USD/t.) y leche en polvo (3.032,53 /t.)[2]. En la formulación interviene la levadura en un 57% y el azúcar en un 15% Lo que significa que el 72% del producto son materias primas típicas de AZCUBA. La principal limitante para su aplicación en fincas no especializadas es que se requiere un manejo diferenciado de los terneros. Es necesario encontrar la fórmula administrativa para que esta ventaja económica para el país lo sea también para el sector.

Tabla 4-Valor de la importaciones equivalentes al emplear torula para producir carne de cerdo o leche (Cabello, 2002)[3]

Valoración de la levadura torula en la sustitución de leche y en la producción porcina			
Criterio	**Sustituto lácteo**	**Carne porcina**	**Observaciones**
No. de animales (miles)	185,0	11,7	✓ El ternero consume leche durante 90 días ✓ 0-21 amamantamiento ✓ 22-31 días adaptación (100 g. SL ✓ 32-90 días SL (500 g.) ✓ Un ternero consume 31 Kg. E SL y libera 200 L de leche fluida ✓ 1 t. de SL= 6,45 t. de leche fluida
Leche sustituida (miles de L)	181,0		
Gastos totales (MM pesos)	6.9	11,3	
Leche sustituida (MM USD)	54,8		
Carne producida (MM USD)		25,3	
Valor de la levadura torula (USD/t.)	**3.724,02**	**644,96**	

Otras tecnologías o alternativas de contribuir de manera importante a la producción animal dentro de AZCUBA no han tenido aplicación, porque requieren de un cambio de enfoque de la forma en que se ha concebido tradicionalmente la producción de alimentos (animal y humano) y la producción pecuaria en el país. Entre ellas pueden mencionarse:

[2] Precio promedio en el mercado mundial (Bolsa de Chicago) en el período de enero de 2010 a mayo de 2013. Fuente: Gerencia de Estudios de Mercado del Banco de Inversiones, S.A., La Habana, 30 de mayo de 2013

[3] Recalculado por los autores en mayo de 2013

- ✓ **Bloques multinutricionales en base a miel final.-** La cantidad de miel final disponible así como la competencia por otros usos de alta rentabilidad determinan que en el presente y el futuro previsible la miel final sea utilizada solo en pequeñas proporciones de la ración total en bovinos y otros rumiantes. La mejor manera de aprovechar metabólica y operativamente estas pequeñas dosis de miel es en forma de bloques que tienen un 45-50% de miel, 15-20% de fibra -para darle cuerpo- y el restante 30-40% en forma de nitrógeno no proteico, proteína natural, minerales y hasta medicamentos (Soto-Camargo, 2001; Herrera et al, 2007). En Cuba se produjeron estos bloques de manera artesanal en las empresas ganaderas adscriptas al Ministerio de la Agricultura;AZCUBA contó con una planta semi-comercial en la sede del ICIDCA de Quivicán (provincia de Mayabeque) y en la actualidad con una planta comercial ubicada en el central "Manuel Fajardo", sito en igual municipio y provincia, aprestándose a instalar 11 plantas comerciales –similares a esta última, reconvirtiendo plantas de Miel-Urea-Bagacillo (lo cual se trata con detalle en la parte II de este trabajo).
- ✓ **Bagazo hidrolizado**.- Constituye la principal opción de aumentar la digestibilidad a este tipo de material y lograr un aporte barato de energía metabolizable en los animales. Tiene la ventaja de que no consume productos químicos (sosa cáustica, cal), es una tecnología compacta que no requiere, tamizadores, conductores, mezcladores ni sopladores aunque el costo inicial del equipamiento es relativamente alto y requiere presión de vapor mínima de 17Kg. /cm^2. Conviene confinar los animales en las proximidades del ingenio para evitar transportación Sus ventajas están ampliamente comprobadas en Brasil y otros países de A. Latina. La Tabla 4 muestra un ejemplo de ración donde los animales ganaron 1 Kg. /d. En Cuba se cuenta con una instalación comercial, adquirida en Brasil, desde 2012 radicada en el central "Jesús Rabí·, municipio de Calimete, provincia de Matanzas y se desarrolla un proceso inversionista para la construcción nacional de 4 plantas similares, lo cual se trata en la parte II de este trabajo

Tabla 5 Ración de engorde de bovinos con alta proporción de bagazo (Lacorte et al, 1987)

	%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

- ✓ **Beneficio, procesamiento y conservación.-** Aunque estas operaciones no producen alimentos primarios su influencia es decisiva en el aprovechamiento de lo producido, en el reciclaje de residuos, en el ahorro de combustible, en la calidad del producto ofertado para consumo humano y en su precio de venta. La gran cantidad de desechos que se generan en los mercados agropecuarios y en los hogares además de una pérdida económica, constituyen una carga contaminante del ambiente de consideración. Existen en la actualidad plantas y equipamiento para trabajar en la pequeña y mediana escala en el procesamiento de alimentos de la más diversa índole desde frutales hasta lácteos. Esto requiere un enfoque empresarial diferente al tradicional.

El aspecto de mayor complejidad es la refrigeración para conservación de los productos. AZCUBA tiene la posibilidad del aprovechamiento del CO_2 de la fermentación alcohólica que representa el 50% de los azúcares dedicados a este fin. La producción de hielo seco tiene la ventaja de partir de una materia prima de costo cero y donde la energía requerida para obtención puede provenir de la propia caña (generación eléctrica a partir de bagazo) durante la zafra. Una cámara de refrigeración a hielo seco es mucho más barata que una convencional, los requerimientos de mantenimiento son casi nulos al no haber máquinas, ni corrosión asociada a agua, como en el hielo convencional. El CO_2 de la fermentación es totalmente

compatible con los alimentos por tener origen biológico y a su poder refrigerante se suma su efecto conservante por crear una atmósfera inerte que inhibe el crecimiento de microorganismos y plagas. En la Tabla 6 se aprecia como el hielo seco tiene casi 3 veces la capacidad de enfriamiento del hielo de agua.

Tabla 6 - Comparación del hielo seco con el hielo de agua (Vauck, 1966)

Tipo de Hielo	**T (°C)**	**d (Kg./ m^3)**	**r (MJ /m^3)**
Hielo de agua	-2	917	305
Hielo seco	-79	1500	847,5

4.) Conclusiones

De lo anteriormente discutido se puede concluir que:

- ✓ La producción de alimento animal es un eslabón interrelacionado con el resto de la cadena alimentaria y no debe verse aisladamente.
- ✓ Se puede lograr mayor eficiencia respecto al consumo de energía, la protección del ambiente, el consumo de agua y la agregación de valor cerrando ciclos productivos y con una mayor integración territorial.
- ✓ La yuca es una alternativa parcial para enfrentar el déficit de cereales necesarios y que las harinas o pastas de origen animal deben ser aprovechadas al máximo para cubrir en cierta medida el déficit de proteína.
- ✓ AZCUBA debe priorizar como alternativas de alimentos basadas en caña, la producción de caña forrajera, la producción de miel B, el uso de amoníaco en sustitución de urea, la producción de sustitutos lechero basado en la levadura torula e introducir la producción de bloques multinutricionales, el bagazo hidrolizado y la producción de hielo seco como conservante de alimentos.

5,) Bibliografía

Cabello, A., Torres, A., Almazán, O. (2008).The economical viability of animal production based on sugarcane co-products under the present prices of commodities. SugarTech Vol. 10, No.1, pp 25-28.

Cabello, A., Sáenz, T. (2009). Consideraciones sobre la producción eficiente de alimento animal en el MINAZ en el contexto actual. Presentado en el Evento ATAC – ACPA, Cienfuegos, 2009

Castro R. (2009). Discurso de Clausura del Primer Periodo de Sesiones de la Asamblea Nacional del Poder Popular. Palacio de Convenciones, La Habana 29 de julio de 2009

Falla H. (2004). Desechos de Matadero como Alimento Animal en Colombia. Frigorífico Guadalupe S.A. Santa Fe de Bogotá (Folleto)

Funderburg, E.(2001). Why are nitrogen prices so high? The Samuel Roberts Noble Foundation.AgriculturalDivision.April 2001(www.Noble.org/Ag).)

Graziano da Silva, J (2013). La única respuesta posible al hambre: convertirla en prioridad. Diario Granma, 28 de mayo de 2013, pág. 5

Herrera P., Birbe B., Colmenares O., Domingues C., Martínez N. (2007). Tecnologías apropiadas para la ganadería en los Llanos de Venezuela. I Simposio Recursos Agroalimentarios (Cap.1).S. Juan de los Morros, Guárico, Venezuela

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.

Martín P.C. (2004). La Alimentación del Ganado con Caña de Azúcar y sus Subproductos. Edit.Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba

Mederos C.M. (2008). La Utilización de Mieles Enriquecidas de Caña de Azúcar en la Alimentación Porcina.Memorias Seminario Internacional Diversificación 2008. Hotel Nacional, La Habana, Cuba

Montes, E. (2013). ¿Comer? No importa. Bohemia, año 105, No. 8, La Habana, 19 de abril de 2013, Pág. 23

Pearce F. (2008).Can the Planet Irrigate the World's Ethanol Demands? Sugaron Line.com. Sugaronline's Friday Editorial. 5 Dec .2008

Soto-Camargo R (2001). Utilización de bloques de melaza y urea en la engorda intensiva de becerros criollos. Arch. Latinoam. Prod. Anim. Vol. 9 No.2:99-103

Vauck W.R., Muller H.A. (1966).Grundoperationenchemischer Verfahrenstechnik.2. Auflage. Kuhlen, pp399. Edit. Theodor Steinkopff, Dresden y Leipzig

Wit C.T. de (1975).Interconversion of Labor and Industrial Energy. Neth. J. of Agric. Science, Vol 23,pp145-156

LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SU PARTICIPACIÓN EFICIENTE EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL EN CUBA. (PARTE II)

THE SUGAR CANE AGRO INDUSTRY AND ITS EFFICIENT PARTICIPATION IN THE ANIMAL FEEDING IN CUBA. (PART II)

Autores: Tirso Sáenz Coopat [(1)], Agustín Cabello Balbín [(2)], Raúl Costales Sotelo [(2)], Jorge Fonseca Rodríguez [(1)]

[(1)] Banco de Inversiones, S.A, tirso@bdi.cu, fonseca@bdi.cu
[(2)] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA
agustin.cabello@icidca.edu.cu,raul.costales@icidca.edu.cu,

Resumen

Los reiterados llamados de la dirección del país a considerar la producción de alimentos como un factor de seguridad nacional son de importancia decisiva para enfrentar la compleja situación actual como consecuencia de la crisis mundial y de métodos y concepciones económicamente ineficientes aplicadas en el sector agropecuario. En este escenario la agroindustria de la caña de azúcar, se ha propuesto aumentar su participación en la producción de alimento animal y productos pecuarios. La voluntad política por elevar la diversificación agroindustrial y la experiencia acumulada en la producción de alimento animal y la disponibilidad de tierras para este fin, permiten asumir que el aporte de este sector puede ser significativo. En el trabajo se discuten ideas y conceptos que contribuyen a la implementación de proyectos, con el fin de hacer un uso más eficiente de los recursos disponibles y se modifiquen enfoques que limitan la eficiencia en la producción animal.

Palabras claves: caña de azúcar, diversificación agroindustrial, alimento animal, producción animal, eficiencia económica, bloques multinutricionales, bagazo hidrolizado.

Abstract

The reiterated calls from the high Cuban government to consider food production as a national security factor are of decisive importance to face the complex present situation as a consequence of the world economic crisis and inefficient economic concepts and methods in the national agricultural and cattle breeding sector. In this context, the sugar cane agro-industry sector is committed to increase its participation in the production of animal feeds and cattle. The political will to raise the cattle breeding diversification and the accumulated experience in the production of animal feeds and the availability of land for this purpose make possible to assume that the contribution of this sector be significant. In this work, concepts and ideas are discussed that could contribute to the implementation of projects aimed to make a more efficient use of the resources available and modify approaches that limit the efficiency in animal production.

Key words: sugar cane, agro industry diversification, animal feed, animal production, economic efficiency, multinutritional bloqs, hidrolize bagasse.

INTRODUCCIÓN

La participación eficiente de la caña de azúcar, sus co-productos y derivados en la alimentación animal y su impacto favorable en la viabilidad económica de las producciones de carne y/o leche, guarda una relación directa con los aspectos técnicos analizados en la primera parte de este trabajo.

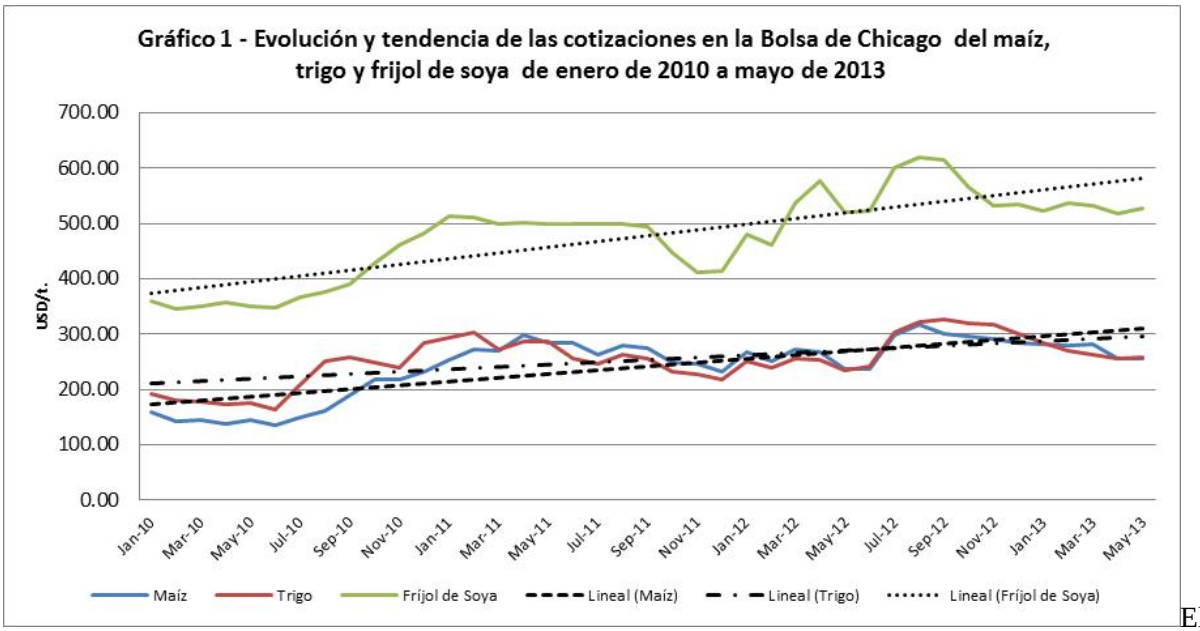
Otras cuestiones como los aspectos gerenciales, de mercado (tanto para las producciones finales como los de suministros de materias primas) y la selección de alternativas resultan vitales para garantizar la sostenibilidad de la producción de alimento animal como complemento de la economía agroindustrial de la caña de azúcar. Por tales motivos, en esta II Parte, se aborda la forma de implementar estos sistemas productivos desde el punto de vista empresarial y comercial enfocándose en aspectos tales como amplitud del objeto social, interacciones con los factores territoriales, criterios de medición de utilidades, formas de estimulación empresarial, laboral y otros, que pueden servir para lograr una mayor satisfacción de las necesidades. Se presentan los resultados de las evaluaciones económico-financieras destinadas a la implementación de los programas inversionistas de Bloques Multinutricionales (BMN) y Bagazo Hidrolizado Formulado.

1) Consideraciones económicas gerenciales sobre la producción de alimentos[1].

La producción agropecuaria se diferencia de otros sectores productivos por un grupo de factores que aunque bien conocidos vale la pena mencionar:

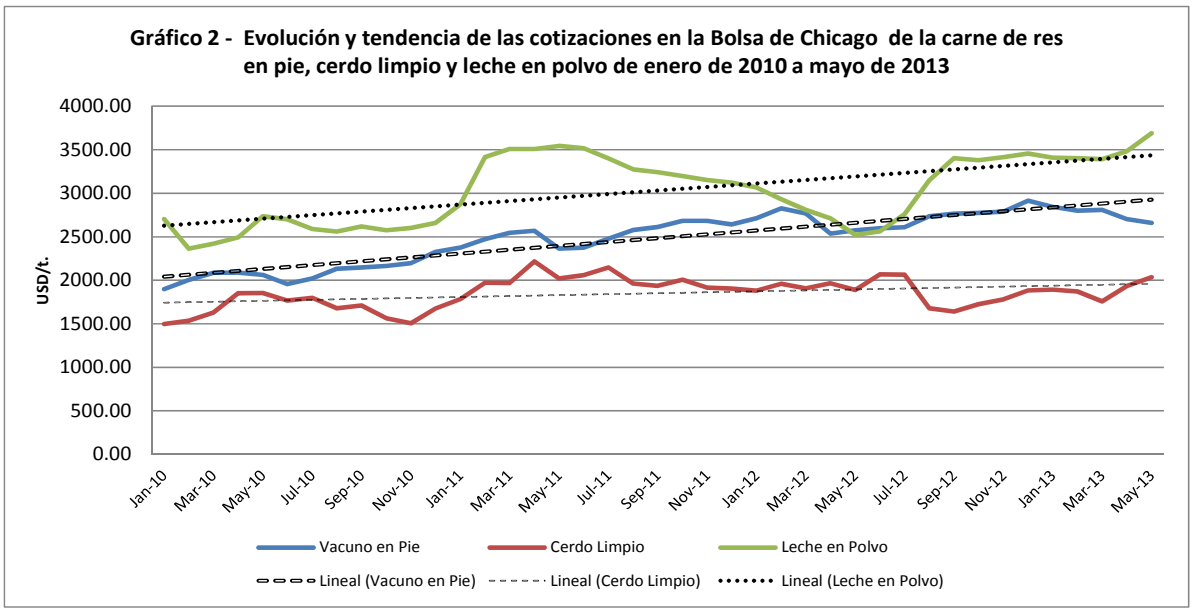
- ✓ Está presente a lo largo de todo el país y abarca una extensión geográfica muy grande (6.619,5 miles de ha., 60% de la superficie total del país. (ONE, 2008), de características diferentes y de difícil control.
- ✓ Presenta estacionalidad en casi todos sus renglones y una alta dependencia del clima.
- ✓ Abarca un surtido de renglones muy amplio.
- ✓ Sus productos finales son generalmente perecederos y se dañan mecánicamente con facilidad lo que demanda una gran agilidad en la cosecha y comercialización.
- ✓ Tiene una alta demanda de fuerza de trabajo de baja calificación en tareas rudas (lo que representa un problema en Cuba con 70% de población urbana, con tendencia al envejecimiento y alto nivel de escolaridad).
- ✓ La producción primaria tiene un bajo valor agregado lo que unido a la necesidad de garantizar la alimentación de toda la población se traduce en precios mayoristas generalmente bajos.

[1]Por una cuestión de coherencia, se mantiene la numeración de manera corrida de la Parte I de este trabajo



✓ El alza de los precios de los alimentos es una de las causas principales de conflictos sociales en el mundo (ver gráficos 1 y 2).

Fuente: Elaborado por los autores a partir de información suministrada por la Gerencia de Estudios de Mercado. Banco de Inversiones S.A., mayo de 2013



Fuente: Elaborado por los autores a partir de información suministrada por la Gerencia de Estudios de Mercado. Banco de Inversiones S.A., mayo de 2013

Los países desarrollados resuelven las limitaciones anteriores con un alto nivel de subsidios, la importación de fuerza de trabajo mal remunerada y sistemas intensivos de producción de alto consumo energético y poder contaminante. Los países pobres mantienen condiciones de miseria y explotación en la fuerza de trabajo agrícola como forma de rentabilidad. **El sistema socio-económico de Cuba no permite ninguna de estas variantes y demanda soluciones diferentes dentro de las posibilidades técnico-económicas del país.**

2) La situación de Cuba y en especial de su agroindustria de la caña de azúcar

No es posible en el marco de este trabajo hacer un análisis exhaustivo de un tema tan complejo y de tanta importancia para el país. Uno de los estudios más detallado sobre el tema es el publicado por Nova (2006) que desafortunadamente no cubre el periodo más reciente de alza espectacular de precios de los alimentos en el mercado internacional ni la crisis financiera actual a nivel mundial, en el que, además, se han introducido cambios de importancia en Cuba en cuanto a la agricultura y AZCUBA y fundamentalmente con la actualización del modelo económico, a partir del VI Congreso del PCC, con un grupo de medidas y regulaciones jurídicas que propenden en gran medida mejorar la situación existente.

A partir de la anteriormente citada, otras fuentes y la experiencia acumulada por los autores, es posible exponer un grupo de características negativas de la actividad agropecuaria en Cuba que se relacionan a continuación:

- ✓ Ha prevalecido de forma general una disminución de la producción y de los rendimientos agrícolas y pecuarios en una buena parte de los cultivos (en otros como la papa, las hortalizas se han logrado avances de consideración) y de la masa animal, influenciado por factores climáticos, efectos asociados a la desaparición de la URSS y el Campo Socialista, el Bloqueo y una percepción generalizada de que la producción agropecuaria (incluyendo el azúcar) no es una vía principal de mejorar el nivel de vida ni de desarrollo del país (en comparación con el turismo, las tecnologías de punta y otros sectores emergentes).
- ✓ Baja eficiencia empresarial en el aprovechamiento de los recursos, debido al exceso de regulaciones y centralización (escasa autonomía en la toma de decisiones) que se traduce en una baja velocidad de respuesta, poca interacción entre los sectores cooperativo, privado y estatal, sobredimensionamiento de algunas unidades productivas, exceso de personal administrativo, entre otras.
- ✓ Insuficiente integración territorial entre empresas subordinadas a diferentes organismos (AZCUBA, MINAG, MINAL, MINCIN, Poder Popular).
- ✓ Mala gestión de acopio, distribución y comercialización en especial para atender las necesidades de las grandes ciudades.
- ✓ Mecanismos poco flexibles en la estimación y determinación de costos, fijación de precios así como cálculo y destino de las utilidades.
- ✓ Falta de estímulos financieros y fiscales a la sustitución de importaciones y a la protección del ambiente.
- ✓ Bajo nivel de beneficio y procesamiento que se traduce en la calidad de los productos ofertados y en un nivel de deterioro alto de los mismos con las consiguientes pérdidas y un insuficiente aprovechamiento de residuos agrícolas y pecuarios.
- ✓ Objeto social de las empresas y unidades cooperativas (incluyendo UBPC) limitados y con trámites, hasta el abril de 2013, engorrosos para su ampliación.

En el caso del sector agroindustrial cañero –azucarero, han estado presentes estas mismas características y es necesario distinguir entre la etapa anterior a su reestructuración y redimensionamiento (Tarea Álvaro Reynoso) y lo acontecido después.

Antes de la reestructuración, el MINAZ (actual AZCUBA) mantenía un cierto nivel de producción de alimentos sobre todo con fines de autoconsumo con carácter mayormente extensivo y entregaba un gran volumen de alimento animal a las empresas del MINAG como se aprecia en la tabla I.

Con excepción de la levadura torula el resto de los productos eran destinados a la alimentación vacuna en seca para evitar mortalidad o lograr resultados productivos discretos**,** estaban insuficientemente balanceados, no estaban sujetos a control de calidad y algunos de ellos eran perecibles a corto plazo y/o tenían una baja densidad volumétrica. Los precios de venta no siempre respondían a su valor intrínseco o costo.

Después de 1990, con la disminución del tamaño de las zafras y las condiciones impuestas por el Período Especial, el volumen producido disminuyó a valores muy bajos. En 1990 el MINAZ producía 1.243,7 miles de toneladas de alimento animal, en 2006 la cifra solo alcanzaba 24, 8 miles de t.

A partir del 2002, con la reestructuración, el redimensionamiento y diversificación de la actividad productiva del MINAZ se crearon 46 empresas agropecuarias y 78 granjas agroindustriales y dedicaba 1.340 miles de

hectáreas a las producciones agrícolas y forestales, de un fondo de 2.100 miles de hectáreas. En los últimos años, fueron transferidas al MINAG una buena parte de estas unidades, aunque aún se mantiene un área de 775 miles de hectáreas dedicadas a la producción agropecuaria y forestal ubicada en 571 UBPC, 254 CPA, 106 CCS y 4 Granjas del EJT de las cuales un porcentaje importante presentaban pérdidas económicas en 2009, básicamente en la actividad no cañera. Es significativo que a nivel de rubros los renglones importantes para la alimentación animal como maíz, soya, millo y yuca son irrentables.

Tabla I - Tipo y producción record de alimento animal producido por el MINAZ

Alimento	**Producción** (miles de t.)	**Año**
Miel Urea	675,6	1981
Miel Urea Bagacillo	567,8	1982
Bagacillo Predigerido	336,3	1990
Predical	14,0	1993
Pajumel	47,8	1990
Garanver	96,3	1990
Torula	79,0	1990
Levadura Saccharomyces	34,5	2004

Fuente: Información suministrada por la Dirección de Derivados del MINAZ, 2009.

En determinados momentos se manejó la posibilidad de dedicar ingenios a la producción de alcohol o azúcar, electricidad, mieles y alimento animal en esquemas diversificados y flexibles. Por razones que no se analizan en este trabajo esta posibilidad no ha sido explotada en toda su potencialidad. Sin embargo, con la creación de AZCUBA –y la nueva reorganización que conllevó- se crearon en los centrales azucareros (los cuales rebajaron su categoría de empresas a unidades empresariales de base[2]) unidades empresariales de base independientes: azucareras, de atención a productores cañeros y de derivados, lo cual a consideración de los autores más que ayudar puede frenar la diversificación agroindustrial y/o hacerla más cara.
Hoy día la agroindustria azucarera cubana consta con las siguientes plantas de derivados:

[2]En algunos países se conocen como unidades estratégicas de negocios, que son entidades sin personalidad jurídica propia y se subordinan a una empresa

Tabla II – Plantas de derivados de AZCUBA (2012)

PRODUCTO	CANTIDAD	U.M.	CAPACIDAD DIARIA	CAPACIDAD ANUAL
Alcohol	12	HL	6,610.00	1,784,700.00
CO_2	5	t	20.00	5,400.00
Saccharomyces	11	t	160.00	43,200.00
Torula	4	t	50.00	13,500.00
Miel Urea Bag	34	t	180.00	48,600.00
Miel amon.	1	t	20.00	5,400.00
Tableros	2	m^3	60.00	16,200.00
Ron MN	15	HL	300.00	81,000.00
Ron MLC	13	HL	400.00	108,000.00
Licor MLC	2	HL	40.00	10,800.00
Glucosa	2	t	5.00	1,350.00
Sirope Fructosa	2	t	30.00	8,100.00
Caramelo MN	1	t	6.00	1,800.00
Caramelo MLC	1	t	2.50	750.00
Sorbitol	1	t	15.00	4,500.00
Fitomas	1	miles L	7.30	2,200.00
Alimento	1	t	45.00	16,200.00
Bloques Mult	1	t	18.57	5,571.00
Bagazo	1	t	35.00	6,090.00

Fuente: Cordovés, M., y Sáenz T. "Situación Actual de los Derivados de la Caña de Azúcar en Cuba". La Habana, julio de 2012

3) Algunas inversiones y acciones en curso en la alimentación animal en AZCUBA.

En el transcurso de los años 2011 al 2013, varios han sido los pasos dados por AZCUBA para la revitalización de la producción de alimento animal a partir de la caña y sus derivados, para con ello cumplir con lo establecido en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Entre las principales acciones se pueden destacar:

a) Rehabilitación de plantas de Miel-Urea-Bagacillo.
b) Construcción de planta industrial de alimentos balanceados, en el central "Antonio Sánchez" en la provincia de Cienfuegos.
c) Construcción de una planta de Alimento Ensilado para Cerdos[3]en el central "Héctor Molina", provincia de Mayabeque.
d) Reconversión de una planta de Miel-Urea-Bagacillo en productora de Bloques Multinutricionales, en el central "Comandante Manuel Fajardo" de la provincia de Mayabeque.
e) Importación e instalación de una planta de Bagazo Hidrolizado, en el central "Jesús Rabí" de la provincia de Matanzas.
f) Definición de un programa inversionista que prevé en el corto plazo la construcción y montaje de:
   - 5 plantas de Alimento Ensilado para Cerdos[4]
   - 11 plantas de Bloques Multinutricionales[5]
   - 4 plantas de Bagazo Hidrolizado[6]

[3]Con tecnología desarrollada por el Instituto de Ciencia Animal (ICA) la cual emplea en su formulación vinazas de destilería y raíces y tubérculos como materias primas fundamentales. Esta tecnología permite no solo satisfacer demandas de la ganadería porcina, sino también paliar un problema ambiental.
[4]Se ubicarán en centros de limpieza en seco de la caña y emplea tanques y otros equipos de plantas de cera desactivados, lo cual reduce significativamente el costo de la inversión
[5] A partir de la reconversión de igual cantidad de plantas de Miel-Urea-Bagacillo
[6]Con diseño y construcción nacional

Para seguir la línea de razonamiento de la primera parte de este trabajo, veamos las ventajas que aportan los programas inversionistas de bloques multinutricionales y bagazo hidrolizado.

7.1) Programa de inversión de bagazo hidrolizado

El Estudio de Factibilidad Técnico Económica analizó dos alternativas:

a) **Alternativa I**: Producción y comercialización de Bagazo Hidrolizado sin mezclar como materia primas para la formulación de raciones balanceadas

b) Alternativa II: Producción y comercialización de Bagazo Hidrolizado mezclado con miel final y sales, tal y como se muestra en la tabla III.

Tabla III – Composición del Bagazo Hidrolizado Mezclado.

	Por composición	**Para 1 tonelada**
Materiasprimas	**%**	**Kg.**
Bagazo hidrolizado	77,00	770,00
Miel final	15.90	159,00
Urea	1,60	16,00
Fosfato dicálcico	0,63	6,30
Sulfato de amonio	0,30	3,00
Sal común	0,07	0,65
Agua	4,50	45,00

El mismo tiene como objetivo: **incrementar las producciones de alimento animal para el ganado vacuno (carne y leche); sustituir de manera indirecta importaciones de carne res.**
Se propone instalar 4 unidades, las cuales se muestran en la Tabla IV.

Tabla IV – Ubicación de las inversiones de Bagazo Hidrolizado

No.	**Provincia**	**Central**
1.	Villa Clara	*HéctorRodríguez*
2.	Sancti Spiritus	*Uruguay*
3.	Ciego de Ávila	*Ecuador*
4.	Holguín	*Fernando de Dios*

El programa de producción y ventas se muestraen la tabla V.

Tabla V – Programa de producción y ventas.

Producción	Por planta (t)	Total 4 plantas (t)	Por planta (t)	Total 4 plantas (t)	Por planta (t)	Total 4 plantas (t)
Aprovechamiento de la capacidad	80%		90%		95%	
Años de operación	año 1		año2		años 3 - 10	
Producción/turno	17.50	72.00	20.25	81.00	21.38	85.50
Producción diaria	35.00	140.00	39.38	157.50	41.56	166.25
Producción anual	6.090.00	24.360.00	6.851.25	27.405.00	7.231.88	28.927.50

Ventas	Por planta (mt)	Total 4 plantas (mt)	Por planta (t)	Total 4 plantas (mt)	Por planta (mt)	Total 4 plantas (mt)
Aprovechamiento de la capacidad	80%		90%		95%	
Años de operación	año 1		año 2		años 3 - 10	
Ventas/turno	2.392.29	9.842.56	2.768.22	11.072.88	2.922.01	11.688.04
Ventas diarias	4.784.58	19.138.31	5.382.65	21.530.60	5.681.69	22.726.75
Ventas anuales	832.516.61	3.330.066.46	936.581.19	3.746.324.76	988.613.48	3.954.453.92
Precio de venta	136.70					

Ventas	Por planta (CUC)	Total 4 plantas (CUC)	Por planta (CUC)	Total 11 plantas (CUC)	Por planta (cuc)	Total 4 plantas (cuc)
Aprovechamiento de la capacidad	80%		90%		95%	
Años de operación	año 1		año 2		años 3 - 10	
Ventas/turno	1.518.03	6.072.11	1.707.78	6.831.12	1.802.66	7.210.63
Ventas diarias	3.036.05	12.144.21	3.320.68	13.282.73	3.505.17	14.020.66
Ventas anuales	528.273.19	2.113.092.76	577.798.80	2.311.195.21	609.898.73	2.439.594.94
Precio de venta	84.33					

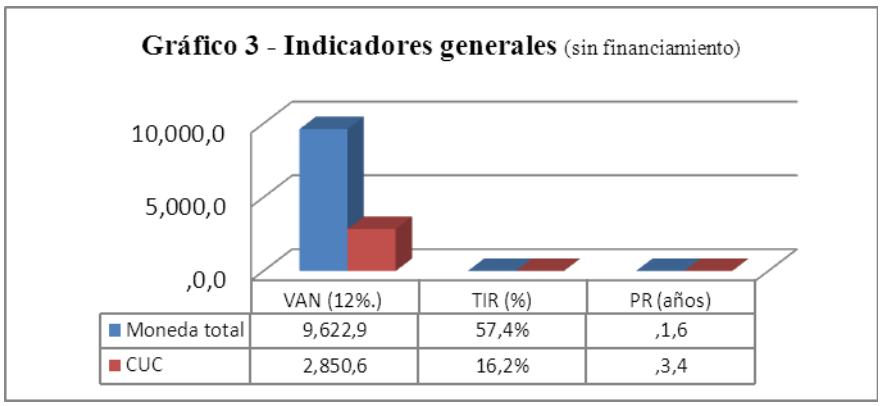
Nota: mt- significa moneda total que es igual a la suma de los pesos convertibles (CUC) y la moneda nacional (CUP)

A continuación se muestra el costo de la inversión para la Alternativa II. La Alternativa I no se muestra, pues para el escenario asumido y con las regulaciones vigentes de formación de precios en el país, resulta irrentable. Por otra parte, la misma no se recomienda, pues agrega muy poco valor.

Tabla VI – Costo de la inversión. Bagazo Hidrolizado - Alternativa II

	Costo de inversión de 1 planta (7 830,0 t/año)		Costo de inversión 4 plantas (23 400,00 t/a)		
CONCEPTO	**Moneda total**	**De ello: CUC**	**Moneda total**	**De ello: CUC**	**CUP**
Equipamiento	408.179.04	248.543.20	1.632.716.16	994.172.81	638.543.35
Construcción y montaje	203.840.28	152.010.17	815.361.14	608.040.69	207.320.45
Capital de trabajo	3.120.41	3.107.65	12.481.64	12.430.60	51.03
Otros (10%)	61.201.93	40.055.34	244.807.73	160.221.35	84.586.38
Total	**676.341.67**	**443.716.36**	**2.705.366.66**	**1.774.865.45**	**930.501.21**

Los indicadores de eficiencia económico financiera resultan atractivos, dado en gran medida a la posibilidad de acometer el diseño, la construcción de todo el equipamiento y su montaje localmente, esto se muestran en el gráfico 3, sin embargo, más adelante se muestra el efecto neto por sustitución de importaciones, donde se ratifica la validez de esta tecnología anexa a centrales azucareros.



El producto no sustituye importaciones de manera directa, pues es cualitativamente inferior a los productos importados, debido a que se trataron de minimizar costos y emplear en la formulación solo subproductos de la agroindustria azucarera y sales comúnmente empleadas por este organismo en la producción de otros derivados de la caña de azúcar.

Para el cálculo de los beneficios adicionales tangibles por el empleo del bagazo hidrolizado en la alimentación del ganado se tomó en consideración los ingresos por carne de res que se pudieran obtener y se pierden en seca por déficit generalizado de pastos y forrajes.

Para realizar similar análisis, se examinaron los costos evitados con relación a la carne en pie y las ganancias en ella por el suministro de este producto en época de seca. Los resultados se muestran a continuación:

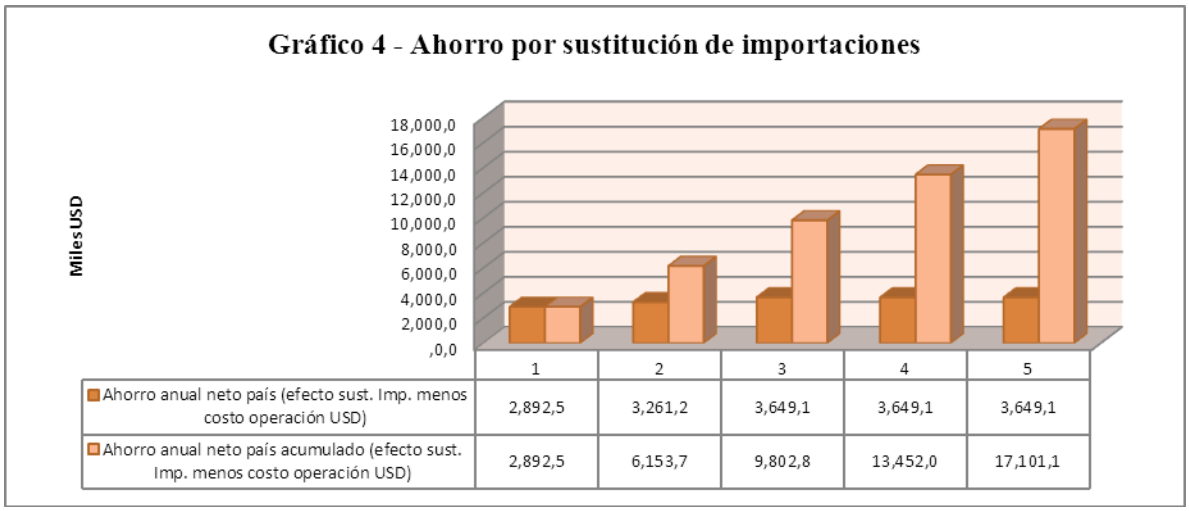
Tabla VII – Bases para el cálculo de la sustitución de importaciones.

Duración de la estación de seca (días)	210	
Días de producción	130	Se entrega el 75% de la producción diaria y se almacena el BH equivalente para el otro 25%
Días de suplementación	174	82.86%
Pérdida de peso/animal/día (kg)	0.48	100 kg/animal/seca
Mortalidad del rebaño en seca	3.0%	
Peso promedio del animal (kg)	250	
Ganacia de peso vivo/animal/día	500	g
Precio carne en pie (CUP)	7.0	/kg
Precio carne en pie (CUC)	2.72	/kg

Tabla VIII –Valoración de la sustitución de importaciones indirecta. Beneficio - País

Beneficio-país por costo evitado	**1 planta**	**4 plantas**
Pérdida de peso en seca (kg)	191.124,32	764.497,29
Muertes en seca (animales)	69	277
Carne en pie perdida por muertes	17.307	69.228
Pérdidas totales de carne	208.431,29	833.725,16
Valor de la carne en pie perdida (CUC)	***565.937,13***	***2.263.748,51***
Beneficio-país total	**1 planta**	**4 plantas**
Beneficio - país total (USD)	***1.017.599,83***	**4.070.399,33**
Beneficio - país neto (USD)	***719.476.605,71***	**2.877.906,42**

El Gráfico 4 muestra el ahorro neto por sustitución de importaciones de esta inversión, el cual en un horizonte de planificación de 10 años totaliza la suma de 35, 3 millones de USD.



7.2) Programa de inversión de Bloques Multinutricionales.

El Estudio de Factibilidad Técnico Económica analizó una alternativa de formulación de mismo, la cual se muestra en la tabla IX.

Tabla IX – Composición del Bloque Multinutricional.

MATERIAS PRIMAS	Índice de consumo/t.	Consumo anual
Bagacillo (t)	0,25	15.320,3
Miel Final (t)	0,50	30.640,5
Urea (t)	0,10	6.128,1
Cal (t)	0,10	6.128,1
Fosfato diamónico (t)	0,04	2.451,2
Sulfato de amonio (t)	0,01	612,8

Vale destacar que se conocen decenas de formulaciones de los bloques, incluso en la planta existente se ha experimentado adicionado cachaza (fango de los filtros), sin embargo, para el estudio se determinó utilizar una sola formulación base, partiendo de subproductos de la agroindustria y otros materiales de común uso en Cuba, con el fin de minimizar costos. Otras formulaciones no necesariamente reportarían los resultados económicos y financieros aquí mostrados, aunque esta es una producción de bajo riesgo por su efectividad y nobleza demostrada en el país y el mundo.

El programa tiene como objetivo: **Incrementar las producciones de alimento animal para el ganado vacuno; mejorar la eficiencia y salud animal; y sustituir indirectamente importaciones de leche en polvo.**

Está previsto reconvertir 11 plantas de Miel-Urea-Bagacillo[7], las cuales se muestran en la tabla XVI.

[7]Esta alternativa de reconversión de plantas permite reducir sensiblemente el costo de la inversión, pues prácticamente todo el equipamiento tecnológico se utiliza en esta tecnología y solo se adiciona una prensa, de diseño y fabricación nacional

Tabla X - Ubicación de las inversiones de Bloques Multinutricionales

Provincia	***Central***	**Provincia**	***Central***
Artemisa	*Harlem*	Camagüey	*Siboney*
Matanzas	*Jesús Rabí*	Las Tunas	*Majibacoa*
Cienfuegos	*5 de Septiembre*	Holguín	*Loynaz Hechevarría*
Villa Clara	*José M[a] Pérez*	Granma	*Arquímides Colina*
Sancti Spiritus	*Uruguay*	Santiago de Cuba	*Paquito Rosales*
Ciego de Avila	*Ciro Redondo*		

El programa de producción y ventas se muestraen la tabla XI.

Tabla XI – Programa de producción y ventas.

Producción	**Por planta (t)**	**Total 11 plantas (t)**	**Por planta (t)**	**Total 11 plantas (t)**	**Por planta (t)**	**Total 11 plantas (t)**
Aprovechamiento de la capacidad	**75%**		**80%**		**90%**	
Años de operación	**año 1**		**año 2**		**años 3 al 10**	
Producción/turno	9.29	102.14	9.90	108.94	11.14	122.56
Producción diaria	**18.57**	**204.27**	**19.81**	**217.89**	**22.28**	**245.12**
Producción anual	**5.571.00**	**61.281.00**	**5.942.40**	**65.366.40**	**6.685.20**	**73.537.20**

Ventas	**Por planta (Moneda total)**	**Total 11 plantas (Moneda total)**	**Por planta (Moneda total)**	**Total 11 plantas (Moneda total)**	**Por planta (Moneda total)**	**Total 11 plantas (Moneda total)**
Aprovechamiento de la capacidad	**75%**		**80%**		**90%**	
Años de operación	**año 1**		**año 2**		**años 3 al 10**	
Ventas/turno	2.440.89	26.849.77	2.603.61	28.639.76	2.929.07	32.219.73
Ventas diarias	**4.881.78**	**53.699.54**	**5.207.23**	**57.279.51**	**5.858.13**	**64.439.45**
Ventas anuales	**1.464.532.96**	**16.109.862.55**	**1.562.168.49**	**17.183.853.39**	**1.757.439.55**	**19.331.835.06**
Precio de venta	**262.89**					

Ventas	**Por planta (CUC)**	**Total 11 plantas (CUC)**	**Por planta (CUC)**	**Total 11 plantas (CUC)**	**Por planta (CUC)**	**Total 11 plantas (CUC)**
Aprovechamiento de la capacidad	**75%**		**80%**		**90%**	
Años de operación	**año 1**		**año 2**		**años 3 al 10**	
Ventas/turno	1.498.62	16.484.83	1.598.53	17.583.82	1.798.35	19.781.80
Ventas diarias	**2.997.24**	**32.969.66**	**3.197.06**	**35.167.64**	**3.596.69**	**39.563.60**
Ventas anuales	**899.172.66**	**9.890.899.25**	**959.117.50**	**10.550.292.53**	**1.079.007.19**	**11.869.079.10**
Precio de venta	**161.40**					

El costo de la inversión para 1 y 11 plantas se detalla en la tabla XII. Es necesario reiterar que este presupuesto de inversión responde a la reconversión de plantas de Miel-Urea-Bagacillo, en caso de construirse una instalación nueva el monto debe ser significativamente mayor al aquí mostrado.

Tabla XII - Costo dela inversión.

Costo de inversión de 1 planta (7.428,0 t/año)			**Costo de inversión 11 plantas (81.708,00 t/a)**		
CONCEPTO	**Moneda total**	**De ello: CUC**	**Moneda total**	**De ello: CUC**	**CUP**
Equipamiento	35.000.00	14.000.00	385.000.00	154.000.00	231.000.00
Construcción y montaje	15.000.00	6.000.00	165.000.00	66.000.00	99.000.00
Capital de trabajo	44.002.08	36.634.19	484.022.90	402.976.09	81.046.81
Otros (10%)	5.000.00	2.000.00	55.000.00	22.000.00	33.000.00
Total	**99.002.08**	**58.634.19**	**1.089.022.90**	**644.976.09**	**444.046.81**

Los indicadores de eficiencia económico – financiera resultan altamente atractivos, dado en gran medida por las características de la inversión y el amplio uso de materias primas, bien subproductos del proceso de fabricación de azúcar o de común uso en la industria azucarera y/o de sus derivados en Cuba. Estos resultados se muestran en tabla XIII.

Tabla XIII – Indicadores de eficiencia económica y- financiera

	Moneda total(Sin financiamiento)
VAN (12%) (miles)	8.096,6
TIR (%)	129,3%
PR (años)	0,8

El producto no sustituye importaciones de manera directa. Para el cálculo de los beneficios adicionales tangibles por el empleo de los BMN en la alimentación del ganado se tomó en consideración los ingresos por leche adicional producida que se pudieran obtener y se pierden por déficit generalizado de pastos y forrajes, escases de recursos financieros para importar piensos y/o sus materias primas y la calidad genética de la masa animal actual.

Para realizar similar análisis, se examinaron los costos evitados con relación a la leche en polvo de importación. Se utilizó el precio interno vigente y para la leche en polvo el precio de importación del país y el promedio del mercado mundial de enero a abril de 2012. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla XIV –Bases para el cálculo de la sustitución de importaciones. Beneficios indirectos generados por la inversión.

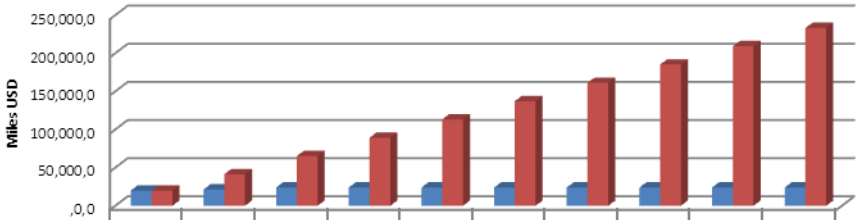
	1 Planta	**Unidad**
Producción diaria	18,6	t/d
Producción para 300 días	5.571,0	t/a
Producción equivalente para 365 días	15,0	t/a
Consumo por animal estimado por día	350	g/d
	11 plantas	
Producción para 300 días	61.281,0	t/a
	1 Planta	**Unidad**
Animales posibles de suplementar	43.609	cbz/d
	11 plantas	
Animales posibles de suplementar	479.695	cbz/d

Tabla XV –Valoración de la sustitución de importaciones indirecta. Beneficio – País.

Vacas en producción		50%
Incremento de la producción/vaca/día		1,0 L./d.
Equivalencia leche fluida: leche en polvo		10 L. leche fluida**:**1,0 Kg. leche en polvo
Incremento producción de leche fluida/día		239.847,0Litros/d.
Incremento producción leche fluida/año		87.544.155,0/L./a.
Equivalente en leche en polvo/día		24,0/t./d.
Equivalente leche en polvo/año		8.754,4 t./a.
Precioleche en polvo		4.200,0 USD/t.
Ingresos en USD leche en polvo	36.768.545,1	100% de la capacidad
Ingreso en USD leche en polvo año 1	27.576.408,8	75% de la capacidad
Ingresos en USD leche en polvo año 2	29.414.836,1	80% de la capacidad
Ingresos en USD leche en polvo años 4 al 10	33.091.690,6	90% de la capacidad

El efecto de la inversión en el balance financiero externo se muestra en la Gráfico 5 debiendo destacar que el mismo que la existencia de saldos acumulados positivos indica que la propuesta más que sustraer USD a la economía del país permite realizar ahorros netos y en el horizonte de planificación de 10 años asumido logra sustituir 233,1 millones de USD en las 11 plantas.

Gráfico 5 - Efecto por sustitución de importaciones



	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Ahorro anual neto país (efecto sust. Imp. menos costo operación USD)	19,983,6	21,315,8	23,980,3	23,980,3	23,980,3	23,980,3	23,980,3	23,980,3	23,980,3	23,980,3
Ahorro anual neto país acumulado (efecto sust. Imp. menos costo operación USD)	19,983,6	41,299,4	65,279,7	89,259,9	113,240,	137,220,	161,200,	185,181,	209,161,	233,141,

8) Algunas recomendaciones estratégicas sobre el diseño y operación de la producción de alimentos en la agroindustria de la caña de azúcar cubana.

Aun cuando en el país se estudian cambios importantes a nivel de la economía total que pretenden modificar la actual situación de ineficiencia productiva es posible enunciar algunas recomendaciones específicas para la producción de alimentos en general y de productos pecuarios en especial dentro del sector cañero - azucarero que se relacionan a continuación:

- ✓ Tener presente en cada momento las interrelaciones en concordancia con la cadena alimentaria.
- ✓ Introducir y generalizar tecnologías como el bagazo hidrolizado y los bloques multinutricionales, que relevan tecnologías anteriores en las actuales condiciones y son práctica común exitosa en diversos países, incluso en algunos de menor desarrollo.
- ✓ Ir a la formulación de alimentos completos y alta durabilidad, producidos con las normas de control de calidad requeridas sin hacer concesiones facilistas para lograr un elevado comportamiento productivo de los animales.
- ✓ Tratar siempre que sea posible de cerrar ciclos y llegar a productos de mayor valor agregado como vía de evitar pérdidas, aumentar el aprovechamiento de la fuerza de trabajo y de la experiencia industrial de AZCUBA y regularizar el flujo de caja de la empresa a lo largo del año logrando una mayor solidez económica-financiera. Esta debe responder a criterios técnicos y económicos claros y no puede generalizarse “a priori”.
- ✓ Lograr la mayor integración territorial posible, incluyendo otros sectores, como vía de satisfacer demandas locales y disminuir transportación tal como se ha logrado con el acopio y distribución de leche fresca en el país.
- ✓ Retomar los estudios de diversificación integral teniendo la producción de alimentos como punto priorizado que incluya los diferentes tipos de unidades de producción agropecuaria y el ingenio.
- ✓ Introducir los cambios necesarios y procedentes de tipo jurídico, financiero, económicos y administrativos que permitan que a nivel empresarial se exprese la prioridad de la producción de alimentos de manera eficiente. Algunas de estas medidas pudieran ser:

a) **Mayor autonomía financiera**. Para lograr cumplir su función social con inmediatez y sin trabas burocráticas.
b) **Permitir establecer fichas de costo y márgenes de utilidades acordes con las posibilidades locales reales.**
c) **Establecer el pago por resultados solo contra productos finales realizados.**
d) **Permitir distribuir utilidades entre los trabajadores a fin de semestre y/o año.**
e) **Una base impositiva diferenciada** que premie la sustitución de importaciones que es la principal misión productiva del país.
f) **Un aporte mínimo por el rendimiento de la inversión estatal** para garantizar liquidez y solvencia permanente y poder capitalizar recursos propios en inversiones necesarias

Para llevar a vías de efectos estas propuestas se pueden **crear entidades empresariales integradas por una o varias cooperativas con la participación de la empresa azucarera**, donde deberá existir una integración total (y a igualdad de condiciones) entre todas las formas de producción,y su objetivo será el de elevar al máximo el valor agregado y la productividad del trabajo.

9) Conclusiones

De lo anteriormente discutido se puede concluir que:

- ✓ El sector agropecuario nacional, además de ser estratégico, tiene características propias y sobre él inciden un grupo de factores que lo diferencian notablemente del resto de los de la economía nacional. Por tal, motivo, requiere de soluciones extraordinarias para garantizar su potenciación de manera eficiente.
- ✓ La producción aislada de alimento animal (eslabón primario) tiene un bajo valor agregado, lo que unido a la necesidad de garantizar la alimentación de toda la población se traduce en precios mayoristas generalmente bajos.
- ✓ Para llegar a una producción eficiente y que motive a todos los actores de la cadena alimentaria, es necesario avanzar hacia los eslabones de la cadena más cercanos al consumidor final, para garantizar: una retribución más motivadora al productor agropecuario; la reutilización racional de residuos propios (que abaratan costos); y ofertar, previsiblemente, productos terminados a precios más atractivos a los consumidores finales
- ✓ La agroindustria azucarera tiene posibilidades objetivas para incidir de manera eficiente en la cadena alimentaria nacional, pero para ello, se requiere instrumentar: cambios de estrategias productivas, en la organización de la producción, así como, mecanismos económico – financieras y fiscales que incentiven el crecimiento eficiente tanto en volúmenes productivos como en la sustitución de importaciones

Bibliografía.

Partido Comunista de Cuba (2011). Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Aprobado el 18 de abril de 2011. Editora Política, la Habana, 2011.

Cabello, A., Sáenz, T. (2009). Consideraciones sobre la producción eficiente de alimento animal en el MINAZ en el contexto actual. Presentado en el Evento ATAC – ACPA, Cienfuegos, 2009.

Castro R. (2009). Discurso de Clausura del Primer Periodo de Sesiones de la Asamblea Nacional del Poder Popular. Palacio de Convenciones, La Habana 29 de Julio.

Cordovés, M., Sáenz, T. (2012). Situación Actual de los Derivados de la Caña de Azúcar en Cuba. Presentado a la ANPP, ICIDCA, La Habana, julio de 2012.

De los Ríos (2002). Estudio Comparativo sobre Diversificación en Cuba y Brasil. ICIDCA, Informe interno.

ICIDCA (2012) - Estudio de Factibilidaddel Programa de Bagazo Hidrolizado. Mayo de 2012.
ICIDCA (2012) - Estudio de Factibilidaddel Programa de Bloques Multinutricionales. Mayo de 2012.
Martín P.C. (2004). La Alimentación del Ganado con Caña de Azúcar y sus Subproductos. Edit.Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.
Nova A. (2006). La Agricultura en Cuba.Evolución y Trayectoria (1959-2005). Editorial Ciencias Sociales, La Habana.
Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) (2008). Panorama y uso de la tierra. Cuba 2007. La Habana, julio de 2008.

PROCEDIMIENTOS PARA EL TRATAMIENTO Y USO DE RESIDUALES DE INGENIOS AZUCAREROS EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTO ANIMAL Y ABONO PARA EL SUELO

PROCEDURES FOR WASTE TREATMENT OF SUGAR CANE MILLS AND ITS USE IN ANIMAL FEED PRODUCTION AND ORGANIC FERTILIZER BY SOIL.

Autores: Cutberto Solano S., Federico García, Pedro L. Fonseca, Luís Escalona, Pedro Castillo, Ciro Ortiz y Ricardo Ramírez.

Instituto de Investigaciones Agropecuaria "Jorge Dimitrov".
Carretera Bayamo Manzanillo Km 16 1/2 Peralejo, Bayamo. Granma. G.P 2340.
Correo electrónico: gsolano@dimitrov.cu

Resumen

El trabajo tiene como objetivo exponer los procedimientos desarrollados para transformar y utilizar residuales sólidos (Cachaza y bagacillo) y líquidos (Azucarados, ácidos y alcalinos) de ingenios azucareros, en alimentos para rumiantes (GARANVER) y en una mezcla orgánica biodegradable (REINAZ) para uso agrícola. Se describen las principales experiencias implementadas en condiciones de campo con el alimento consumido por vacunos estabulados durante la temporada de seca y la respuesta del abono orgánico aplicado a un suelo Fersialitico sembrado de caña de azúcar para semilla. Los resultados muestran la factibilidad de obtener un alimento voluminoso con niveles de proteína bruta (10-12 %) y de minerales favorables, que al incluirlo en raciones a base del producto y residuos de cosecha de caña, se han logrando ganancias de peso vivo moderadas (200 g/días), de animales en mantenimiento y con suministro de suplementos energéticos, se alcanzan incrementos de peso vivo por encima de 400 g/día. El uso de REINAZ en forma de compost, ha reflejado un aumento sustancial del contenido en fósforo y potasio del suelo y en el rendimiento de semilla de caña (80 ton.ha^{-1}). La aplicación de los procedimientos desarrollados sugiere la posibilidad de reciclar de manera sostenible más del 90 % de los residuales azucareros de la industria y alcanzar beneficios ambientales, económicos y sociales.

Palabras clave: Cachaza, bagacillo, caña, compost, alimento animal.

Abstract

The study aims to describe the procedures developed to transform and use, solid (filter cake and bagasse pith) and liquid (sugar water, acid and alkaline) sugar mills waste for ruminant feedstuffs (GARANVER), so as, a biodegradable organic mixture (REINAZ) to agricultural used. Main experiences implemented in field conditions are described with the feed consumed by feedlot cattle during the dry season and the response of organic manure applied to fersiallitic soil with sugarcane seed planted. The results the feasibility to obtain rough feedstuff with adequate protein (10-12%) and minerals levels when are included in diets based on REINAZ and cane crop residues have been achieved; liveweight gains moderate (200 g / day), in maintenance animals and energy supplementation are achieved live weight gains above 400 g / day. REINAZ used as compost, has reflected a substantial increase in phosphorus and potassium soil content and seed yield of sugarcane (80 ton.ha^{-1}). The application of the developed

procedures suggests the possibility of recycling in a sustainable manner over 90% of sugar industry residual and to achieve environmental, economic and social benefits.

Key words: Filter cake mud, bagasse pith, compost, animal feed

INTRODUCCIÓN

En el proceso de elaboración de azúcar se producen sólidos (cachaza, bagacillo) y residuales líquidos (ácidos, alcalinos y azucarados) que por su naturaleza contienen grandes cantidades de materia orgánica. Cuando los líquidos son depositados sin tratamiento previo en embalses, ríos cañadas y en el mar se producen fermentaciones y descomposiciones que alteran el equilibrio biológico del medio, convirtiéndose en agentes perjudiciales para la flora, la fauna y el hombre, sin embargo las investigaciones realizadas han demostrado que esos desechos presentan características que permiten convertirlos en productos útiles. (Mundui et al., 2001)

Entre los residuales sólidos se tiene a la cachaza, residuo en forma de torta eliminado durante el proceso de clarificación del jugo de la caña para la posterior fabricación de azúcar crudo. Este material es rico en azucares y minerales, su producción representa alrededor del 3% de la caña molida, (López, 1986).

El bagacillo o meollo es otro de los residuales sólidos, constituye el 3,5% de la caña entera, se separa del bagazo fundamentalmente por el método de zaranda que es capaz de obtener del 6 al 8% del bagacillo presente (Martín 1982).

Los residuales líquidos son compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos en agua en mayor o menor proporción, originados en las operaciones de limpieza de los diferentes órganos de fabricación de los centrales azucareros, primeramente se hacen enjuagues que arrastran consigo niveles significativos de azúcares. Para remover las incrustaciones formadas en los evaporadores y calentadores se utiliza la sosa cáustica y el ácido clorhídrico. El residual ácido es el remanente de HCl que queda en la solución química utilizada limpieza. Este ácido y sus enjuagues son vertidos regularmente a zanja.

En la actualidad no existen tecnologías que permitan la recuperación y uso racional de los residuales azucareros, lo que origina que su vertimiento al ambiente con una alta concentración de carga tóxica y química que produce una gran demanda bioquímica de oxígeno (DBO), equivalente a 1.6 Kg/ t de caña molida en centrales de crudo y 2.6 Kg en los que poseen refinería, afectando la eficiencia de las lagunas de oxidación o estabilizadores biológicos (Ovaya **et al.**,1988)

OBJETIVO: Describir procedimientos desarrollados en el Instituto “J. Dimitrov” para utilizar residuales sólidos y líquido de ingenios azucareros en alimento para rumiante (GARANVER) y en una mezcla orgánica biodegradable (REINAZ) para uso agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se hizo un estudio sobre las características químicas de los residuales sólidos y líquidos en centrales azucareros ubicados en las provincias más orientales de Cuba, comprendidos en las categorías de pequeños, medianos y grandes (1400; 4500 y 10200 t/d de caña molida). El trabajo inicial se desarrollo mediante un pilotaje en el central Colombia de la provincia Las Tunas, se cuantifico la producción de cachaza, bagacillo y los efluentes líquido proveniente de los enjuagues y limpieza química de los órganos de fabricación de azúcar crudo los cuales se depositaron en tanques con aforamiento para definir los volúmenes producidos.

Se realizaron análisis bromatológicos de muestras representativas de los diferentes materiales; las determinacione fueron las siguientes: Materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), Cza, Ca y P. En todos los casos los componentes bromatológicos se determinaron según la AOAC, (1995)

Procedimiento.
Los residuales líquidos (Ácidos, alcalinos y azucarados) se recolectan y se sitúan en depósitos independientes; a la solución residual de sosa cáustica de la limpieza química de evaporadores y calentadores, se le aumenta la concentración de NaOH , el bagacillo de caña se separa del bagazo y se le aplica tratamiento químico con la solución de NaOH, las aguas azucaradas desechadas del enjuague de los equipos, se enriquecen con nitrógeno no proteico (Urea) y a la cachaza se le adiciona el ácido residual. Todos los componentes se mezclan en proporciones definidas, y se obtiene un producto (GARANVER) con niveles de nutrientes (Proteína, energía y minerales) favorables para el consumo de animales rumiantes. En la propia instalación se puede elaborar una mezcla de un sustrato orgánico biodegradable (REINAZ) constituida por los residuales de ácido clorhídrico, aguas azucaradas, bagacillo y cachaza. La operación de mezclaje para ambos productos se efectúa de manera continua en un proceso mecanizado.

Planta para elaborar alimento animal y sustrato orgánico a partir de residuales azucareros

Conservación del GARANVER mediante el secado al sol. El secado se efectuó esparciendo el producto a razón de 80 y 100 t/ha con un tráiler distribuidor de materia orgánica accionado por un tractor, en una superficie impermeable expuesta a la irradiación solar, removiendo el material cada 2h (9 AM a 4 PM) durante dos días.

Bovinos alimentados con GARANVER. Se hicieron pruebas de alimentación durante 90 días en ganado de carne y ganado lechero estabulado, en condiciones de producción, los grupos se formaron teniendo en cuenta la mayor similitud en los pesos vivos, características raciales y estado fisiológico. Se utilizó alimento fresco y se depositó en comederos de hormigón.

Para el experimento se utilizaron 400 añojas, 600 novillas y 300 vacas de carne, además 397 novillas lecheras (5/8 Holstein, 3/8 Cebú). Todos los animales recibieron GARANVER (60 % b. seca), residuo de centro de limpieza de caña (RCL) con 0,6kg de miel-urea al 3% y a las novillas lecheras se le ofertó además 220 g de concentrado.

Mejoramiento del sustrato orgánico REINAZ con deyecciones de las aves.
En la crianza de aves en piso se utiliza normalmente el aserrín, la cascarilla de café y en Cuba la más utilizada es la cáscara de arroz (Pérez, 1988). Por lo general los materiales usados como camadas en la crianza de aves se desechan, convirtiéndose en residuales, a pesar de las posibilidades que presentan ya sea como abono orgánico o como fuente de nitrógeno no proteico para los rumiantes, aunque por ser materiales muy lignificados son poco degradables como es el caso de la cáscara de arroz, lo que propicia que su uso como alimento este muy limitado

El REINAZ secado al sol sobre una superficie pavimentada a razón de 4-6 kg/m^2 y se emplea para recolectar las deyecciones situado debajo de las jaulas de gallinas ponedoras en una proporción de 25 g/animal/día durante 20 días. y/o como cama para la cría de pollos en ceba en piso a razón de 1.8 kg/animal.

Elaboración y uso de compost con REINAZ.
El compost elaborada con REINAZ se hizo siguiendo recomendaciones del instructivo técnico del MINAZ (2003), posteriormente se aplicó antes de la siembra, una dosis de 45 ton.ha^{-1} en 3 de las 9 parcelas bajo control, de 0,5 ha c/u en un banco de semilla certificada ubicado sobre un suelo Fersialitico Pardo Rojizo, (Hernández, 1999), localizado, en una zona llana con buen drenaje superficial, a unos 5 Km del central.

Resultados y discusión.

En la tabla 1 se presenta la composición de la cachaza y del bagacillo correspondiente a diferentes zonas del país, se destaca la variabilidad de la fibra bruta (FB), proteína bruta (PB) y del extracto etéreo (EE). El bagacillo refleja características químicas semejantes en casi todos sus componentes.

Tabla 1. Características bromatológicas de los residuales sólidos.

Ingenio	Prod	MS	PB	FB	EE	ART	Cza	Ca	P
Colombia	C	20.44	11.05	11.54	4.39	13.48	21.55	1.85	1.45
	B	50.04	239	42.33	1.54	6.19	4.83	0.31	0.12
C. Rica	C	25.00	6.97	9.26	4.87	10.20	20.35	1.92	1.12
	B	48.21	2.09	38.52	1.58	5.24	3.00	0.31	0.10
O. Golez	C	19.80	11.42	18.96	4.80	9.20	13.12	2.29	0.65
	B	49.20	1.40	38.70	1.35	6.02	5.10	0.28	0.10
Patria	C	21.05	7.97	14.06	3.33	11.10	26.08	2.69	1.48
	B	49.90	1.60	45.05	1.41	6.20	2.68	0.29	0.10
Guatemla	C	26.48	9.19	8.73	8.74	9.71	14.78	2.00	1.34
	B	48.53	2.05	36.99	1.53	5.12	6.05	0.39	0.13

C: cachaza B: bagacillo

En la tabla 2 se presentan los efluentes líquidos de la limpieza de equipos utilizados en el proceso de producción. Se aprecia que el pH del residual azucarado tiene carácter ácido y varía en correspondencia con el grado Brix de la solución el que a su vez fluctúa en un amplio rango. Los azúcares reductores mantienen una estrecha relación con el grado Brix y los centrales de mayor capacidad de molida (Guatemala y Amancio) son los que vierten proporciones más elevadas de azúcares en sus residuales.
En las soluciones de residual alcalino persisten cantidades apreciables de NaOH o y en los residuales ácidos aunque la concentración de HCl es baja no por ello pierde su potencialidad como agente nocivo al medio.

Tabla 2. Composición química de los residuales líquidos.

		Ingenios				
Residual	Análisis	Colombia	O.Glez	Guatemala	C. Rica	Amancio
Azucarados	pH	4.8±0.8	4.2±0.6	5.12±0.6	5.09±0.7	4.9±0.6
	Brix	19.4±9.0	27.7±2.0	45.41±5.0	18.20±7.0	46.8±15
	ART %	15.9±9.0	16.5±1.1	36.30±4.0	11.90±4.0	37.4±12
Alcalis	(NaOH%)	2.76±2.0	2.10 ± 0.2	2.50±2.0	2.40±0.9	2.0±1.5
Acidos	(HCl g/l)	0.4±0.2	0.55 ± 0.1	0.90±0.09	0.30±0.1	0.5±0.2

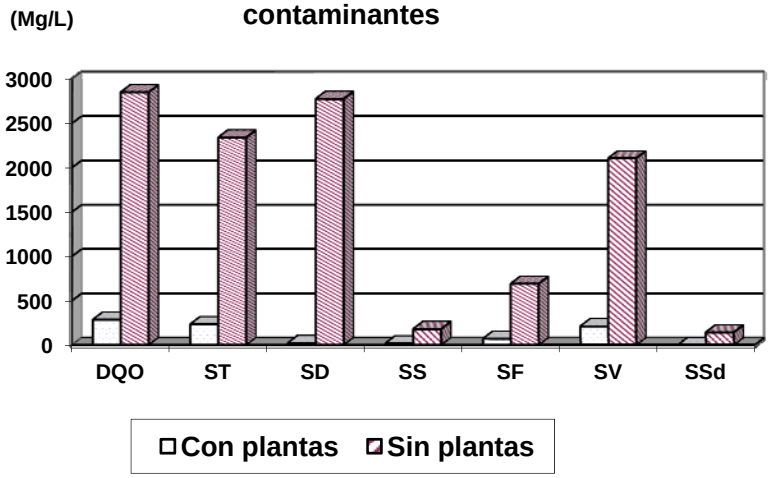
En la tabla 3 se muestra la composición química de los productos obtenidos, en la que se refleja la composición bromatologica del GARANVER, los valores de PB, ART y minerales se encuentran dentro de los parametros establecidos para el alimento animal. La mezcla orgánica de residuales azucareros (REINAZ) presenta características nutritivas favorables con posibilidades de empleo como sustrato para el suelo u otros usos.

Tabla 3. Composición química de los productos obtenidos (% B. Seca).

Parámetros	**GARANVER**	**REINAZ**
Materia seca	24-32	20-35
PH	6.5-8.0	7.5-8.5
Nitrógeno	1.6-2.0	0.80-1.15
Proteína bruta	10-12.5	5-7.18
Azúcares totales	14.0-16	5-12
Potasio	0.65-0.85	0.90-1.5
Fósforo	0.80-1.2	0.85-1.2
Calcio	1.5-3.0	1.5-3.5

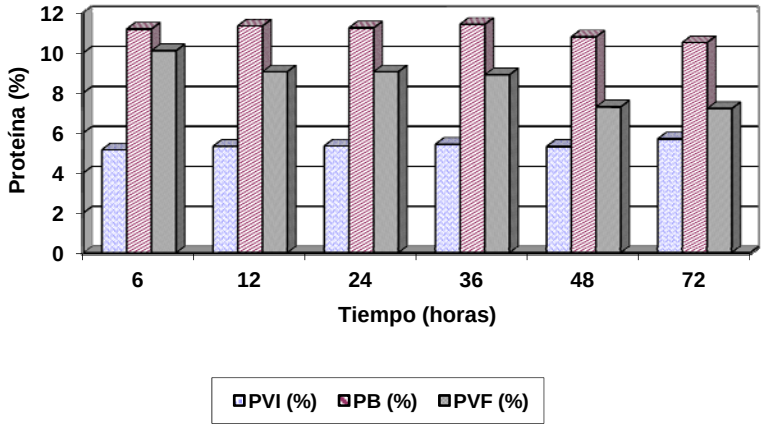
El proceso llevado a escala industrial muestra (Gráfico 1) una posible reducción del vertimiento en las aguas residuales del ingenio reflejado en a la demanda química de oxigeno (DQO), en los sólidos en suspención (SS) sólidos disueltos (SD), sólidos totales (ST), sólidos fijos (SF) y sólidos solubles totales.

Grafica1. Posible disminución de las cargas contaminantes



Los estudios realizados para conservar el alimento sacándolo al sol, han demostrado que el mismo se mantiene por un período superior a 6 meses sin alterar sus principales propiedades nutritivas. Se aprecia (Grafica 2) que en la medida que se utiliza para el secado un producto más envejecido, el valor de la proteína verdadera (PV) tiende a decrecer lo cual parece estar relacionado con la disponibilidad de los azucares reductores totales (ART), los mejores resultados se obtienen cuando se emplea un material fresco, con menos de 24 horas de elaborado, la proteína bruta(PB) prácticamente permanece constante durante todo el período estudiado.

Grafico 2. Comportamiento de la proteína verdadera al incio (PVI) y final (PVF) del secado del GARANVER.



Se aprecia un incremento de proteína (tabla 4) y minerales en el REINAZ con deyecciones de los pollos y de las gallinas ponedoras (290 %) con respecto al producto inicial. En el área de explotación de las gallinas se observó baja incidencia de fetidez y de moscas, diferente a lo que generalmente se origina en sistemas de producción. Los niveles de materia seca al aire fueron altos (por encima del 75%) debido a que los propios animales se encargan de remover el material. Los resultados muestran que el producto bajo las condiciones abordadas, puede usarse favorablemente como un soporte para recoger el nitrógeno y el resto de los nutrientes no utilizados por las aves lo que lo que favorece el posterior reciclaje.

Tabla 4. Composición bromatológica de la mezclas antes y después de usado como absorbente de las deyecciones en las aves (% BS).

Componentes analizados	REINAZ		
	Normal	Pollos en piso	Gallinas en jaulas
Materia seca	91.95±1.42	84.95±1.80	91.64±1.31
Proteína bruta	5.94±0.50	18.39±1.11	17.25±2.83
Fibra bruta	18.36±2.10	19.86±2.10	20.78±1.60
Ceniza	24.06±3.20	25.06±2.05	25.98±5.81
Fósforo	0.80±0.20	1.80±0.50	2.50±0.80
Calcio	2.76±0.33	2.66±0.31	4.65±1.23
Exto etéreo	3.60±0.60	3.20±0.40	2.16±0.35

Comportamiento de animales alimentados con residuales azucareros.

Los resultados obtenidos (tabla 5) muestran valores discretos en la ganancia de peso vivo, se observa según datos, que los animales no perdieron peso, tampoco hubo muertes por desnutrición, contrariamente a lo que ocurre en la temporada de seca en la mayoría de las empresas pecuarias del país. En el caso de las novillas lecheras, aunque el peso se duplico con respecto a los demás grupos, no se alcanzó el valor requerido en esta categoría para presentar un comportamiento reproductivo adecuado el cual plantea Rosete **et al.** (1975) debe ser superior a 350 g/d.

Tabla 5. Cambios de peso vivo en bovino alimentados con GARANVER

Categoría	**Peso Inicio (Kg)**	**Peso Final (Kg)**	**Ganancia (g/día)**
Vacas (3/4 HC 1/5 cebu)	302.00	357.00	125.00
Novillas (cebu)	235.00	248.00	108.00
Añojas (cebu)	149.00	162.00	108.00
Novilla (lecheras)	266.30	290.30	245.00

Conforme a los resultados que se aprecian en la tabla 6, es indispensable la suplementación del alimento para obtener ganancias significativas de peso vivo, este incremento se ve favorecido cuando se le adiciona miel final lo que parece estar relacionado con el aumento de la concentración energética de la ración.

Tabla 6. Cambios de peso vivo y consumo de alimentos en añojas.

Mediciones	**GARANVER con miel**	**GARANVER sin miel**
Peso inicial (Kg)	172.5	170.0
Ganancia (g/día)	409.0	359.0
Gramos de MS/kg $W^{0.75}$	103.0	91.0
MS consumida (Kg/d)	4.68	4.27
Residuo de caña de azúcar	1.35	1.19
Concentrado	0.82	0.82
GARANVER	2.73	2.25

Ovinos Pelibuey.

En las pruebas de alimentación en carneros no se observaron síntomas de intoxicación y la digestibilidad aparente de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y FB en los animales que consumieron el

producto (Tabla 7), el consumo alcanzó niveles adecuados para este tipo de material lignocelulósico. Valores similares en la digestibilidad de la MS fueron obtenidos por Fondevila et al. (1995) en carneros alimentados con dietas a base de paja de avena. El consumo de MS (83.25 g/kg $W^{0.75}$) fue semejante al obtenido por Qingxing (1992), con heno y paja de arroz tratada con amoníaco. Los valores de consumo y digestibilidad sitúan la mezcla de residuales azucareros, como un alimento de mediana calidad.

Tabla 7. Coeficiente de digestibilidad aparente y consumo del GARANVER fresco en carneros.

Nutrientes	**Digestibilidad**	
	Media	**DS**
Materia seca	49.60	3.62
Materia orgánica	56.10	2.74
Proteína bruta	64.39	5.09
Fibra bruta	61.10	5.37
Extracto etéreo	44.07	9.60
Ext. Lib. Nitrógeno	58.10	4.54
Consumo de MS g/Kg W 0.75	83.25	3.65

Ovinos alimentados con REINAZ mejorado.

El incremento de peso vivo obtenida en la ceba de ovinos (Tabla 8) muestra que el REINAZ enriquecido con la gallinaza (REINEA) y miel final, constituye un alimento con un valor nutritivo superior al producto original, con el cual se obtienen ganancias de peso vivo en los ovejos semejante a las alcanzadas por los animales que consumieron como fuente proteica la Leucaena (103 g/d), estos resultados indican que el producto después de empleado como absorberte de los nutrientes desechados por las aves puede constituir un suplemento para la ceba de los carneros.

Tabla 8. Ovinos alimentados con pasto natural suplementado con REINAZ mejorado.

Indicadores	Pasto + REINEA	ES
Peso vivo inicial (kg)	19.64	1.15
Peso vivo final (kg)	25.25	0.76
Ganancia de PV (g/d)	93.0	1.09
Rendimiento de canal (%)	43.23	0.33
Digestibilidad al KOH	66.34	1.39

Uso del sustrato orgánico REINAZ como fertilizante orgánico.

En la tabla 9 se observa los principales indicadores de calidad del compost, la cual está en los rangos óptimos que Funes (1996) expone como concentración típica para las compostas.

Tabla 9. Comparación del REINAZ con compostas obtenidos por otros autores.

Compost	(% base seca)					PH
	N	P	K	Ca	Na	
Concentración típica de nutrientes (Funes, 1996)	1-2	0.3-0.5	2-3	2-6	0.5-1.5	-8.5
Compost de REINAZ	1.62	1.42	0.76	5.95	0.19	7.4
Vermi-Compost con REINAZ	1.71	1.74	0.99	5.50	0.24	7.8

Utilización del fertilizante orgánico en la producción de semilla.

Los resultados de los análisis químico del suelo en parcelas (1, 6 y 8) del banco de semillas de caña certificad donde se aplicó el compost (Tabla 10), muestran un efecto positivo cuado se sustituyo fertilizante químico (P_2O_5 y K_2O), por el compost, se observa una tendencia al incremento del contenido de materia orgánica así como un aumento sustancial de los contenidos de fósforo y potasio y un incremento (estimado) del rendimiento de 20 t de semilla de caña; desde 60 hasta 80 ton.ha^{-1} ,dicho incremento parece estar relacionado con un efecto mejorador ejercido por el abono orgánico, sobre la fertilidad del suelo.

Resultados productivos similares relacionados con los rendimientos, fueron reportados por Paneque y Martínez (1992), en aplicaciones de cachaza como sustituto de los fertilizantes químicos en el cultivo de la caña de azúcar cultivada en suelo Ferralítico amarillento.

Tabla 10. Comportamiento del suelo y del rendimiento de la caña en las parcelas con y sin Compost de REINAZ.

Parcela	MO %	Contenido en el Suelo Mg/100g			Dosis de fertilizante aplicado Kg.ha^{-1}			Rendimiento Estimado. Ton.ha^{-1}
		pH	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
1	**3.59**	**6.6**	**10.75**	**18.72**	**80.0**	-	-	**80.0**
2	3.52	6.8	2.22	7.49	80.0	50.0	190.0	60.0
3	3.52	6.6	3.14	11.23	80.0	30.0	125.0	60.0
4	3.52	6.8	2.77	9.83	80.0	40.0	125.0	60.0
5	3.52	8.0	4.26	12.4	80.0	25.0	125.0	60.0
6	**3.57**	**7.7**	**10.48**	**19.17**	**80.0**	-	-	**80.0**
7	3.52	7.3	3.11	9.80	80.0	30.0	125.0	60.0
8	**3.60**	**7.7**	**12.78**	**22.80**	**80.0**	-	-	**80.0**
9	3.52	6.6	3.14	11.123	80.0	30.0	115.0	60.0

CONCLUSIONES

- En un ingenio de mediana capacidad de molida (300 t/d), se puede suplir aproximadamente el 50 % de la dieta de 20 mil vacunos/día y/o producir 5 mil t de compost en 100 días de zafra.

- Con las deyecciones de aves es posible mejorar el contenido nutritivo del REINAZ y disponer de una fuente barata para el suministro de proteína y minerales a rumiantes durante el periodo de seca.

- Los procedimientos propuesto permiten lograr mediante un esquema sencillo y flexible, reciclar un 90% de residuales líquidos de la limpieza de equipos y hasta el 95 % de los residuales sólidos de los ingenios, lo que se traduce en beneficiosos económicos, ambientales y sociales.

REFERENCIAS

AOAC (1995).Official Methods of Analysis of the Association of official analitical chemists; Washing 12th Ed. 1013 pp.

Fondevila, M.; C. Castrillo; Gasa, J.; Aguada, J.A (1995). Rumen-undegradable dry matter and neutral detergent fibre as ratio indicator of digestibility in sheep given cereal straw-based diets. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 125: 145-151,

Funes F. y Hernández P. (1996). Algunas consideraciones y resultados sobre la elaboración y utilización del Compost en fincas agroelcológicas. Agricultura Orgánica. Año 2. No 1 abril 1996. 36 pp.

Hernández J., A. Pérez y D. Bosch (1999). Nueva versión de clasificación Genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos . La Habana, 64pp.

López Romelia(1987): La cachaza como materia prima. La industria de los derivados de la caña de azúcar. Ed. CIDA. La Habana Cuba, 419 pp.

Martín,P.C(1982). Recientes avances en el procesamiento y utilización de subproductos fibrosos de la caña de azúcar. En Seminario ICA. Mesa redonda. Inst. Cienc. Anim. La Habana. p 19.

Ministerio de la Industria Azucarera; MINAZ (2003). Producción de Compost, Ministerio del Azúcar. Grupo de fertilizantes orgánicos, Tecnología INICA , La Habana, 20 pp).

Mundui G. R., Raquel Fernández, Sonia Orúe (2001). Impacto ambiental de las fábricas de azúcar. Rev., CubaAzúcar XXX(3):59-64

Obaya, María C.; M.A. Sandal; J., Ramos (1988). Evaluación de sistemas de lagunas de tratamientos para aguas residuales de centrales azucareros. Revista ATAC (1):31:34.

Rodríguez R. y Herrera H. (1997). Composte como alternativas de nutrición de la lechuga Programa y Resúmenes. Encuentro nacional de agricultura orgánica. Universidad Central de Las Villas, Villa Clara, Cuba: 14-16 de mayo. 4 pp

Rosete,A.y A.Zamora (1985).Indicadores para la alimentación y manejo de novillas lecheras de reemplazo.Artículo reseña. Ed.EDICA. Inst.Cienc.Anim.La Habana. 150 p.

Pérez, M. (1988). Uso potencial de las excretas y yacijas de las aves, Revista Avicultura, 32(2):149-162.

Paneque, V. M y A. Martínez (1992). La cachaza como sustituto de los fertilizantes químicos para la caña de azúcar cultivada en suelo Ferralitico Amarillento. Cult. Trop. 13 (2-3)

UTILIZACIÓN DE DIETAS INTEGRALES FRESCAS EN LA ALIMENTACIÓN DE CORDEROS DURANTE LA ETAPA DE CRECIMIENTO- ENGORDE

USE OF INTEGRAL DIETS IN THE FEEDING OF LAMBS DURING THE GROWTH-FATTENING STAGE

Autor (*es*)

Delfín Gutiérrez [1],Yisel Gutiérrez Guerra[2], Pedro Ángel González [3], Arabel Elías [1] y Lucia Sarduy[1]

Instituto de Ciencia Anima[l].Universidad de la Isla de Juventud [2].Empresa para la protección de Flora y la Fauna, provincia Holguín[3].

delfin@ica.co.cu

Abstract

The objective of the study was to assess the effect of different substitution proportions of sugarcane for 60 days: king grass plus poultry litter in fresh integral diets, in respect to the voluntary intake and productive parameters of lambs during the growth-stage stage. Animals of the breed Pelibuey, with age and average liveweight of four months and 18,96 ± 2,14 kg LW, respectively, were used. A total of 48 male lambs, not castrated, randomly distributed in groups of 12 were organized in four treatments and fed with different levels of sugarcane inclusion ($T1_{20}$, $T2_{40}$, $T3_{60}$, $T4_{80}$ %) in fresh mixture with king grass forage. When including the integral mixture to all the animals, poultry litter was offered at 5 g kg LW, more mineral salts and water ad libitum. The distribution frequency of the integral mixture was in equal parts (8.30 am-17:30 pm). The results show a linear decreasing of the DM intake with the increase of sugarcane in the mixture (r^2= -0.65, ± SE = 0.05, *P<0,001*), being the levels of $T1_{20}$ and $T2_{40}$ those reaching higher intake index (3.62 *vs* 3.32 % LW, *P<0.001*). In respect to the sugarcane intake index, its square effect (R^2=63.47; ±SE=14.05; *P<0.05*), expresses **39 %** as maximum value of substituting sugarcane: king grass, index corresponding with **1.17 % LW**. With the presence of sugarcane in the mixture and the liveweight variations, the conversion rate improves (*P<0,001*), as well as that of liveweight gain (*P<0,05*) and meat production efficiency (*P<0,05*) in the levels of 40, 60 80 and 80 %. It is concluded that the substitution of 40 % of sugarcane by king grass in the integral diet improves the integral response in terms of voluntary intake and productive parameters.

Key words: integral diet, growth, fattening, intake

Resumen

Evaluar durante 60 días el efecto de diferentes proporciones de sustitución de caña de azúcar: king grass: más gallinaza en dietas integrales frescas, en lo concerniente al consumo voluntario y parámetros productivos de corderos durante la etapa de crecimiento-engorde, constituyó el objetivo de este trabajo. Animales de la raza Pelibuey, con edad y peso vivo promedio inicial de cuatro meses y 18,96 ± 2,14 kg PV respectivamente. Un total de 48 corderos machos no castrado, distribuidos aleatoriamente en grupos de 12 fueron organizados en cuatro tratamientos y alimentados con diferentes niveles de inclusión de caña de azúcar ($T1_{20}$, $T2_{40}$, $T3_{60}$, $T4_{80}$%) en mezcla fresca con forraje king grass. Al momento de ofertar la mezcla integral, y a la totalidad de corderos, se le suministró gallinaza a razón de 5 g kg PV, más sales minerales y agua a libre voluntad. La frecuencia de distribución de la mezcla integral a partes iguales (8.30 am-17:30 pm).Los resultados muestran un decrecimiento lineal del consumo de materia seca con el incremento de la caña de azúcar en la mezcla (r^2= -0.65, ±EE=0.05, *P<0,001*), siendo los niveles de $T1_{20}$ y $T2_{40}$ los que alcanzaron mayor índice de consumo (3.62 *vs* 3.32 % PV, *P<0.001*). En relación con el índice de consumo en la caña azúcar, su efecto cuadrático (R^2=63.47; ±EE=14.05; *P<0,05*), expresa al **39 %** como valor máximo de sustitución de la caña de azúcar: king grass, índice que se correspondiente con el **1.17 % PV**. Con la participación de la caña de azúcar en la mezcla y conforme con las variaciones de peso vivo, se mejora la tasa de conversión (*P<0,001*), ganancia de peso vivo (*P<0,05*) y eficiencia en la producción de carne (*P<0,05*) en los niveles de 40, 60 80 y 80%. Se concluye que la sustitución del 40% de caña de azúcar por king grass en la dieta integral, mejora la respuesta integral en términos de consumo voluntario y parámetros productivos.

Palabras claves: dietas integrales, crecimiento, engorde, consumo

Introducción

La necesidad de aumentar la producción de alimento Cuba continúa siendo una preocupación para las autoridades gubernamentales y el estado, al respecto es el sector agropecuario el que tiene la máxima prioridad en la participación de la solución. Situación que en materia de alimentación animal, para revertirla exige la necesidad de aprovechar de una forma más amplia y con mayor eficiencia el uso de los recursos locales que se tienen el país.

Una solución pudiera ser el empleo de mezclas integrales, practica en que sus efecto benéfico están dados en el aumento y consumo regulado del alimento, mejor aprovechamiento de los nutrientes totales de la ración, estabilización de los parámetros del ecosistema ruminal, y como consecuencia, elevación de los parámetros productivos **(Plaza *et al.* 2009 y Gutiérrez, 2010).**

En Cuba, el ovino, en los último cinco años mantiene un ritmo de crecimiento anual del 5% **(CENCOP 2010)**, y con bajos costos económico relativos de crianza y alimentación, con respecto a otras especies de rumiantes que participan en el balance nacional. Su alimentación básica lo constituye el pastoreo, con predominio del genero gramíneas, en su generalidad de baja calidad, elemento que limita la capacidad de producción de los animales **(Fonseca, 2003 y Hernández, 2013).** Por ello, la búsqueda de alternativas y fuentes de alimentación que contribuyan con el mayor aporte de nutrientes, justificaría mucha de estas explotaciones. Una solución pudiera ser la utilización de la dietas integrales con la inclusión en la mezcla caña de azúcar en sustitución del king grass, y el uso de la gallinaza como complemento proteico-mineral en condiciones de estabulación.

Materiales y Métodos

Localización

El trabajo se desarrollo en la Granja Magayal perteneciente a la Empresa para la protección de Flora y la Fauna, provincia Holguín. El periodo de trabajo comprendió de Mayo- Julio 2012.

Procedimiento experimental

Mediante un diseño completamente al azar (DCA), se utilizaron un total de 48 corderos los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en 4 grupos, quedando 12 corderos de la raza Pelibuey por tratamiento, con cuatro meses de edad (destete) , peso vivo promedio de 18,96 ± 2,14 kg PV (9,06 ± 0,78 kg PV 0,75). El sistema de engorde se desarrollo en confinamiento, sobre tarima, animales alojados en corrales (2,50 m^2) de forma individual. Los tratamientos consistieron en cuatro niveles creciente de sustitución ($T1_{20}$, $T2_{40}$, $T3_{60}$, $T4_{80}$%) en la mezcla integral de caña de azúcar (*Sacharum oficinarum, cv C-86-503*), y su relación con king grass (*Pennisetum purpureum, clon CT-169*), de 210 y 67 días de edad respectivamente (tabla 1). Al momento del suministro de la mezcla integral, y en la totalidad de los tratamientos, se ofertó gallinaza, a razón de 5 g/kg PV más sales minerales y agua a libre voluntad.

Tabla 1. Composición de la materia prima utilizadas en la elaboración de la dieta Integral

Alimentos	% MS	%PB	%FDN	EM (Mcal)
king grass	25,90	5,70	74,40	1,85
Caña de Azúcar	35.00	3,40	80,46	1,92
Gallinaza	80.23	21.17	33.01	1.10

Tanto los forrajes como de la gallinaza se integraron íntegramente en la cantidades según proporción en la mezcla. A manera de garantizar un nivel de rechazo, se ofertó un 15% por encima de los requerimientos. La frecuencia de distribución en partes iguales fue 2 veces al día (8.30 am-17:30 pm), con remolición del material ofertado en comedero unas 3 ocasiones durante el día. La duración total del experimento fue de 60 días, con cuatro periodos de 15 días (10 y 5 días adaptación a los corrales, dieta experimental y medición respectivamente.)

La totalidad de los análisis se realizaron en los laboratorios de servicios del Instituto de Ciencia Animal (LASEICA).

Análisis estadístico

A los resultados se le realizó análisis de varianza (ANOVA) y en caso necesario se aplicó prueba de **Duncan (1955)** para determinar diferencia entre medias. Mientras que para los estudios de conducta para probar interacción entre tratamiento y actividad, se realizó un análisis a través de tablas de contingencia, La totalidad de los datos fueron evaluados mediante el paquete estadístico INFOSTAT **Balzarini *et al.* (2001),** y para la conducta el paquete estadístico ComparPro *v-1*, **Font *et al.* (2007)**

Resultados y discusión

En el presente estudio se observa que el consumo de materia seca (CMS) a la vez que difiere *($P<0.001$),* son los niveles de 20 y 40 % se sustitución de caña de azúcar: king grass los que alcanzan valores más

altos. (tabla 2). Las diferencia encontradas pudieron estar determinadas porque los ovinos al igual que las cabras, en contraste con los bovinos desarrollan la habilidad de selección, tomando siempre del alimento las partes más tiernas y con mayor contenido de proteína, seguido el material fibroso y muerto (**Vargas, 1993)**, como pude ver ocurrido en este experimento con el incremento de los niveles de caña de azúcar en la mezcla, en consecuencia con la naturaleza de la planta, como factores inherentes a los forrajes, así como a la disminución de la dilución de la gallinaza en la ración como otro ingrediente y que pudieron ver afectado la palatabilidad **(Méndez, 2004),** a pesar de mantener la disponibilidad de alimento en comedero.

Tabla 2. Valores medios para el consumo de materia (CMS), consumo de fibra en detergente neutro (CFDN), nutrientes (EM), y gallinaza.

Indicador	Proporción caña de azúcar : king grass:				
	20:80	40:60	60:40	80:20	±EE Sign.
CMS, kg día	0.690^{b}	0.670^{b}	0.600^{a}	0.590^{a}	0.01***
CMS, g kg PV^{075}	75.42^{a}	70.25^{b}	63.52^{c}	61.55^{d}	1.48***
Índice consumo MS, % PV	3.62^{c}	3.32^{b}	3.00^{a}	2.90^{a}	0.06***
CFDN, % PV	2.63^{c}	2.42^{b}	2.23^{a}	2.20^{a}	0.05***
CEM ,Mcal	1.24^{b}	1.19^{b}	1.07^{a}	1.05^{a}	0.02***
CMS caña, kg día	0.180^{a}	0.240^{b}	0.310^{c}	0.400^{d}	0.01***
CEM caña , Mcal	0.34^{a}	0.45^{b}	0.60^{c}	0.77^{d}	0.02***
Índice consumo MS caña %PV	0.93^{a}	1.17^{b}	1.56^{c}	1.99^{d}	0.05**
CMS caña , gPV^{075}	19.46^{a}	24.78^{b}	33.00^{c}	42.23^{d}	1.11***
Cons. gallinaza , g día	95.86^{a}	100.61^{ab}	99.79^{b}	101.08^{b}	1.55*
NT, g	7.64^{d}	7.27c	6.37^{b}	5.93^{a}	0.11***

**P<0,05, **P<0.01, ***P<0.001, diferencias significativa para Duncan P<0.05 , ±EE error estándar*

Sin embargo, a pesar de diferir (*P<0.001*), con excepción del nivel de 80% de inclusión de caña de azúcar en la mezcla, en su generalidad tanto el consumo total de MS como de FDN los valores alcanzados resultan semejantes y en otro de los casos superiores a lo reportado por **Combellas *et al.* (1999)** de 3.3 kg MS y 1.16 % PV respectivamente. Pero superiores a los logrados por **Borroto *et al.* (1991)** de 2.45% en ovinos Pelibuey alimentados con forraje de la hierba que crece en las plantaciones de cítricos, residuos de la poda de naranja Valencia y suplementados con 100 g de harina de girasol y miel final. Así como, los alcanzados por **Hernández (2013)**, de 2,24% PV, con coderos de la propia raza Pelibuey, en etapa de crecimiento-engorde, en sistema silvopastoril, con niveles de FDN de 72.13%. De forma general el consumo voluntario se puede considerar alto si se compara con el que realizan los ovinos en el trópico y animales alimentados con alimentos tradicionales (pastos y forrajes, residuos de baja calidad).

Consumo de materia seca (MS), donde al parecer las diferencia estadísticas encontradas (*P<0.001)* en el consumo de nitrógeno no limito aparentemente la capacidad del retículo rumen y hasta la tasa de pasaje, así como los factores metabólicos que lo regulan, según muestra los resultados de la regresión (CMS= 0,0968613 + 0,0793429*NT, R^2=85.90, ±EE=0.02, *P<0,001*); mas cuando se trate de una dieta donde participan forrajes toscos **(Mejia-Haro, 2002)**, como los empleados en este estudio

Los resultados de este trabajo también atribuyen que el consumo de fibra parece determinar en el consumos MS de la totalidad de los tratamientos (Y = -0.0142703 + 1.3863 CFDN; R^2=96.99, ±EE=0.01, *P<0,05*), en particular el aumento logrados en los niveles de 20 % (Y = 0.0282398 + 1.32391CFDN, R^2=99.93, ±EE=0.01, *P<0,05*), y 40% (CMS TOTAL = 0.0488671 + 1.26903CFDN; ±EE=0.01,*P<0,05*) de

sustitución de la caña de azúcar: king grass respectivamente, como tratamiento de mayor consumo, efecto similar fue enunciado por **Ruiz y Ayala (1987)**. Determinada proporción de FDN consumida en la dieta, podría garantizar una fermentación adecuada que proporcione un aporte significativo de proteína u otros nutrientes de origen microbiano **(Mertens, 1994)**

Del mismo modo los valores de consumos de materia seca expresado en gramos por unidad de tamaño metabólico, resultan semejantes a los reportado por **Ruiz *et al.* (2005)**, de 71 g MS kg PV^{075}, como valor máximo potencial de consumo en un forraje del área tropical para ovinos adultos, pero con menor consumo de MS de caña de azúcar, según lo enunciado por **Fundora *et al.* (1993)** y **Stuart y Fundora (1994)**, con valores de 58, 60 y 71.6 g kg PV^{075}, respectivamente. Consumos que a juzgar por estos autores los alcanzados en este estudio son comparados con pastos tropicales de madurez moderada. Este nivel de respuesta también se pude comparar con los trabajos en carneros logrados por **Geerken *et al.* (1994)** en un sistema de alimentación que incluyó el suministro de forraje fresco pasto estrella (0.7% PV) y un nivel de suplementación con sacharina en la mezcla (10g kg PV), y donde el consumo total de materia seca y sacharina fue de 72 y 46.3 g kg PV^{075} respectivamente.

También se aprecia una disminución lineal del consumo MS con la sustitución del nivel de caña de azúcar: king grass en la mezcla (CMS TOTAL = 0.734875 - 0.00196667X; r^2= -0.65, R^2=42.67, ±EE=0.05, *P<0,05*). Así como un incremento de la capacidad de ingestión como consecuencia del mayor desarrollo del tracto digestivo, según muestran los resultados de la regresión alta y positiva que se establece entre la capacidad de ingestión y peso vivo (Y= 0,37063 + 0,0148768 PV; r =0.94, R^2=88.84, ± EE=0.06, *P<0,001*)

Consumos de materia seca de caña de azúcar que no parecen estar influenciado por las diferencias (*P<0,05*) en la ingestión de gallinaza, como consecuencia de la variación acumulada del peso vivo por tratamiento, valores medio que fluctuaron entre 88.73-114.05 g $anin.^{-1}$, y donde la respuesta de la regresión muestran una baja variabilidad (Y =0,110182 + 0,0060954Gallinaza; R^2=32.47, ±EE=0.02. *P<0,05*), Aunque este efecto de la fuente de NNP empleada no necesariamente tenga que estar representado en la misma magnitud en el comportamiento del animal, puesto que, este nitrógeno también pude estimular el aumento de la digestibilidad de la fibra y tener un efecto directo en la producción y síntesis de proteína ruminal, como pude ver ocurrido en este experimento y que se corrobora con lo planteado por **Martín y Brito (1996)** y lo planteado por **Muñoz *et al.* (1986)**, al utilizar un suplemento nitrógeno activador (SNA) donde enmarca que sus mayores resultados estuvieron determinados por el incremento de la actividad de la microflora ruminal y con ello favorecer la digestión de la fibra.

No obstante el presente estudio el comportamiento cuadrático mostrado para el índice de consumo de la caña azúcar (Y= 0,710967 + 0,00794223x + 0,000101341*x^2, R^2=63.47; ±EE=14.05; *P<0,05*), confirma que el valor máximo de consumo ocurre cuando se sustituye el **39 %** de caña de azúcar por king grass correspondiente a un índice de consumo **1.17 % PV** . Índice que resulta inferior alrededor del 2% de lo reportado por **Muños, *et al.* (1988)** y **Molina y Elías (1990)**, y más reciente por **Rodríguez (2009)** de 1.26% en trabajos realizado durante el engorde de machos bovinos, con una dieta basal de caña de azúcar (73%+10% miel urea-2%+17% concentrado comercial); aunque también superiores a los plateados por el propio autor, cuando sustituyo en la dieta basal de caña de azúcar, niveles del forraje king grass (50 y 61.5% *CT-115*+ 10% miel urea-2%+17% concentrado comercial), de 0.96 y1.01 % PV y dentro del rango de lo enunciado por **Alonso y Senra (1992)** en vacas lecheras de 1.1 -2,2 kg MS/100 kg PV**.**

PARAMETROS PRODUCTIVOS

Como se aprecia en la tabla 3, los primeros 15 días (120-135 días dad) tanto el peso vivo como la ganancia diaria de peso no difirió, a diferencia de lo ocurrido los 45 días restantes (*P<0,05*), y total periodo (*P<0,05*). Efecto que en este primer periodo pudo estar determinado por la falta de adaptación de la

microbiota ruminal para degradar el ácido úrico presente en ésta **(Morales y Egaña, 1997**; **Álvarez y Combellas, 2003)**, precedido de una reducción del consumo de materia seca.

Tabla. 3. Valores medios para el peso inicial (PI), final (PF), ganancia diaria de peso (GMD), conversión alimentaria (CA) y eficiencia en la producción de carne (EPC), en función del nivel de sustitución de caña azúcar: king grass:

	Proporción caña de azúcar : king grass				
	20:80	40:60	60:40	80:20	±EE Sing.
Peso vivo, kg					
- Inicial	15.92	16.44	16.53	16.54	0.29
- Final	22.43^{a}	23.80^{b}	23.38^{ab}	23.89^{b}	0.36*
- Variación peso, kg	6.51^{a}	7.36^{b}	6.85^{ab}	7.35^{b}	0.27*
120 días de edad	16.00	16.44	16.76	16.54	0.29
135 días de edad	17.59	18.09	18.35	18.13	0.26
150 días de edad	19.08^{a}	20.28^{b}	19.98^{b}	20.01^{b}	0.25*
180 días de edad	22.56^{a}	23.55^{b}	23.38^{b}	23.64^{b}	0.27*
	Ganancia, g día^{-1}				
120-150 días de edad	52.89	54.92	51,81	52,94	2.96
151-180 días de edad	167.96^{a}	188.22^{b}	173.48^{ab}	190.22^{b}	5.78*
Total Periodo	108.44^{a}	122.60^{b}	114.14^{ab}	122.57^{b}	4.52*
CA, Cons. , kg MS / kg GMD	6.46^{b}	5.53^{a}	5.36^{a}	4.83^{a}	0.23***
CA , Cosn EM/ kg GMD	11.54^{b}	9.86^{a}	9.58^{a}	8.64^{a}	0.42***
EPC, kg PVGMD/ kg MS	175.95^{a}	164.71^{ab}	149.50^{b}	150.58^{b}	5.38**

**P<0.05 , **P<0.01, **P<0.001, diferencia significativa para Duncan P<0.05, ±EE error estándar*

Pasado este primer periodo, al parecer se incrementa el consumo de materia seca y energía, aporte vital, para lograr una mejor utilización de la proteína consumida, como se aprecia dentro de los mejores resultados, el propio tratamiento 40% de inclusión de la caña de azúcar (g PB kg PV = 0.894802 + 1.15053CTEM, R^2=62.47 ±EE= 0.09, *P<0.001*) y el aporte total de nitrógeno (NT g kg PV^{075} = 1.81144 + 2.50422CTEM, R^2=82.23, ±EE=0.10, *P<0.001*), respuesta similar referido a la relación con la utilización de estos nutrientes, fue enunciada por **Hungate (1966)**.

Los valores alcanzados de 122 g día^{-1} de ganancia media diaria son similares a los reportados por **Perera y Albuernez (1993)**, de 120 g día $^{-1}$, con la propia raza Pelibuey, animales alimentados con miel final 3% de urea *ad limitum*, forraje verde restringido (7% PV) y 150g día $^{-1}$ de harina de girasol. Pero superiores a los alcanzado por **Pedraza *et al.* (1995)** de 96 g día $^{-1}$ en cordero estabulados con 14.2 kg de peso vivo y 120 días de edad al inicio de la experiencia, alimentados con un suplemento elaborado a partir de derivados de la caña de azúcar, con énfasis en la mezcla de un 40 y 55% de sacharina seca (tallo de caña de azúcar finamente troceado y autofermentado en unión de urea y sal mineral, según **Elías y Lezcano (1990**). El propio **Pedraza (2000)** reporta valores 103 g día^{-1} en corderos confinados con dietas a base de bagazo de caña fermentado, salvado de arroz y pollinaza.

De igual modo superiores a los 36 g día^{-1} reportados por **Landaeta *et al.* (2004),** con bagazo de caña, salvado de arroz y pollinaza; así como lo alcanzado por **Castillo *et al.* (2004)** de 60, y 82 g día^{-1}, con dietas de caña entera sola y de caña más subproductos de cervecería.

Los resultados de eficiencia alimenticia expresadas en el término de la conversión (kg MS / kg GMD), evidencian que los valores medios están entre 4,83-6,46:1, siendo los niveles de 40, 60, y 80 % de inclusión caña de azúcar en la mezcla, más bajos ($P<0,05$) que el testigo. Valores de eficiencia mejores que los logrados por **Pedraza *et al.* (1995)** de 10.9 -13.6 kg y los obtenidos por **Marshall (1989)** exclusivamente con corderos Pelibuey, alimentados con heno *ad libitum* y 300 – 750 g de un suplemento integrado por gallinaza, miel final, harina de soya y correctores minerales. Así como, lo reportado por **Aguirre *et al.* (2010)** de 13,54, 11,57 y 12,68 kg en sistema de alimentación con caña de azúcar y productos trasformados de la propia industria.

Pero a la vez similares a los logrados por **Cuaron y Shimada (1981)** de 5,8, 6,5 y 6,4 kg alcanzado en tratamientos con caña integral sin quemar, molida y ensilada; de caña integral sin quemar, molida, con aditivo y fermentada; y de caña integral quemada, molida, con aditivo y fermentada, respectivamente; al igual que los 5,41 kg con caña entera molida y 22% de pulido arroz de **Pérez *et al.* (2006)**. Debe destacarse lo enunciado por **Ribeiro (1996),** de que estos valores son propios de corderos alimentados con raciones de baja calidad, de mejorar pudieran llegar hasta 3:1.

CONCLUSIONES

- El aporte optimo de caña de azúcar en dietas integrales acompañada por el forraje king grass, en la alimentación corderos durante la etapa de crecimiento –engorde, según respuesta del consumo voluntario, debe ser el **39 %**, valor que se corresponde con **1.17 %** por cada 100 kg PV
- La proporción del **60%** del forraje king grass en la mezcla integral con caña de azúcar, ofrece un efecto estimulador en incremento del consumo total de materia seca
- La utilización de mezclas integrales de caña de azúcar: king grass, combinada con gallinaza a razón de 5 g kg PV permite alcanzar ganancias medias diarias de **122 g** anim. días $^{-1}$

Bibliografia

- **Aguirre, J., Magaña R., Martínez, S., Gómez A., Ramírez J., Barajas R., Plascencia, A., Barcena, R., García. D. (2010).** Caracterización nutricional y uso de la caña de azúcar y residuos transformados en dietas para ovinos. Rev. Zootecnia Tropical. 28:4
- **Álvarez, R., Combellas, J. (2003)**. Efecto del número de lotes de pollos sobre la composición química de la cama de pollos. Zoot. Trop., 21(1):1-15.
- **Balzarini, G.M., Casanoves, F., Di Rienzo, J.A., González, L.A., Robledo, C.W. (2001)**. InfoStad. Software estadístico. Manual del usario. Versión 1. Córdoba. Argentina.
- **Borroto, A., Molina, A., Mesa, M., Baéz, I., Pérez, C. (1991)**. Sistema de ceba ovina con subproductos agrícolas de cítricos. Revista de Producción Animal 6:1 pp11-17.
- **Castillo, E. L., De Oliveira, J. A., Oldakowski, C. F. (2004)**. Desempeño productivo de borregos raza Santa Ines suplementados con diferentes niveles de levadura viva (Procreatin 7 ®). Saf Agri.
- **Fonseca, N. (2003)**. Contribución al estudio de la alimentación del ovino Pelibuey en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 153
- **Fundora, O., Gutiérrez, O., Stuart, J.R. (1993).** Tratamiento de lo residuos de cosecha de la caña de azúcar con amoniaco. 2. Balance de nitrógeno y minerales en carneros. RCCA 27:3 p267.

- **Geerken, C.M., Delgado D., Cairo, J. (1994)**. Efecto del tamaño de partícula de la Sacharina suministrada a carneros como forraje en el consumo y comportamiento alimentario. RCCA 28:3 p301
- **Hernández, M. (2013).** Comportamiento productivo, calidad de la canal y la carne de corderos Pelibuey en silvopastoreo con leucaena. Tesis en opción al título académico de master en producción animal para la zona tropical. ICA. La Habana. Cuba.
- **Landaeta, R. M., Novel, B., R. Sánchez, C. J., Rojas, J., Jiménez, L. (2004).** Evaluación de cama de pollo mezclada con salvado de arroz y bagazo de caña de azúcar para el engorde de corderos en confinamiento. Livestock Research for Rural Development, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Tarabana, Estado de Lara, Venezuela. 119-139 pp.
- **Mejía-Haro, J. (2002).** Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo: Acta Universitaria. Universidad Guanajuato. México. 12: 5
- **Méndez, G, Ríos de Álvarez, L., Combellas, J., Colmenares, O., Álvarez, Z. R. (2004)** Efecto del nivel de gallinaza sobre el consumo de dietas completas para ovinos estabulados en etapa de crecimiento. Rev. Zootecnia Tropical 22:1 pp1-133
- **Gutiérrez, D., Domínguez, P. , Viera, E., Pérez, B. , Almeida R., Plaza, J., Martínez, Y., Sarduy, L**. (**2010)**. Efecto de la mezcla integral con botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en los parámetros productivos y consumo de cabritos lactantes. I Simposio Internacional de Ovejeros y Cabreros de América Latina (FOCAL). III Congreso Producción Animal Tropical. Palacio de las convenciones. La Habana. Cuba
- **Plaza, J., Martínez, Y., Ybalmea, R. (2009)**. Manejo del alimento fibroso en la alimentación de terneras de reposición. Rev. Cubana Cien. Agric. Tomo 43:19.
- **Mertens, D.R. (1994).** Regulation of forage intake. In: FAHEY ;Jr.G.C (ed) Forage quality, evaluation and utilitation . Madison. American Society of Agronomy . pp 450-4936
- **Pedraza, O. R. M. (2000).** Bagazo rico en proteína (Bagarip) alimento animal obtenido por fermentación en estado sólido. Rev. Prod. Anim. Vol. 12: 41-51.
- **Pérez, H. J. A., Salinas, C. R., García, F. (2006)**. Efecto de raciones con distintos niveles de pulido de arroz sobre el comportamiento productivo de ovinos en engorda. In: Memorias de XXXIV Reunión Nacional de la Asociación Mexicana de Producción Animal, Mazatlán Sinaloa, pp 80- 83
- **Rodríguez, D. (2009).** Caña de azúcar en dieta completa o suplementadas con concentrados en raciones de ceba. Comportamiento biológico y evaluación económica. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Veterinaria. ICA. La Habana. Cuba p 27-46
- **Ruiz, R., Salgado, G., Beltrán, M. (2005).** Relación entre la temperatura de la masa fermentativa, temperatura ambiental y el contenido de proteína cruda durante la elaboración de Saccharina rústica. I Congreso Internacional de Producción Animal. La Habana, pp 272-279

INGENIERIA APLICADA A LA PRODUCCION DE ALIMENTO FORMULADO VIA BAGAZO HIDROLIZADO. UN CASO DE ESTUDIO.

APPLIED ENGINEERING TO ANIMAL FOOD PRODUCTION VIA BAGASSE HYDROLYSATE. A CASE OF STUDY.

Raúl Costales Sotelo [(1)], Tirso Saenz Coopat [(2)] y Agustín Cabello Balbín [(1)]

[(1)] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA
raul.costales@icidca.edu.cu, agustin.cabello@icidca.edu.cu

[(2)] Banco de Inversiones (BdI), tirso@bdi.cu

Resumen.

Se presentan aspectos de la ingeniería para producción de alimentos formulados vía bagazo hidrolizado. En esta alternativa el componente fibroso, con digestibilidad incrementada, constituye el 77% de la ración, que conjuntamente con el 15,9% de miel final representan prácticamente el 93% del total del alimento potencialmente obtenible de una industria azucarera tradicional. Los restantes ingredientes tales como urea y complejos de sales y minerales son comunes a la alimentación animal e intervienen en aspectos de salud y mejor aprovechamiento de los alimentos. La agricultura local puede favorecer de forma importante este programa pero no se tiene en cuenta en el presente trabajo.

Esta alternativa viable para las condiciones de la economía cubana se magnifica bajo la sustentación de realizarse durante períodos de explotación de las instalaciones productivas que exceden a la zafra azucarera, lo que propicia el confinamiento de los animales por períodos que pueden alcanzar 180 días o más, durante los cuales puede evitarse no solo la mortalidad en el rebaño durante la seca sino propiciarse la ganancia de peso a razón de 500 g/día mediante el insumo de 12 kg del formulado por día.

Se cuenta con una primera planta representando el inicio de un programa inversionista que ampara 4 nuevas instalaciones diseminadas en el territorio nacional, con cuyas producciones se puede reducir de forma importante el déficit de alimentos demandados por el ganado bovino como principal elemento de atención, para la posterior obtención mediante el sistema de doble propósito, de leche y carne para la población.

Palabras claves: alimentos formulados, bagazo hidrolizado, inversiones y estabulados.

Abstract.

Some aspects of engineering for food production via bagasse hydrolyzed formulated are showed as an alternative in which the fibrous component with increased digestibility constitutes 77% of the ration together with molasses at 15.9%, for almost 93% the total foodstuff potentially possible to be provide for a traditional sugar industry, the rest integrated for common ingredients such as urea and salts and mineral complexes involved in animal health and better utilization of food offered. Local agriculture can contribute significantly this program but not taken into account in this exercise.

This alternative, possible and feasible under Cuban economy conditions is magnified by the argument of operating periods of production facilities can exceed normal sugar mill campaign as well as animals confinement periods of 180 days or longer, avoiding not only animals mortality but gaining weight at a rate of 500 g/day in a dry season by the input of 12 kg of formulated product per day.

It as a first step for a beginning program that covers four more investor replicates, scattered throughout the national territory will significantly reduce food deficits sued by cattle as the main element of care, obtained by dual purpose milk and meat production in the country.

Key words: formulated feeds, hydrolyzed bagasse, investments, and feedlots.

Introducción.

El incremento de precios de los ingredientes y los propios productos terminados destinados a la alimentación animal ha obligado a los productores pecuarios a tomar decisiones para hacer las producciones más rentables, para el caso de Cuba, este problema resulta imperioso por cuanto además de poseer el mismo escenario mundial de costos, en el país no se realizan cultivos intensivos de maíz y soya, dos de los productos que más comúnmente son empleados en esta dirección. Por lo que, crear una base alimentaria sustentada en cualquiera de los productos citados, implicaría depender de importaciones revestidas además por riesgos y grandes incertidumbres para el sistema de alimentación. Este panorama adicionalmente esta matizado por la escases de pastos y forrajes entre noviembre y mayo por ser el período de seca, pero coincidente con la zafra azucarera.

Lo más razonable y quizás en oportunidades más saludable también para el desarrollo de la masa ganadera, resultaría contar con una base alimentaria integrada territorialmente que a nivel nacional garantice para todo el año que cumplimente los requisitos bromatológicos de un alimento de calidad; en tal sentido, el producto aquí presentado, constituye una de las mejores alternativas para el empleo del bagazo, que aprovechado adecuadamente puede contribuir al sostén de un número importante de animales y al logro de incrementos en peso de los mismos.

A partir de la importación de un equipo al país, se decidió establecer un programa de desarrollo tecnológico que considera en lo posible a partir de este, diseñar y construir nacionalmente las unidades de hidrólisis así como la mayor cantidad de componentes para este sistema productivo, aprovechando la cultura y conocimientos atesorados por técnicos y especialistas de la industria azucarera. De esta forma se alcanzarían mejores indicadores de rentabilidad para este programa de producción de alimentación animal en respuesta a los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución.

Es de conocimiento general que el bagazo de la caña de azúcar por su composición química su digestibilidad está cercana al 20%. En tal sentido, fueron estudiados y aplicadas procesos de predigestión mediante el empleo de álcalis como pueden ser el hidróxido de sodio y de cal con vapor según Cabello et al (2000) y Díaz et al (2000) respectivamente, lográndose incrementar la digestibilidad en el entorno del 55 al 60%. En detrimento de estas tecnologías se aduce el impacto ambiental ocasionado por las excretas, ricas en sales, de los animales, que incide negativamente en los suelos, uniéndose a ello el incremento en precios de los productos químicos, que gravó estas tecnologías haciéndolas cada vez menos atractivas. Otro de los elementos negativos se relaciona con la selección de materiales de los equipos, los tiempos de residencia y cuidados a tener en cuanto a la producción y manejo de los productos.

El segundo proceso reconocido mundialmente para incrementar la digestibilidad se fundamenta en procesos físicos, mediante el tratamiento con vapor a alta presión incrementando la digestibilidad al 60% o más. De acuerdo con lo planteado por Villar et al (2000), otros aspectos significativos del producto son su energía

metabolizable 10 – 11 Mj/kg bs. La digestibilidad del bagazo hidrolizado según Lacorte (1986) equivale a la de un pasto verde natural de buena calidad, y asevera además sobre la posibilidad de almacenarlo a granel durante un periodo de 6 meses o más sin degradación. Por lo tanto la capacidad de producción de alimentos en zafra depende mayoritariamente de la gestión productiva y aprovechamiento del período de trabajo en la instalación.

El trabajo muestra un resumen de los procedimientos aplicados a la concepción de ingeniería para una instalación de esta índole, analizada dentro de un contexto local, aprovechando el sinergismo con la industria azucarera en cuanto a aporte de ingredientes (bagazo y miel) y el soporte energético de la misma (vapor de alta presión), para lograr un producto de calidad sostenible en el tiempo y factible de ser implementada en casi todos los centrales azucareros del país.

Materiales y métodos.

Como metodología seguiremos un procedimiento que permite alcanzar parámetros de ingeniería para la realización del proyecto conceptivo de la planta que evaluaremos posteriormente desde el punto de vista económico para determinar las formas bajo las cuales, esta producción además de necesaria constituya un negocio próspero a nivel de empresa y para el país. Para ello se tuvieron en cuenta los siguientes elementos:

1. *Permitir la producción continua del sistema de hidrolizado.*

Con independencia a los planteamientos del fabricante en cuanto a la duración del ciclo de trabajo, este debe acomodarse a las condiciones de suministro de bagazo y facilidades de operación imperantes en la localidad. En el caso que tratamos; la UEB Jesús Rabí, este ciclo operacional se conformó valorando y midiendo la duración promedio de cada actividad como se muestra la tabla I, según Costales (2011).

Tabla I. Duración de un ciclo de trabajo.

Descriptor de operación	**Tiempo (min)**
Apertura de la tapa y colocación del embudo en posición de trabajo	1
Carga del equipo (varía en función del trabajo en el central)	5,5
Desplazamiento del embudo y cierre de la tapa	1
Presurización	2
Tratamiento de cocción	7,5
Descarga	0,4
Otros tiempos (pérdidas no programadas)	0,6
Total	**18**

Se asumen además otras condicionales posibles tales como;

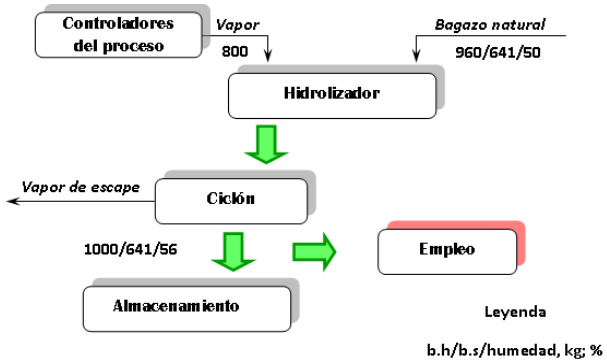
- Incluir determinada reserva a favor del productor de alimento, promediando ciclos de 20 minutos, lo cual implica realizar hasta 3 hidrolisis por hora (como consecuencia de las fluctuaciones en el flujo de bagazo, manipulación de compuertas, otras).

- Explotar la planta de hidrolisis dos turnos de trabajo permitiría realizar aproximadamente 45 ciclos de hidrólisis por día posibilitando lograr reservas de fibra tratada para extender la producción de

formulado o flexibilizar la producción en cuanto a paradas del central, reparaciones y otras causales de paradas no programadas.

El balance de materiales del proceso resultó del estudio de una serie de corridas experimentales en las cuales se controló el peso de la masa procesada en cada ciclo y la humedad ganada posteriormente a la realización de cada una de las hidrolisis. Del central obtuvimos los valores promedios iniciales para el proceso. La certeza de tomar los parámetros logrados como un patrón que caracterice la producción de la planta, depende de garantías en cuanto al llenado del equipo que dependen solamente del operador de la planta, por lo tanto, la productividad de un ciclo se toma como una magnitud orientativa.

Figura No 1. Balance de materiales de la producción.



Del balance, aprovechando la capacidad al 100% se calcula una producción diaria ascendente a 28.85 t bs.

2. Determinación de la capacidad de la planta.

Para este cálculo se emplearon los siguientes indicadores (de la producción y el empleo del producto).

- Duración de la zafra: 100 días; por lo tanto la producción anual será de 2740 t/zafra al 95% de eficiencia industrial.
- Duración del ciclo de confinamiento del ganado empleando la ración formulada en la planta: 180 días.
- Se define el ciclo de alimentación como el suministro de 12 kg bs/animal día, de los cuales el 77% se corresponde con bagazo hidrolizado. Por lo tanto, la cantidad de reses posibles a incluir en el programa para una planta típica de este tipo ascienden a unas 1650 animales a suplementar en cada ciclo anual.

La lógica indica que de ser el rebaño mayor o menor a la cifra indicada (analizada como demanda compartida entre AZCUBA Y MINAGRI), el ciclo de atención será más corto o potencialmente mayor según el caso, la producción de la planta a todos los efectos se toma como una constante. En el cálculo consideramos un rebaño hipotético por cuanto no pueden tenerse en cuenta todos los elementos que ello implica para el ejercicio que constituye el diseño de la planta.

3. *Determinación del régimen operacional de la planta.*

Para permitir una producción como se expresó anteriormente, no puede existir obstáculo alguno a la descarga del hidrolizado; es decir, no puede estar supeditada a la existencia de un medio de transporte que reúna la producción durante un lapso de tiempo dado. De aquí que las opciones de trabajo posibles a seleccionar serían:

a. Descargar a un silo tolva de fondo móvil con capacidad de recepción mínima de 4 t bs que brindaría cobertura para una hora (como tiempo máximo) para movilizar un transporte hasta la planta.

b. Descargar directamente a una plataforma cementada en esta magnitud o cualquier otra, implicaría contar con un cargador frontal para la recolección del hidrolizado y deposito del mismo en los medios de transporte. (Esta opción conduce a adquirir dos cargadores para esta tecnología; el segundo estaría fijo en el almacén).

A los efectos prácticos, la solución técnica más recomendable resulta la primera, por cuanto además de ser la más económica, el material no tendrá la oportunidad de contaminarse con materias extrañas o provocar algún daño en el resto del proceso o en el centro de insumo del cliente final. De esta forma, la planta se va estructurando según se muestra en las figuras Nos 2 y 3, que representan las propuestas de configuración de equipos e instalaciones por niveles de trabajo para un hidrolizador tipo de 5 m^3 de capacidad.

Figura No 2. Esquema de instalación del hidrolizador.

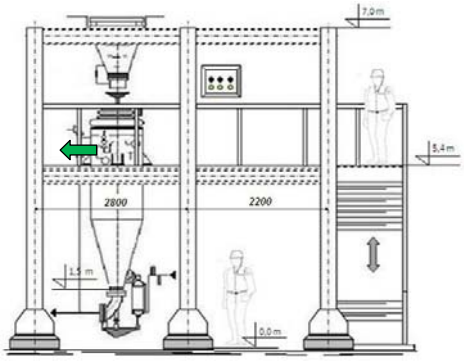
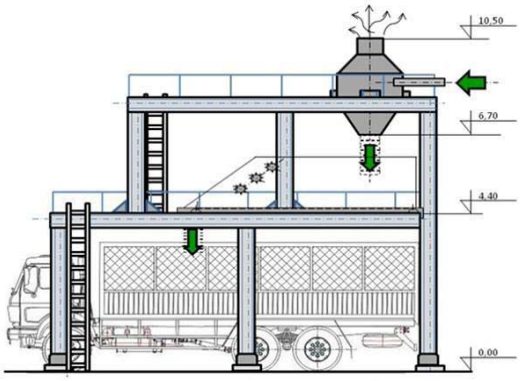


Figura No 3. Esquema de recepción y entrega de Bagazo Hidrolizado.



Posteriormente a la hidrólisis, se define que el bagazo será transportado hasta un almacén receptor, en el cual permanecerá por espacio de 48 h aproximadamente con la finalidad de estabilizarse acorde a las condiciones ambientales locales de humedad y temperatura, para que de esta forma pueda incluirse posteriormente en las formulaciones esperadas.

4. *Determinación de la capacidad de almacenamiento requerida para la producción extendida.*

Del diagrama representado en la figura No 1 se comprende la posibilidad de emplear el producto de dos formas; directamente después de la hidrolisis para el consumidor o desde el almacén una vez concluido el proceso de estabilización. Resulta indispensable a todos los efectos técnicos desechar la primera variante y realizar con la segunda extracciones periódicas acorde a las necesidades de formulación, lo cual es perfectamente posible aún culminada la zafra azucarera, empleándose así el material tanto tiempo como haya

sido posible en zafra producir y almacenar la fibra tratada. De aquí la importancia atribuida a la explotación eficiente del hidrolizador y aprovechar la zafra desde la estabilización de la molida con esta finalidad. Las cantidades respectivas para el período mínimo de 180 días y cantidad de animales establecidos son como se muestran a continuación:

a. Bagazo Hidrolizado para empleo diario en la formulación de producto terminado: 1522 t/zafra (100 días).

b. Para el tiempo complementario (mínimo de 80 días): 1217 t/zafra. Esta cantidad de bagazo hidrolizado es la empleada para el cálculo del volumen del almacén que como unidad productiva debe garantizar la extensión de la oferta de alimento al rebaño. En el mismo se deberá contar además con un área para el almacenamiento de un inventario para 2 días o algo más de productos químicos como facilidad temporal para no depender de un almacén que puede pertenecer a una entidad diferente a la del productor del alimento.

El almacén se define, según Costales (2012) como una instalación elevada en relación al nivel normal de aguas a fin de preservar la carga ante contingencias climatológicas, que carece de paredes y está provisto de un techo con cubierta ligera. Estructuralmente se concibe como una nave de módulos de 12 x 12 metros y 5 intercolumnios separados a 12 metros cada uno, que brinda una longitud total de 60 m. La altura de apilado se estipula máxima a 3,5 m, con la finalidad de que la inversión de la pala frontal sea la menor posible. El piso debe ser resistente a cargas por rodadura provocadas por el tránsito de camiones y del propio equipo de carga.

5. *Concepción de la planta para el complemento formulado.*

La planta formuladora se concibe para preparar el complemento dietético del alimento que aquí consideramos aportando 230 kg de producto líquido para cada tonelada de alimento formulado que se entregue como producto terminado. Por lo tanto la capacidad productiva de la planta que se analiza será de 3558 t/año; en la cual participa el bagazo hidrolizado en cantidad de 2740 t y el producto liquido con 818 t, la cual se realiza durante los 180 días programados a razón de 5.4 t/día con una eficiencia del 85%. La misma trabajará solo un turno y contará con un tanque de almacenamiento reserva a fin de garantizar salida del producto en cualquier momento. Posteriormente a este compromiso, podría mantenerse en operaciones si así fuese necesario acorde con las posibilidades de adquisición de ingredientes afines a las tecnologías de manipulación y procesamiento que en la misma se aplican.

Otro almacén necesario en el proceso se destina para la reserva de miel final, la cual comúnmente es almacenada en el central bien por la existencia de producciones derivadas (alcohol y/o alimento animal) o como forma de contribuir al balance nacional de mieles. En el primer caso, generalmente se aplican medidas de completamiento de inventarios a partir de otros tributarios transportando el producto vía ferrocarril. Para el fin de nuestro interés, las cantidades necesarias resultan modestas en relación con la producción de alcohol, llegándose al acuerdo de tomar de sus reservas (y así coincide con el caso que tratamos), cantidades periódicas para el almacenamiento temporal en un tanque de 12 m^3 de capacidad ubicado en el perímetro de nuestra instalación.

Los ingredientes no azucareros dependerán de suministros de carácter centralizado en el país, pretendiendo del proveedor (balancista) lograr las cantidades necesarias mensualmente que se almacenarán en espacios de la UEB. De estos se realizará el transporte diario hacia el área de producción, de aquí la necesidad de contar

con reservas para unos 2 días (mínimo) en nuestra propia instalación. Participan en la formulación acorde al estudio de factibilidad realizado los ingredientes según aparecen en la tabla II.

Tabla II. Participación de los ingredientes en complemento formulado.

Ingrediente	Formulado	Formulación	1 día	Ciclo anual
	kg/t	%	t/día	t/año
Miel final	159.00	0.16	3.30	594.70
Urea	16	0.02	0.33	59.84
Fosfato dicálcico	6.30	0.01	0.13	23.56
Sulfato de amonio	3.00	0.003	0.06	11.22
Sal común	0.65	0.001	0.01	2.43
Agua	45.00	0.05	0.94	168.31
Total	**230**	**0.23**	**4.78**	**8.60**

A partir de los índices de consumo y las condiciones de operación de la planta para cada uno de sus ítems, resulta el diseño de la instalación según se muestra en la tabla III.

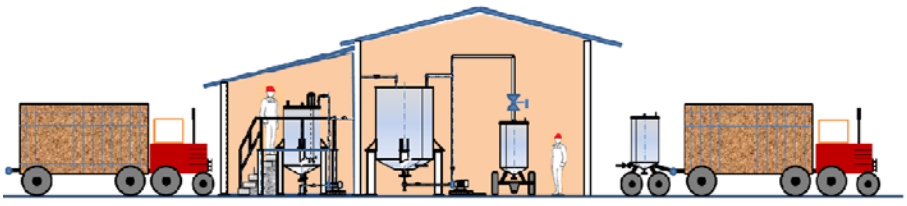
Tabla III. Capacidades de equipos en la planta de formulación.

Planta de Formulación	Capacidad	Unidad
Tanque de almacenamiento de miel final	12	m^3
Tanque de almacenamiento de formulado	5	m^3
Tanque disolutor de sales	5	m^3
Bomba de miel	4	m^3/h
Bomba de solución de sales	9	m^3/h
Bomba de formulado	10	m^3/h

Según experiencias prácticas de especialistas del ICIDCA y otros, resulta más aconsejable realizar la mezcla del formulado con el bagazo hidrolizado a nivel de canaleta. En tal sentido no carece de lógica la suposición por cuanto la transportación y el uso del producto final no son magnitudes que se controlen por el productor, dándose la posibilidad de preparar las cargas sin requerir su empleo en tiempo inmediato. Otras razones atribuibles pueden ser evitar las pérdidas por derrames, favorecer la conservación de los productos de forma independiente y reducir tanto la manipulación como operaciones dentro de la planta formuladora (lo cual reduce igualmente la inversión fija en equipos). En este caso se evita elevar el bagazo desde el suelo hasta un nivel superior que permita ubicar un transporte bajo la descarga, y dosificarlo adecuadamente para su mezcla con la cantidad correspondiente de formulado líquido, se aprecia con facilidad la simplicidad del proceso que se promueve.

Técnicamente la instalación podría representar en este caso, el empleo adecuado del equipamiento empleado para la producción de miel – urea – bagacillo, que en su conjunto respondería a una instalación como muestra la figura No 4.

Figura No 4. Representación esquemática de una planta de formulación.



Para la misma se toman algunas consideraciones:

- Para la formulación en la planta se encontrarán los componentes de instrumentación necesarios para garantizar la calidad de la misma y su reproducibilidad.
- Se entregarán cantidades acordes con el peso del transporte de bagazo hidrolizado, que se transportará conjuntamente con el sólido y de forma separada.
- Un medio de transporte seguro radica en el empleo de tanques de 200l, en los cuales se puede cargar la cantidad equivalente a una tonelada de bagazo hidrolizado.

6. *Determinación de la mano de obra necesaria para la operación de las instalaciones que componen esta planta.*

Se asume que:

- La instalación de hidrolisis y formulado trabajarán dos turnos y un turno por día respectivamente durante 100 y 180 días según el caso y emplearán al menos un mes para labores de mantenimiento.

- La transportación de los alimentos (hidrolizado y formulación líquida) se realizarán por parte del cliente. Por lo tanto el único movimiento interno consiste en el traslado del bagazo hidrolizado hasta el almacén, para lo cual se requiere un camión. Este además cumple funciones para el traslado de los ingredientes solidos desde el almacén hasta la planta.

- La manipulación del bagazo hidrolizado dentro del almacén y a su vez la carga de los camiones requiere de una pala frontal. Ingrediente voluminoso como este, resulta imposible de moverse de forma manual.

- La pesa de camiones del central será la encargada de controlar el peso de bagazo hidrolizado y en base a ello el despacho de la formulación en la cantidad reglamentada y facturar la venta.

Para cumplimentar todas estas exigencias se propone el personal como aparece en la tabla IV.

Tabla IV. Mano de obra necesaria para la producción.

Clasificador	Cantidad	Turnos	Total en turno
Operador y jefe de planta	1	2	2
Operador	1	2	2
Auxiliar	1	2	2
Almacén de hidrolizado y operador	2	2	4
Camionero	1	2	2
Total de la Instalación			**12**

7. *Control de calidad.*

El sistema de control de la calidad a emplear en instalaciones de este tipo no puede resultar muy complicado por cuanto depende de la instauración previa de una cultura y base material que en sentido general le son ajenas a las condiciones de los enclaves. No obstante existen algunos parámetros que pueden servir de indicativos para intuir si la producción está o no transcurriendo normalmente. Esta actividad puede ser asumida por el jefe de planta y controlada por algún nivel superior de la cadena de mando de la UEB.

Proceso:

- Tomar los partes del laboratorio en los cuales se reportan; humedad de salida y pol del bagazo.
- Reflejar en las cartas de producción la temperatura y presión del vapor que le es suministrado a la planta de hidrolisis.
- pH del bagazo hidrolizado (norma 3 – 4).

Producción:

- Humedad de salida del bagazo hidrolizado. (56 a 60%).
- Reportes de la pesa del central referente a los parciales de entrega desde la planta de hidrolisis hacia el almacén. Datos reales sobre la producción del día que no son posibles de adquirirse en otro momento del proceso.
- Reportes de la pesa del central referente a los parciales de entrega del almacén para el bagazo hidrolizado hacia la planta de formulación y de esta al cliente. En relación a la formulación el conocimiento del volumen entregado resulta suficiente y se realiza en base a bagazo entregado.

Otros controles de la producción tales como sustancias reductoras totales, ácidos orgánicos y furfural a realizarse a nivel de productor son relativamente complicadas, por lo tanto en la medida que los anteriores parámetros que caracterizan a esta producción acorde a lo establecido, la producción de bagazo hidrolizado deberá acercarse cada vez más a las características bromatológicas que aparecen en la tabla V. Un detalle significativo de esta tabla radica en la comparación de cada parámetro en relación al bagazo natural o integral según se le denomine y caracteriza al residuo de la caña molida industrialmente.

Tabla V. Análisis bromatológico del bagazo hidrolizado. (STAB/86).

Determinación (%)	**Bagazo natural**	**Bagazo Hidrolizado**
Materia seca	48.31	44.32
Proteína bruta	1.86	1.67
Fibra bruta	45.09	34.45
Extracto etéreo	2.26	4.86
Materia mineral	2.73	4.77
Extractos no nitrogenados	48.06	54.25
Fibra en medio ácido	62.33	62.65
Fibra en medio neutro	85.24	58.16
Celulosa	44.69	43.99
Hemicelulosa	22.91	-
Lignina en medio ácido	14.89	15.06
Ca	n.d	0.12
P	n.d	0.02
K	n.d	0.16
Digestibilidad “in vitro”	35.31	64.82

De la tabla un solo elemento a destacar, la digestibilidad in vitro incrementada en cerca del 55% respecto al bagazo en estado natural, da fe de la profundidad del proceso y la conveniencia de su inclusión en programas de alimento animal. Por otra parte la inclusión de las sales minerales y la miel como energética, complementa el producto acorde a las necesidades de la alimentación y las garantías de incrementos de peso como se ha expuesto anteriormente.

Resulta importante destacar que la producción requiere ser auditada por mecanicismos de calidad a fin de proteger tanto al productor como al cliente y la razón de uso del producto. Esto en determinada medida

establece desde el propio proyecto una diferencia sustancial a otras producciones que se realizan en el país con este mismo fin. Por otra parte la inclusión de otros ingredientes devenidos de alianzas locales como pueden ser; levadura saccharomyces, levadura torula, subproductos del arroz, sorgo u otros, incrementarían el valor intrínseco de las producciones haciéndolas comparables (desde el punto bromatológico) con productos de calidad importados al país, de aquí el compromiso de velar por la calidad y empleo de las mismas.

Resultados logrados con la producción.

La producción de bagazo hidrolizado en el mundo es ciencia constituida, son conocidos los sistemas empleados a este fin así como los productores de los mismos, pero en sentido general todas estas plantas a pesar de sus denominadores comunes son un reflejo de las potencialidades y necesidades de una localidad dada, de un país, en sentido general. Cuba por ejemplo, recién comienza a dar sus primeros pasos hacia la industrialización del bagazo en esta forma. Entre las experiencias más conocidas y difundidas tenemos la miel urea bagacillo (MUB) la cual independientemente de su baja digestibilidad resume una serie de virtudes que la han convertido en una necesidad en época de seca (coincidentemente con la producción azucarera). Por lo tanto, el bagazo tratado con digestibilidad incrementada ha de resultar mucho más beneficioso.

Caldema de Brasil reporta que en el año 1983 se desarrolló el equipamiento industrial que fuera utilizado para realizar una experiencia con 48 animales confinados durante 150 días con el objetivo de evaluar una formulación completa con elevada proporción de bagazo hidrolizado, empleando comparativamente otra similar con bagazo natural. De este traemos a colación dos de sus elementos más representativos (ganancia en peso 1160 vs 610 en forma natural (g/día) y el consumo voluntario 11,8 vs 7,2 kg (bs)/día); las diferencias resultan bien significativas e interesantes a la vez para países azucareros como el nuestro.

En todos los centrales y destilerías que producen alimentos, según Lacorte (1986 a), estos contenían al menos 55% de bagazo hidrolizado bs formulado para proporcionar ganancias en peso de 1 a 1,5 kg/cabeza/día. Conviene destacar que la soya o la harina de algodón, alimentos comúnmente utilizados en la formulación de alimentos, pueden ser íntegramente sustituidas por levadura, obteniendo así un alimento animal exclusivo de los centrales y destilerías.

La asociación del bagazo con otros ingredientes en formulaciones para alimento animal esta recogida (STAB Noviembre/Diciembre del 86) planteando; la ejecución de un experimento con ganado en confinamiento en la destilería Caiuá SA, donde fueron formulados alimentos con los mismos niveles de proteína y energía para proporcionar ganancias en peso de 1 kg/animal/día, solamente modificando el contenido de proteína, que se empleara en las formulaciones a partir de la harina de algodón y la levadura entre otras fuentes proteicas. Destaca la importancia de la levadura en las formulaciones donde resueltamente puede sustituir totalmente las harinas de soya y torta de algodón a precios muy competitivos.

Los resultados en Cuba no deben ser diferentes a los que se han reportado en Brasil, no obstante ello, se acordó validar la experiencia en la próxima zafra sustentada en la formulación mostrada en la tabla II, proponiéndonos conservadoramente alcanzar 500 g/día y con este valorar económicamente la inversión. De la evaluación realizada resultaron algunos elementos de interés que pasamos a destacar.

- Acometer una inversión para la producción - comercialización de bagazo hidrolizado per se no resulta bajo ningún escenario cubano una alternativa económico - financiera atractiva. Dado en primer lugar por no guardar relación entre el monto de la inversión con el valor agregado generado (ya que solo se incrementa la digestibilidad del producto).

- Cuando se comparan las producciones de bagazo hidrolizado y MUB, resulta del análisis de azúcares involucradas en el alimento un ahorro cercano al 30% (equivalente a 104 kg/t de producto), por lo tanto la producción además de sus declarados beneficios en cuanto a digestibilidad manifiesta ahorros en mieles que pueden destinarse a otros fines o incrementar la producción de alimento si así se desease.

- En condiciones normales la formulación básica puede enriquecerse con el empleo de otros ingredientes tales como levadura saccharomyces o torula en crema, desechos o derivados con composición proteica importante para lograr respuestas más elevadas en los animales estabulados. Otra vía para cumplimentar este fin reside en establecer una integración territorial - local entre diversos productores agrícolas e industriales para utilizar productos y subproductos que generan, como materias primas para la formulación de dietas que permitan entre otras; elevar la calidad del producto final, lograr mayores de ganancias de peso/día o minimizar costos y con ello buscar la maximización de utilidades.

- Los resultados económicos han de analizarse no solo como la ganancia en peso lograda en el período sino también incluir lo referente a la erradicación de las muertes evitadas en el rebaño. Al mantener un rebaño estable y saludable, los indicadores de producción de leche por demás considerados como sustitución de importaciones, brindan utilidades adicionales que magnifican la potencialidad del proyecto mostrado.

- La producción sustentada en base a la construcción nacional de los equipos resulta muy atractiva cuando se analiza el potencial de incremento en la producción de carne o sustitución de importaciones de leche en polvo por la producción de leche fresca en primavera.

En la actualidad, se desarrolla una asesoría a la UEB Jesús Rabí con la finalidad de confeccionar un plan de transformaciones en el esquema productivo actual que permita trabajar la producción de alimento animal cumplimentando las planificaciones productivas aquí expresadas. De igual forma se pretende establecer un diseño de experimentos, con el cual determinar la ganancia de peso real en los animales en algún cebadero de la provincia empleando la formulación tipo y quizás alguna enriquecida, en comparación con el patrón hasta alimenticio empleado hasta el momento en dichos animales.

Desde el punto de vista de calidad, se montarán en la UEB las técnicas analíticas para la determinación del grado de hidrólisis del bagazo a partir del pH del material, humedad y otros indicativos de la efectividad del proceso, los cuales se pueden ejecutar en el laboratorio de la destilería muy cercano a esta instalación.

Conclusiones:

1. La producción representada en el trabajo desde el punto de vista animal en su posible respuesta, representa la alternativa más viable de empleo para el bagazo de la caña de azúcar a cualquier otra que lo utilice de forma natural, por lo tanto, a los efectos del país constituye un sustituto viable a la producción de miel urea bagacillo, considerando las ganancias aportadas por medio del incremento de digestibilidad del componente fibroso.

2. El análisis financiero del proyecto se valoró siguiendo dos alternativas productivo – comerciales: la primera considerando la venta del bagazo hidrolizado tal cual contrayendo el volumen de inversiones por la erradicación de la planta de mezclado a casi el 40% del total y la segunda según la forma expresada en el trabajo. Los resultados del estudio son como se muestran a continuación:

Tabla VI. Análisis financiero para la alternativa de venta de bagazo hidrolizado

ALTERNATIVA I	Flujo Económico		Flujo Financiero	
	Moneda Total	CUC	Moneda Total	CUC
Utilidades netas (en miles a 95% de aprovechamiento de la capacidad, año 5)	471.93,	90,06	197.74	138.42 (*)
Tasa interna de retorno (TIR %)	8,90	No muestra	No muestra	No muestra
Valor actualizado neto (VAN) (en miles)	2,555.01	1,744.54	1,076.38	208,99
Período de recuperación (años)	4,20	6,82	5,85	14,63
(*) Empieza a generar este nivel de utilidades solo a partir del 6to año de operaciones con un flujo financiero acumulado de más 1,3 millones de CUC				

Tabla VII. Análisis finaciero para la alternativa de venta del formulado

ALTERNATIVA II	Flujo Económico		Flujo Financiero		Flujo Financiero (sin período de gracia)	
	Moneda Total	CUC	Moneda Total	CUC	Moneda Total	CUC
Utilidades netas (año 5) (en miles)	3,650.66	2,018.34	3,954.45	1,408.97	3,772.59	2,030.66
Tasa interna de retorno (TIR %)	120.84%	103.94%	114.92%	93.69%	104.95%	75.76%
Valor actualizado neto (VAN) (en miles)	19,939.58	11,076.71	18,646.27	9,783.40	19,101.81	9,640.57
Período de recuperación (años)	0.88	1.01	0.90	1.04	1.1	1.6

Se aprecia que la respuesta de la segunda alternativa resulta muy superior a la primera por cuanto las utilidades sustentadas en un producto más terminado, con mejor respuesta en el animal puede ser expedido a precios superiores a la simple venta de un ingrediente, a pesar de que los capitales de inversión de la segunda resultan ser superiores a la primera.

En cuanto a esto, la variante de sustituir el bagacillo por bagazo hidrolizado en aquellas plantas donde ya se encuentra estabilizada la producción puede brindar atractivos adicionales a todo lo expuesto anteriormente siendo esta, por los cálculos realizados la variante tecnológica recomendada a emplear en el país.

Referencias.

Cabello Balbín, A; Namer Delgado, I. (2000), Bagacillo predigerido, capítulo 3.29, Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA, pp 189 y 190.

Díaz Concepció, A; Pérez Pérez, C. y otros (2000), Bagacillo predigerido con cal, capítulo 3.30, Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA, pp 191 a 194.

Villar Delgado, J; Namer Delgado, I. (2000), Bagazo Hidrolizado, capítulo 3.28, Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar ICIDCA, pp 185 a 187.

Lacorte. Mario Celso (1986), "Pró-Carne" Uma solução para problema da pecuária. Revista do Álcool jul. /ago. pp8.

Costales Sotelo, R. (2011), Informe contrapartida técnica a Caldema para la puesta en marcha de la planta de Bagazo Hidrolizado de la UEB Jesús Rabí, provincia de Matanzas, Cuba. Informe de trabajo ICIDCA.

Costales Sotelo, R. y Saenz Coopat, T (2012), Ingeniería Conceptual Planta de Hidrólisis de Bagazo. ICIDCA mayo de 2012.

Saenz Coopat, T. y Costales Sotelo, R. (2012), Estudio de factibilidad técnico económica para el programa de producción de Bagazo Hidrolizado. ICIDCA mayo de 2012.

Caldema (1990), Bagaço de Cana. Fonte Alternativa de Alimento. Instructivo.

Lacorte Mario Celso G, et al. (1986), Bagaço de Cana Hidrolisado já utilizado em Larga Escala em Confinamento. Sistema de Consultoria Agropecuária STAB Nov.- Dic. 1986.

UTILIZACIÓN DE MEZCLAS INTEGRALES CON LA INCLUSIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR *(saccharum officinarum)* Y KING GRASS *(pennisetum purpureum),* EN LA ALIMENTACIÓN DE CABRAS LECHERAS

USE OF INTEGRAL MIXTURES WITH THE INCLUSION OF SUGARCANE *(SACCHARUM OFFICINARUM)* AND KING GRASS *(PENNISETUM PURPUREUM),* IN THE FEEDING OF DAIRY FEMALE GOATS

Autor(*es*)

Delfín Gutiérrez [1], Yisel Gutiérrez Guerra[2], Fernando Federico Bacallao [3], Arabel Elías [1]y Lucia Sarduy[1]

Instituto de Ciencia Animal [1] , CPA ¨ Antonio Maceo¨, Municipio de CACOCUM , provincia Holguín[2]

delfin@ica.co.cu

Abstract

This study was conducted to assess the effect of fresh integral mixtures with sugarcane: king grass, plus poultry litter, on the voluntary intake, quality characteristics of milk and performance of female goats in stabulated systems. Eight Creole female goats were used, distributed in balanced Latin square design (4x4) with average liveweight of 41.39 kg, three calvings and 35 days of lactation. The experimental period was of 60 days, distributed in four periods. The treatments consisted of growing levels of substituting sugarcane by king grass, (control, T_{-20}, T_{-40}, T_{-80} %), plus poultry litter (5 g/kg LW) in integral mixture, offered twice a day. The voluntary intake was determined through the traditional system, and the feeding performance for 24 h, four times per period. Samples were taken from the milk produced to determine the physical-chemical parameters (density, % fat, % protein, % total solids, % not-fatty solids). The results showed increase (*P<0.001*) of the DM and NDF voluntary intake in the T_{-40}, as well as that of the fat, protein and total solids. The square performance (R^2=63.47; *P<0,05*) of the intake index for sugarcane differed (*P<0.00)* and showed a maximum value of **1.18 % LW**, corresponding with **33%** of substitution in the mixture. However, its efficiency (kg. DM/kg milk), showed a growing linear relation with the energy intake (R^2=91.44, *P<0.001*). The ingestion unitary duration, rumia, intake rate and fibrosity index showed the difference (*P<0.001)* in favor of T_{-40}. It is concluded that the substitution of 40 % of sugarcane by king grass in the integral diet improves the animal response in terms of production and milk quality.

Key words: integral mixtures, intake, performance

Resumen

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto que produce el uso de mezclas integrales frescas, con caña de azúcar: king grass, más gallinaza, en el consumo voluntario, desempeño, características cualitativas de la leche y conducta de cabras en sistemas estabulados. Se utilizaron ocho cabras criollas, distribuidas en diseño cuadrado latino balaceado (4x4) con peso vivo promedio 41.39 kg, tres partos y 35 días de lactación. El periodo experimental fue 60 días, distribuidos en 4 periodos. Los tratamientos consistieron en niveles crecientes de sustitución de caña de azúcar por king grass, (Testigo, T_{-20}, T_{-40}, T_{-80} %), mas gallinaza (5 g/kg PV) en mezcla integral, la que se ofertó dos veces al día. El consumo voluntario se determinó mediante el sistema tradicional, mientras que la conducta alimentaria durante 24 horas, en cuatro ocasiones por periodo. Del volumen de leche producido por animal, se tomaron muestras para la determinación de parámetros físico-químicos (densidad, % grasa, % proteína, % sólidos totales, % sólidos no grasos). Los resultados mostraron incremento ($P<0.001$) del consumo voluntario de MS, FDN, en el T_{-40}, así como de la grasa, proteína y sólidos totales. El comportamiento cuadrático (R^2=63.47; $P<0,05$), del índice de consumo para la caña azúcar, a la vez que difiere ($P<0.00$) mostró un valor máximo de **1.18 % PV**, valor que se corresponde con un **33%** de sustitución en la mezcla. Sin embargo, su eficiencia (kg. MS/kg leche), mostró una relación lineal creciente con el consumo de energía (R^2=91.44, $P<0.001$). Por su parte, la duración unitaria de ingestión (DUI), rumia (DUR), velocidad de consumo (VC), e índice de fibrosidad (IFDR), mostraron la diferencia ($P<0.001$), a favor del T_{-40}. Se concluye que la sustitución del 40% de caña de azúcar por king grass en la dieta integral, mejora la respuesta animal en términos productivos y calidad de la leche.

Palabras claves: mezclas integrales, consumo, conducta

.

Introducción

En las regiones tropicales los pastos y forrajes son el alimento natural de los rumiantes, a la vez que constituyen la fuente más abundante y económica, no compiten con la alimentación de animales monogástricos **(Cáceres *et al.* 2006)**. No obstante, los pastos tropicales tienen un bajo valor nutritivo debido a su pobre contenido de nitrógeno y altos niveles de fibra, lo que limitan el consumo voluntario del alimento y el aporte de nutrientes a los animales que los consumen **(Peters *et al.* 2013 y Ku Vera *et al.* 2010)**.

Por otra parte, la suplementación con concentrados permiten mejorar la calidad de la dieta y la productividad de los animales, pero estos productos son de alto costo y generalmente importados. Por ello, se requiere el desarrollo de tecnologías que mejoren la calidad y eficiencia de utilización de los nutrientes de la dieta básica **(Elías 1983 y Galina *et al.* 2008).** Una alternativa y que mantiene vigencia actual en la región pudiera ser la utilización de la caña de azúcar, especialmente durante la época crítica de producción de pastos, planta bien adaptada a regiones tropicales y subtropicales, que tiene su mayor valor nutritivo en la época seca a diferencia de otras gramíneas, pues es rica en carbohidratos y produce una gran cantidad de materia orgánica ,y biomasa por unidad de superficie, y con mayor eficiencia en cuanto a la captura de energía solar con respecto a cualquier otra planta. **(Valencia, 1991).**

Aunque en bovinos existe antecedentes en Cuba de estudios relacionados con el empleo de la caña de azúcar como forraje verde fresco y utilización de la la harina de caña en la formulación de concentrados , harina de caña despajada, con cogollo y secada al sol (Solicaña) el cual se incluyo en un 50% y solo un 10% de cereales comparado con un concentrado comercial con el (73 % de cereales) , donde se logro un 95 % del rendimiento, la mejora en la repuesta pudo estar determinado porque el concentrado con Solicaña solamente empleó 10% cereales/tonelada, mientras que en la fabricado del concentrado comercial se empleo el 73.6 % cereales/tonelada. **(Muñoz *et al.* (1991),**

Sin embargo, debido a la propia naturaleza de la caña de azúcar (bajo % PB), resulta necesario utilizar alguna fuente de proteína natural adicional, para cubrir demanda de proteína en los animales **(Martín, 2004),** planta rica en carbohidratos solubles, el cual beneficiaria la fermentación ruminal se utilizara asociada a una fuente de NNP, como la gallinaza. En este sentido, numerosos son los trabajos que avalan las ventajas zootécnicas y económicas del uso de las gallinazas en la alimentación de rumiantes, alguno de ellos pudiera ser los desarrollados por **Rodríguez *et al.* (2000**), al suplementar con 40 % de inclusión en dietas para toros en fase final de la ceba, en la que se mejor el consumo del la ración y ganancia de peso vivo por día. Además de lograron una disminución de lo costos por unidad de ganancia de peso vivo, así como los desarrollados por **Manivela *et al.* (1997)** y **Marshall (2000)** con niveles de inclusión de 25 y 30 % de gallinaza en la dieta de ovinos, donde observaron cambios en los patrones del ecosistema ruminal (en el pH, concentración de amoníaco y de ácidos grasos de cadena corta en el rumen)

El uso de 2 kg/d de un suplemento con 83.5 % de gallinaza mejoró la eficiencia reproductiva de vacas durante dos años **(Álvarez y Combellas 1998).** En el primero, el intervalo parto-parto se redujo en 108 d y en el segundo, en 63 d; mientras que la producción de leche en los primeros 90 d difirió a favor del suplemento

A pesar de lo logrado, en la actualidad, existen insuficientes estudios realizados con este material fibroso y la gallinaza como fuente de proteína, y menos aun, la utilización de raciones integrales en la especie caprina y en lactación

Materiales y métodos

Localización

El estudio se desarrollo en la CPA ¨ Antonio Maceo¨, perteneciente a la UEB central azucarero "Cristino Naranjo" del Municipio de CACOCUM en la provincia Holguín. El experimento se desarrollo entre los meses de Julio- Sep 2012, con una temperatura media anual de 25,7 ºC, (21- 31,8 ºC) y humedad relativa de 79 %. En esta región se distinguen dos periodos estaciónales bien definidos, uno seco (nov.- abril) y otro lluvioso (mayo.- octubre), con precipitaciones medias anuales de 1234 mm.

Procedimiento experimental

Se trabajó con las gramínea caña de azúcar (*Sacharum oficinarum, Mayari 57-15)*, variedad con gran cantidad de cogollo (puntas) y menor relación en la proporción de tallos y King grass *(Pennisetum purpureum, clon CT-169)*, de 270 y 45 días de edad respectivamente. Forrajes establecidos sobre suelo del tipo Alubial, vertisuelo oscuro, Gleyzoso, poco profundos, ondulados, mal drenaje interno y superficial, y gran cantidad de sales.

Organizados un diseño cuadrado latino (4x4) balaceado se utilizaron un total de ocho cabras de la raza Criollas (2 anim. por tratamiento); animales clínicamente sanos, peso vivo promedio 41.39 kg (16.30±0.38 kg $PV^{0.75}$), tres partos y 35 días promedios de lactación acumulada, ubicados en corrales individuales (60 x120 cm^2) donde cada animal constituyó una unidad experimental.

El experimento tuvo una duración de 60 días, distribuidos en cuatro períodos, con una duración 15 días (10 adaptación, 5 recolección datos). Los tratamientos consistieron en la utilización de cuatro mezclas integrales, con la inclusión básica de dos forrajes fresco, que incluyó niveles creciente de sustitución (Testigo, T_{-20}, T_{-40}, T_{-80} %) de caña de azúcar por king grass. Al momento del suministro de la mezcla

integral, y en la totalidad de los tratamientos, se oferto gallinaza, a razón de 5 g/kg PV, más sales minerales y agua a libre voluntad.

La totalidad de los forrajes utilizados, fueron cosechados al final de la tarde del día anterior. Material que permaneció parado y entero hasta el inicio de las horas matutinas (7:00am) del próximo día, momento en que fue fracciono en un molino forrajero, hasta alcanza un tamaño de partícula de 30–50mm. La gallinaza seca procedía del propio sistema empresarial. Para facilitar una mejor compresión experimental en la tabla 1 se presenta la composición química de los alimentos utilizados.

Tabla 1. Composición de la materia prima utilizadas en la elaboración de las mezclas Integrales.

Alimentos	% MS	%PB	%FDN	EM(Mcal)
king grass	25,90	5,70	74,40	1,85
Caña de azúcar	35.00	3,40	80,46	1,92
Gallinaza	80.23	21.17	33.01	1.10

La frecuencia de distribución de la mezcla integral a partes iguales fue 2 veces al día (8.30 am-17:00 pm), a manera de garantizar un nivel de rechazo, se oferto un 15% por encima de los requerimientos, a la vez que se realizó en tres ocasiones durante las hora diurnas remolición del material en el comedor. Cada 15 días y durante 4 días consecutivos, mediante el sistema tradicional, se registró el consumo voluntario, momento en que se realizaron pesajes individuales de la mezcla (oferta-rechazo), al vez que se ajusto el consumo. Mientras que la conducta alimentaria se desarrollo en 4 ocasiones por periodo, durante 24 horas (total 16 días), con 15 minutos de intervalo entre observaciones, momento en que se registró la actividad individual desarrollada por los animales como: Ingestión (mezcla integral, agua), rumia y ocio o descanso. Lo anterior se desarrolló mediante la metodología propuesta por **Petit (1972).**

A los diferentes alimentos y mezclas integrales utilizadas, se le realizó análisis químico proximal según la **AOAC (1995),** mientras que la FDN se determino según **Goering y Van Soest (1970)**, mientras que para la determinación de la energía metabolizable (EM), se utilizaron las ecuaciones de predicción, propuestas por **García–Trujillo y Pedroso (1989)**, respectivamente. La totalidad de los análisis se realizaron en los laboratorios de servicios del Instituto de Ciencia Animal (LASEICA), por su parte, los estudios de hematología se determinaron en el laboratorio provincial de medicina veterinaria de la provincia Holguín.

En cada periodo, una vez concluida la etapa de adaptación a la dieta experimental, y durante cinco días consecutivos se controlo el volumen de leche producido por animal, momento en que se tomo en un frascos de vidrio muestras de leche (40mL), para la determinación de la composición química en los laboratorios leche ECIL –provincia Holguín, en el equipo MilkoScan TM-Minor 6.0 (Type 78110) de la marca FOSS, fabricado en Dinamarca, Se determinaron cinco parámetros químicos de la leche: densidad (g/ml) % grasa, % proteína, % sólidos totales, % sólidos no grasos (anexo 1).

Análisis estadístico

La información resultante se le aplico análisis de varianza, y en caso necesario se dócima de **Duncan (1955),** para expresar las diferencias significativas ($P<0.05$) entre medias. La totalidad de los datos fueron procesados a través del paquete estadístico INFOSTAT **(Balzarini *et al.* 2001),** y para la conducta el paquete estadístico ComparPro v-1, **Font *et al.* (2007)**. Mientras que para la determinación de los análisis de regresión, ecuaciones y criterios estadísticos se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS plus *v-5.1*.

Resultado y discusión

En la tabla 2 se presentan los resultados referentes a los consumos medios de materia seca (CMS), fibra en detergente neutro (CFDN), porcentaje del peso vivo (% PV) y peso metabólico (g $PV^{0.75}$). Con independencia de la forma de expresión, y las diferencias (*P<0.001*) alcanzadas por 40% de sustitución de caña de azúcar por king garss en la mezcla del resto de lo tratamiento, valores de consumo expresados %PV, en su generalidad resultan inferior al 4% PV de lo planteado por **Sauvant *et al.* (1991),** y los requerimientos calculado en el **NRC (2005),** para animales semejantes (41.39Kg PV, 1. 81 lts leche anim.$^{-1}$) de 1.97 kg anim.$^{-1}$ (4 96 % PV). Sin embargo, la totalidad de los grupos tratados, se presentan con valores superiores a los reportado por **Meneses (2013)** del 2 a 2,8 %, lo que evidencia el efecto de las sustitución e integración de la caña de azúcar al resto de lo alimentos que conforman la mezcla, su papel de cubrir la demanda de nutrientes y el desempeño productivo de los animales. Del mismo modo la totalidad de los valores de consumos de materia seca expresado en gramos por unidad de tamaño metabólico (CMS PV^{075}), están dentro del rango (47.1 a 180 g MS kg $PV^{0.75}$) de lo planteado como óptimo por **Jimeno *et al.* (2003)** para la especie caprina.

Las diferencia encontradas pudieron estar determinadas porque las cabras en contraste con los bovinos desarrollan la habilidad de selección, tomando siempre del alimento las partes más tiernas y con mayor contenido de proteína, seguido el material fibroso y muerto **(Vargas, 1993)**, como pude ver ocurrido en este experimento con el incremento de los niveles de caña de azúcar en la mezcla, en consecuencia con la naturaleza de la planta, como factores inherentes a los forrajes, así como a la diminución de la dilución de la gallinaza en la ración como otro ingrediente de la mezcla y que pudo ver afectado la palatabilidad **(Méndez 2004)**, a pesar de mantener la oferta de alimento en comedero.

Tabla 2. Valores medios para el consumo de materia (CMS), contra tasa metabólica ($PV^{0.75}$), de fibra en detergente neutro (CFDN), energía metabolizable (CEM), índice de consumo de materia seca (% PV),nitrógeno total (NT) la relación fibra en detergente neutro: nitrógeno total (FDN:NT)

Indicador	**Proporción caña de azúcar : king grass:**				
	Testigo	**20:80**	**40:60**	**80:20**	**±EE Sign.**
CMS, kg día	1.16^{a}	1.25^{b}	1.49^{c}	1.12^{a}	0.02***
CMS, g kg PV^{075}	66.95^{a}	78.10^{c}	88.98^{d}	73.93^{b}	1.05***
CFDN, % PV	1.58^{a}	2.04^{b}	2.40^{c}	1.95^{b}	0.03***
CEM, Mcal	2.26^{a}	2.67^{b}	3.38^{c}	2.38^{a}	0.04***
Índice consumo MS, % PV	2.59^{a}	3.10^{b}	3.48^{c}	2.99^{b}	0.04***
Índice consumo MS caña %PV	0	0.86^{a}	1.71^{b}	0.83^{a}	0.01***
CMS caña, kg día	0	0.350^{a}	0.730^{b}	0.310^{c}	0.01***
CMS caña , gPV^{075}	0	21.76^{b}	43.69^{c}	20.47^{a}	0.33***
CEM caña , Mcal	0	0.94	1.97	0.84	0.01***
Cons. gallinaza , g día	224.50^{d}	201.98^{b}	213.66^{c}	187.60^{a}	1.04***
NT , g	17.11^{c}	15.17^{b}	15.16^{b}	13.67^{a}	0.21***
N Gallinaza/NT ; %	29.87^{a}	30.22^{ab}	32.00^{c}	31.26^{bc}	0.38**
Relación FDN:NT	21.12^{a}	28.20^{c}	35.63^{d}	27.87^{b}	0.11***

***P<0.01, ***P<0.001, diferencias significativa para Duncan P<0.05 , ±EE error estándar*

De forma general se aprecia que las variaciones en el consumo de materia seca pudieron estar relacionadas con la energía consumida como afirman los resultados de la regresión (Y=0,360722 + 0,334283CtotalEM, R^2=95.43, ±EE=0.03, *P<0.001*). Prueba de ello, lo constituye la propia respuesta lograda en la variable relación EM.PB con el consumo de materia seca, en el nivel del 40% de sustitución de la caña de azúcar: king grass en la mezcla, como el de mejor comportamiento (Y= -3,0395 + 1,27019EM:PB, r^2=0.87, R^2=76.34, ±EE=0.03, *P<0.001*). Esta respuesta corrobora lo enunciado por **García -López (1988)** y **Mertens (1994),** cuando refieren que dentro de los factores que controlan la ingestión voluntaria de metateria seca, los fisiológicos, están regulados primeramente por la demanda energéticas del organismo; un aumento de la energía consumida permitiría un incremento en el consumo total de alimento, siendo este el factor limitante de la producción láctea y su calidad **(Jimeno *et al.* 2003)**. De manera que, al parece la energía en este propósito, tiene un efecto dominante, mientras que la proteína se convierte en un complemento.

Aunque se aprecia una tendencia lineal del consumo de energía con la participación de la caña en la mezcla (Y= 1,7441 + 0,0238864X, r^2=0.97, R^2=93.38, ±EE=0.19, *P<0.001*), los valores percentiles de 53±14.29% y 67.58±3.47% en el consumo de energía y proteína respectivamente, subestiman los requerimientos formulados en el **NRC (2005)** para cabras en primeras semanas de lactación, panorama que afirmar, que el complejo energía: proteína, no solo participa la cantidad de energía consumida y aminoácidos absorbidos desde el intestino, si no que en ella habría de considerar otros factores como: el control metabólico y el aporte de tejido corporal **(García -López y García-Trujillo, 1988)**.

Con respecto al consumo aparente de FDN, si bien en la actualidad, aun no se cuenta con datos suficientes que recomienden niveles de óptimos de FDN expresada en relación con el peso vivo para la especie caprina, los niveles alcanzado en la totalidad de los tratamientos superan el valor medio de 1.25% referido por **Mertens (1983) y Carvalho (2002)** de 1.53 %, este último, en estudios realizados con la inclusión de diferentes niveles de FDN en dietas básicas con heno de Tifton-85 (*Cynodon sp*.) y dond**e** observó que el consumo voluntario de FDN varió linealmente entre 1,06 y 1,94 % del PV.

Por otra parte, se observa una repuesta cuadrática entre el CMS y CFDN de la ración siendo el punto de inflexión el momento en que los controles físico y fisiológico son semejantes (Y= 2,15005-1,37872X + 0,455019X2, R^2=84.16, EE=0.13, *P<0.001*). Según **Mertens (1994),** esta ecuación informa la cantidad máxima posible de alimento consumido por el animal. De manera que los valores reales obtenidos en este estudio superan el tratamiento correspondiente al 20%, pero resulta inferior al 40% de inclusión de caña de azúcar en la mezcla. Valor que se corresponde con el 32% según confirman los resultados de la regresión, también de naturaleza cuadrática (Y=0,504625 + 0,000457292X-0.00705729X^2, R^2=84.16, ±EE=0.13, *P<0.001*) obtenida entre el consumo total de FDN y niveles de sustitución de caña de azúcar: king gras en la mezcla.

Estos resultados pudieran justificar los criterios descritos por el propio **Mertens (1994**), al plantear que la variación en el consumo de fibra está determinado por la capacidad que tiene la cabra de acomodar cantidades crecientes de fibra en el rumen, cuando se enfrenta al consumo voluntario de forrajes y que una determinada proporción de FDN consumida en la dieta, podría garantizar una fermentación adecuada que proporcione un porte significativo de proteína u otros nutrientes de origen microbiano. Esta mayor capacidad de consumo del caprino y sus incrementos en la carga de fibra en particular, se puede asociar a la capacidad que tiene la especie para exceder la distensión física o repleción del retículo-rumen **(Borges, 1999)**, y a factores asociados con las masticación, que la hacen más prolongada y eficaz **(Domínguez-Bello *et al.* 1991 y Hadjigeorgiou *et al.* 2003)** la presencia de un mayor número de microorganismos celulíticos, con ellos aumento de la síntesis de proteína microbiana y reciclado de urea sanguínea hacia el rumen

(Tisserand *et al.* 1986). Estos son efectos beneficiosos que tienen lugar para esta especie en dietas menores de 10 % de proteína **(Tolkamp y Brouwer, 1993)**.

Referente al nivel optimo sustitución de la de la caña azúcar en la mezcla el comportamiento cuadrático ($Y= 0{,}487286 + 0{,}000999366X-1{,}4786X^2$, $R^2=96.98$; ±EE=0.43; *P<0,001*),), confirma que el valor máximo de consumo ocurre cuando se sustituye el **33%** de caña de azúcar por king grass correspondiente a un índice de consumo **1.18% PV** . Índice que resulta inferior alrededor del 2% de lo reportado por **Ferreiro y Preston (1976)**, **Muños, *et al.* (1988)** y **Molina y Elías (1990)**, más reciente por **Rodríguez (2009)** de 1.26% en trabajos realizado durante el engorde de machos bovinos, con una dieta basal de caña de azúcar (73%+10% miel urea-2%+17% concentrado comercial); aunque también superiores a los plateados por el propio autor, cuando sustituyo en la dieta basal de caña de azúcar, niveles del forraje king grass (50% y 61.5% *CT-115*+ 10% miel urea-2% +17% concentrado comercial), de 0.96 y 1.01 % PV y dentro del rango de lo alcanzado por **Alonso y Senra (1992)** en vacas lecheras de 1.1 -2,2 kg MS/100 kg. Con estos niveles (< 2.2%) de consumo de caña, queda evidenciado los problemas de utilización de la caña de azúcar como forraje y sus limitaciones.

Resultados que confirman lo planteado por **Martín (2004)** cuando refiere que un incremento en los niveles de inclusión de la caña de azúcar en la dieta, experimenta una disminución en el consumo de la misma. Dada la restricción por las propias características nutritivas del material como: bajo contenido de proteína, alta proporción de carbohidratos estructurales y déficit y desbalance de minerales; aunque su elevada acumulación de carbohidratos solubles en forma de azucares la convierten en un medio apropiado para el uso de altas proporciones de NNP **(Molina y Elías, 1990)**, y donde la reducción del tamaño de partículas durante la masticación es muy lenta **(Muños, *et al.* (1987)**.
Al inferir en los resultados obtenidos este valor de consumo como óptimo, entonces el análisis aportaría, que corderos que consumen un **40%** de su capacidad de consumo como caña de azúcar, en dietas suplementadas con gallinaza, resulta suficiente para explicar cambio en el consumo de materia seca, aunado al aporte del resto de la ración, acorde con la demanda de nutrientes durante el periodo de crecimiento-engorde, lo que se ajusta con los metanalisis realizados por el **NRC (2005)**.

El efecto estimulante de la caña de azúcar en el consumo total de alimento cuando se incorporo alrededor del 40% de caña de azúcar en la mezcla integral, sugiere que niveles del 43.69.±1.92g kg PV^{075}, como optimo, superiores a este pudieran influir en una lenta tasa de degradación de la fibra y por consecuencia, reducida velocidad de tránsito y vaciado del tracto digestivo, la ingestión de azúcar pudiera ser demasiado elevada, la que provocaría una reducción de la actividad de las enzimas, consecuentemente con una reducción del consumo total de fibra y total de materia seca, factores que confirman la desventaja de utilizar la caña de azúcar en niveles muy alto ó como único alimento voluminoso **(Elías, 1983; Hardy y Cruz, 1979; González, 1995** y **Martín y Brito, 1996)**.

Al mismo tiempo se pudiera platear que la inclusión del forrajes verdes king grass a nivel del 60% (42.68±4.14 g kg PV^{075}) en la ración con caña de azúcar, puede tener efectos positivos en la velocidad de recambio de la fracción solida del contenido ruminal, como consecuencia de una mejor estructura de la propia fracción, a diferencia de lo que ocurre en una ración básica con caña de azúcar como único alimento voluminoso por la propia rigidez de la fibra **(Bobadilla y Rowe, 1979, González *et al.* 1989 y González y Valeria, 1994).** Al respecto sería importante enunciar lo planteado por numerosos autores **(González, 1995**; **Aranda 2000**; **Palma y Rodríguez, 2001** y **Palma, 2002),** cuando enfatizan tener presente la relación azúcar –fibra, en los consumos de materia seca de la caña de azúcar, situación que en este trabajo pudo ser resuelta cuando se incluyo en la mezcla esta proporción forraje king grass, como forma de reducir la ingestión de carbohidratos solubles y por consiguiente incrementar el consumo de materia seca total.

Relacionado con las características cualitativas de la leche en la tabla 3, se muestran los resultados obtenidos en los seis parámetros estudiados. Existiendo variación (*P<0.001*) solo para la grasa, proteína y sólidos totales, no así, para la densidad, acides y sólidos no grasos. La totalidad de los valores encontrados estuvieron dentro del rango de lo enunciado para la densidad por **Jenness** (**1980)**, **Keskin *et al.* (2004) y Quiles y Hevia (2001)** de 1.026 -1042 g/mL y 14-16 ^{0} Dor, respectivamente. En lo que respecta a la concentración de grasa, proteína y sólidos no grasos, la totalidad de los parámetros (3,0-6,63 % grasa, 2,90-4,60 % proteína, %sólidos totales 11,70-15,21 y % sólidos no grasos 8,40-8,70), se encuentran dentro de los niveles teórico para la especie (**Gnan *et al.* 1985; Espié y Mullan, 1990; Juárez *et al.* 1991;Vega *et al.* 2007 y Park *et al.* 2007)**.

Tabla 3. Valores medios para la densidad, acidez, grasa, proteína, sólidos totales (ST) , sólidos no grasos (SNG), producción de leche y eficiencia alimentaria.

Parámetros	**Proporción caña de azúcar : king grass**				**EE± Sign.**
	Testigo	20:80	40:60	80:20	
Densidad, g/mL	1.04	1.03	1.03	1.04	0.01
Acides , ^{0} Dor	16.88	16.13	16.38	16.88	1.58
Grasa, %	3.38^{a}	3.58^{a}	3.55a	4.10^{b}	0.13***
Proteína; %	3.39^{a}	3.48a	3.88^{b}	3.54^{a}	0.09***
ST; %	11.73^{a}	11.96^{a}	11.93^{a}	12.44^{b}	0.09***
SNG;%	8.36	8.38	8.38	8.36	0.02
Produc. Leche, lt dia	1.79	1.82	1.85	1.81	0.15
Eficiencia Alim., kg Alim MS. / kg leche	1.28^{a}	1.35^{b}	1.59^{c}	1.21^{a}	0.02***

**** P<0,001, letras diferentes difieren para Duncan P<0,05; ± Error estándar*

Los resultados logrados en la producción de leche sin bien no difiere (*P<0.05*) su eficiencia (kg. MS/kg leche) muestra un efecto lineal creciente con el consumo de energía (Y= 0.460379 + 0.335499*CEM, R^2=91.44, ±EE=0.04, *P<0.001*), a la vez que experimenta una respuesta cuadrática (Y=1.24058 + 0.000292897X-4.64298X^2, R^2=84.32, ±EE=0.44, *P<0.001*) en función de los niveles de sustitución de caña de azúcar en la mezcla, con 1.24 kg MS/kg leche como optimo, siendo a partir de este valor donde comienza a disminuir la eficiencia en la producción de leche. Sin embargo, la generalidad de lo logrado en este estudio, con excepción del nivel de 80% de caña en la mezcla, supera este valor.

Con respecto a los efectos de la calidad de la ración y la composición química de la leche, debemos comenzar planteado no se pude separa la composición de leche del consumo y constitución de la ración **(Chilliard *et al.* 2003).** Dietas básicamente fibrosas pueden justificar las diferencia en la producción y grasa de la leche, y poca o ninguna en los sólidos no grasos **(García- López, 1988 y Poore *et al.* 1993),** como lo encontrado en este estudio, y donde el máximo nivel de caña de azúcar en la mezcla integral (80%) y su alta proporción de azúcar y fibra por naturaleza, aunque no determinadas, pudieron influir en las diferencias **(***P<0.001)* del propio tratamiento con respecto al resto, en lo que respecta a la grasa láctea, entre otras razones, porque durante la fermentación ruminal la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), tuvo predominio el patrón acético como señalara **Ravelo y Leng (1976) y Minor *et al*. (1977)**.

A pesar del limitado tiempo de experimentación, otras posibles explicaciones, pudieron ser dentro de los factores fisiológicos, la lipomovilización de la grasa corporal, como resultado de las variaciones de peso vivo observadas en los animales en el propio tratamiento, fenómeno que permite un aumento de la concentración plasmática de ácidos grasos que serian utilizados para la síntesis de grasa láctea en la glándula

mamaria **(Sauvant yMorand-Fehr, 1991).** De igual modo, con excepción del nivel de 80% de caña en la mezcla, la disminución en el resto de los tratamiento del carácter acidófilo de la caña de azúcar **(García-López y Ponce 1988 y Alonso y Senra, 1992)**, en correspondencia con la menor participación de la caña en la mezcla.

Cuando participa la caña de azúcar en la dieta, aumenta la proporción molar de acido acético, el cual constituye un precursor lipogénico, que conlleva a un aumento de la síntesis de lípidos en la glándula mamaria, de manera que como enfermedad metabólica, una diminución de este acido, deprime la grasa en la leche. **(Margolles, 1988).** De manera que el balance de AGV producidos y absorbidos desde el rumen, tiene gran influencia en la participación de nutrientes en el tejido corporal y su movilización para la producción de leche, de esta forma existe interacción entre los AGV absorbidos desde el rumen y la cantidad de proteína del tejido. **(García –López y García-Trujillo, 1988)** raciones básicamente de forrajes como las empleadas en este estudio se caracterizan por tener baja proporción de propiónico con respecto a acético **(Elías *et al.* 1967, Elías, 1983)**.

Según **Elías (1971),** la caña muestra alto niveles de azucares, sin embargo presenta niveles de ac. propionico y butirico semejantes a los obtenidos durante la fermentación ruminal de cereales. Cerca de la mitad de la grasa de la leche proviene de la dieta, el resto es sintetizada en la glándula mamaria, aproximadamente 17-45% de la grasa de la leche es producida del acético, por lo tanto, la fermentación del rumen se encuentra estrechamente ligada a producción de leche, una fermentación ruminal eficiente es esencial para asegurar un suministro constante de estos ácidos grasos volátiles. **(Homan y Wattiaux, 2013)**.

Dentro del análisis de la grasa láctea resulta importante señalar que la repuesta cuadrática de la regresión ($Y= 0{,}038-0{,}01625X + 0{,}00025X^2$, R^2=43.93, ±EE=0.12, *P<0.001*), que también confirma el **33%** como nivel optimo, con valores de 3.53% grasa láctea.

De igual modo se aprecia que el consumo de energía intervine en el incremento del consumo de materia seca, producción de leche y la propia proteína de leche ($Y= 1{,}36727 + 2{,}72474CMS + 0{,}0181146PL + 0{,}165296Prot.láctea$, R^2=99.33, ± EE=0.09, *P<0.001*), lo que indica la posibilidad de que el consumo de energía influyera en las diferencias alcanzada por la proteína en el tratamientos del 40% de sustitución de la caña con respecto al resto. Aunque también se pudiera plantear que al parecer esta ración integral estuvo equilibrada por los aminoácidos, los que pudo llevar a un aumentado de la síntesis la proteína por la glándula mamaria, mas si se considera los días acumulados de lactación que tuvieron los animales en este estudio (superior al pico de producción 35 días) y que la misma se suministro inmediatamente después del parto **(Bunting, 2004)**.

Por otra parte, si bien esta mezcla integral estuvo beneficiada con una disminución del tamaño de particular, elemento que favorece la digestión, algunos autores como **Salvado y Martínez (2013)** refieren que esta reducción no determina en el contenido de graso de la leche de cabra, pero más que eso, lo importante seria mantener un nivel mínimo de fibra en la dieta, ya que las variaciones que puedan presentarse tanto en la grasa como la proteína láctea, se encuentran más influenciadas por el consumo de energía que por el tipo de forraje y su presentación física.

COMPONENTES DEL COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO

En este estudio totalidad de animales permanecieron expuestos a las mismas características físicas o presentación de la ración integral (mezclas forrajes troceado y molido), y donde de forma general se aprecia que efecto del llenado y vaciado del rumen, estuvieron determinados por una disminución del tiempo unitario de rumia, y aumento de la velocidad de consumos ($Y=1.65689 - 0.023747DUR + 0.0448883VC$, R^2=62.42, ±EE=0.10, *P<0.001*), elementos básico que pudieron influir en el consumo **(Stuart y Fundora,**

1994) y donde la totalidad de animales por igual pudieron ser beneficiados, sin embargo, las respuestas fueron diferentes. Corroborando lo anterior, **Díaz (2005)** refiere que el suministro de forraje picado aumenta la velocidad de tránsito a través del rumen-retículo, y que paralelamente, podría esperarse un aumento en la ingestión, incremento que resultaría más eficaz, cuanto peor sea la calidad del forraje, al tiempo que reduce el comportamiento selectivo de las cabras **(Carasso*, et al.* 1988)**

Con relación a los indicadores del comportamiento (tabla 4), según muestra los resultados de la correlación, el consumo de FDN afectó negativamente tanto la duración unitaria de rumia (DUR = 41,2621 - 22,7172CFDN, r^2= -0.69, ±EE=3.28, *P<0.001),* como de ingestión (DUI =38,2247 - 19,8025 CFDN, r^2= -0.48, ±EE=4.92, *P<0.01),* considerada la primera como una relación fuerte entre las variables. A pesar de lo anterior, los resultados describe diferencias estadísticas (*P<0.001)* en lo referente a la propia DUI, DUR, a favor del tratamiento del 40% de sustitución de caña de azúcar en la mezcla (*P<0.001),* velocidad de ingestión total de materia seca y FDN por unidad de tiempo, representado este ultimo en el menor índice de fibrosidad (IFDR), índice que evidencia el grado de eficiencia logrado por lo microorganismos ruminales , y su actividad en el sustrato fibroso **(Delgado, 1995 y Gutiérrez, 2012).**

Tabla 4. Indicadores del comportamiento alimentario

Indicadores	**Proporción caña de azúcar : king grass**				**±EE**
	Testigo	**20:80**	**40:60**	**80:20**	**Sign.**
DUI, min. kg PV^{075}	21.22^{b}	22.28^{b}	17.85^{a}	26.39^{c}	0.50***
DUR, min. kg PV^{075}	22.67^{b}	21.29^{b}	18.56^{a}	27.80^{c}	0.56***
Veloc. Ing., g MS min.	2.94^{b}	2.89^{b}	3.54^{c}	2.55^{a}	0.08***
IFDR, min. g FDN	0.65^{c}	0.52^{b}	0.45^{a}	0.64^{c}	0.17***
DUM, min. g kg $PV^{0.75}$	50.53^{a}	54.54^{b}	54.05^{b}	60.38^{c}	0.53***
• DMI, min. g kg $PV^{0.75}$	24.34^{a}	27.85^{c}	26.51^{b}	29.51^{d}	0.29***
• DMR, min. g kg $PV^{0.75}$	26.19^{a}	26.58^{ab}	27.54^{b}	30.87^{c}	0.32***

Duración unitaria de rumia (DUR), Duración unitaria de ingestión(DUI), Índice de fibrosidad de la rumia (IFDR), Duración unitaria de la masticación (DUM)

****P<0.001 diferencia significativa para Duncan P<0.05, ±EE error estándar*

Sin embargo, el indicador de masticación, a pesar de mostrar diferencias entre tratamientos (*P<0.001),* no responde a la misma lógica de interpretación anterior a favor del tratamiento del 40%, pero si queda demostrado que la eficiencia a lograr estuvo determinada por la diminución de la rumiación y los kilogramo de alimento ingerido por unidad tiempo **(Silva *et al.* 2011)**. Evidencia de lo anterior es lo alcanzado en el nivel de 80% de sustitución de la caña en la mezcla integral con valores más altos de masticación determinado por un mayor tiempo invertido en la ingestión y rumiación, valores que demuestran que la evacuación del alimento desde el rumen pudo ser más difícil, y que por tanta su vaciado no ocurrió con suficiente rapidez como para no afectar el consumo del día anterior, como pude ver ocurrido en el resto de los tratamientos.

CONCLUSIONES

- El aporte optimo de la caña de azúcar en mezclas integrales acompañada del forraje king grass, en la alimentación de cabras, durante las primeras cinco semanas de lactación, según respuesta del consumo voluntario debe ser el **33 %**, valor que se corresponde con **1.18 %** por cada 100 kg PV

- La proporción del **60%** del forraje king grass en la mezcla integral con caña de azúcar, ofrece un efecto estimulador en incremento del consumo total de materia seca

- La utilización de mezclas integrales con 40% de caña de azúcar en sustitución del king grass, combinada con gallinaza a razón de 5 g kg PV, permite cambios cualitativos de la leche (%grasa, % proteínas, %sólidos totales)

- La utilización de mezclas integrales con 40% de caña de azúcar en sustitución del king grass, combinada con gallinaza a razón de 5 g kg PV, determina cambio en la conducta de los animales (duración unitaria de ingestión, rumia, velocidad de consumo y índice de fibrosidad)

Bibliografía

- **Alonso, J.R. ,Senra, A. (1992).** Sistemas de producción con vacas lecheras en condiciones de secano con forraje de caña d azúcar entera en periodo seco. Producción y composición de la leche y comportamiento del peso vivo. RCCA. 1992 26:1 p. 125
- **Álvarez, R., Combellas, J. (1998).** Efecto de la suplementación con cama de pollo sobre la producción de vacas de doble propósito pastoreando rastrojo de maíz durante la estación seca. Instituto de Producción Animal (IPA) Dr. Manuel Vicente Benezra, Venezuela. Informe Anual. 96-97. p. 37
- **AOAC. (1995)**. Official methods of analysis, 11th. (Ed.) Association of Official Agricultural Chemists, Washington, D.C.
- **Aranda, E. (2000).** Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes . Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Veterinaria. ICA. La Habana. Cuba
- **Balzarini, G.M., Casanoves, F., Di Rienzo, J.A., González, L.A., Robledo, C.W. (2001)**. InfoStad. Software estadístico. Manual del usario. Versión 1. Córdoba. Argentina
- **Bobadilla, M., Rowe, J.B. (1979).** Punta de plátano y caña de azúcar como alimento par gabado; observaciones sobre la tasa degradación de la fibra y recambio del liquido en le rumen. Prod. Trop. Anim. 4:30
- **Borges, A.L.C. (1999)**. Controle da ingestão de alimentos. Caderno técnico: Escola de veterinária da UFMG, Belo Horizonte. Brasil. 27: 67.
- **Bunting, L. D. (2004)**. Estrategias Nutricionales Para Cambiar los Componentes de la Leche. II Seminario sobre alimentación y manejo de ganado lechero."Efecto de la proteína de Soya, los aminoácidos y los micro-minerales en la producción¨. Guadalajara, México
- **Cáceres, O., Ojeda, F., González, E., Arece, J., Simón, L., Lamela, L., Milera, M., Iglesias, J., Esperance, M., Montejo, I., Soca, M. (2006)**. Valor nutritivo de los principales recursos forrajeros en el trópico. En: Recursos Forrajeros: Herbáceos y Arbóreos. Ed. Universitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. p23
- **Carasso, Y., Maltz, E., Silanikove, G., Shefet, G., Meltzer, A. , Barak,M. (1988)**. *The use of complete diets for Israeli goats*. Seminar of FAO subnetwork on goat nutrition and feeding. Potenza (Italy).
- **Carvalho, S. (2002)**. Desempenho e comportamento ingestivo cabras em lactação alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de fibra Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias. UFV. Viçosa. Brasil. p. 118.
- **Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lambert, G. (2003)**. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. J. Dairy Sci., 86:1751-1770

- **Delgado, D.M. (1995)**. Comportamiento alimentario, cinética ruminal y pasaje de nutrientes en rumiantes que consumen sacharina. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba. p. 140.
- **Díaz, C G. (2005)**. Regulación del consumo de la ración por la vaca lecheras. Rev. Mundo Veterinario
- **Domínguez-Bello, M., Dellow, D.W., Barr, T.N. (1991)**. Voluntary intake and rumen digestion of low-quality roughage by goats and sheep. J. Agric. Sci. 117:111.
- **Duncan, D.B. 1955**. Multiple range and multiple F test. Biometries. 11:1
- **Elias, A. (1983).** Digestión de Pastos y Forrajes Tropicales. Los Pastos en Cuba.' Utilización. Tomo II. Cap. IV. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.p. 187
- **Elias, A., Preston, T.R.,Willis, M.B. (1967)**. Intensive beef production from sugar cane. 3 characters of rumen contents from bull give normal or invert molasses as a supplement to forage or concentrate. p.333.
- **Elías. A. (1971).** Efecto de la fuente de energía sobre el pH y los AGV en el rumen de añojos Holstein . En: Temas sobre el ternero EDICA: La Habana. Cuba
- **Espié, W.H., Mullan, M.A. (1990)**. Compositional aspects of goat milk in northera. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agronomía. VALDIVIA – Chile. p.11.
- **Ferreiro H.M., Preston, T.R. y Sutherland, T.M. (1977).** Limitaciones dietéticas en raciones basadas en caña de azúcar. Producción Animal Tropical. 2:58–63.
- **Ferreiro, H.M. & Preston, T.R. (1976)**. Digestibilidad y consumo voluntario en tallos de caña descortezada con o sin la adición de puntas. Prod. Anim. Trop. 2:33
- **Font, H., Aida, N., Verena, T., Herrera Magaly, H., Sarduy, L., Rodríguez L. (2001).** Paquete estadístico ComparPro versión 1. Inst Ciencia Animal, Dpto Biomatemática
- **Galina, M.A., Ortiz –Rubio, M.A., Gerrero, M., Elías, A. (2008)**. Efecto de un ensilado de maíz solo o inoculado con probióticos lácticos y adicionado con un suplemento nitrogenado de lento consumo en ovinos. En: REDALYC . 12: 23.
- **García –López, R., García-Trujillo, R. (1988).** Uso de la suplementación para vacas lecheras. En. Producción de Leche a base de pastos tropicales. Ed. EDICA: La Habana. Cuba. p.75
- **García– López, R. (1988).** Consideraciones de la relación energía proteína en la alimentación de vacas lecheras. En. Producción de Leche a base de pastos tropicales. Ed. EDICA: La Habana. Cuba. p 87
- **García- López, R., Ponce. P. (1988).** Principales factores que influyen la composición de la leche. En: producción de leche a base de pasto. EDICA. L Habana. Cuba
- **García –Trujillo, R., Pedroso, D.M. (1989)**. Alimentos para rumiantes. Tablas de valor nutritivo. (Ed). EDICA. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p.3
- **Gnan, S.O., Erabti, H.A., Rana, M.S. (1985).** The composition of Libyan goat milk. Aust.J.Dairy Technol. 40:165.
- **Goering, H.K., Van Soest, P.J. (1970).** Forage fibre analyses. Apparatus, reagents, procedures and some applications. Handbook. No.329. Agriculture Research Service, USDA, Washington. DC. pp. 316-318
- **González, R.F., Geerken, C.M., Muñoz. E. Perez., M., González, R.M. (1989).** Sugar cane forage from milk production. Effect of the amount of ANS-70% in the rumen liquid flor indocator. Cuban .J. Agric. Sci. 24: 277
- **González, R.F., Valeria, A.V (1994)**. Forraje de caña de azúcar para la producción de leche. Efectos de la inclusión de forraje de pasto estrella (Cynodon nlemfuensis) en el recambio liquido ruminal
- **González, R.F. 1995.** Contribución al estudio de los factores que limitan el consumo de forraje de caña de azúcar integral por los bovinos. Tesis C.Dr.Cs., Instituto de Ciencia Animal. La Habana

- **Gutiérrez, D. (2012).** Efecto del VITAFERT como aditivo en cabras lecheras *(Capra hircus*) alimentadas con forrajes de baja calidad. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Veterinaria. Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, La Habana, p 52.
- **Hadjigeorgiou, I.E., Gordon, I.J., Milne, J. A. (2003)**. Intake, digestion and selection of roughage with different staple lengths by sheep and goats. Small Rum. Res. 47:117-132.
- **Hardy, C., Cruz, R. 1979.** Efecto de la suplementación con concentrados sobre la actividad celulolítica ruminal de animales alimentados con forraje de pangola. Rev. cubana Cienc. agríe. 13:299
- **Homan, J.E., Wattiaux E.M. (2013).** Producción de leche en la glándula mamaria guía técnica lechera: lactancia y ordeño disponible En. http://www.buenastareas.com/ensayos/La-Ganaderia/1586310.html. consultado 25/2/2013.
- **Jimeno, V., Rebollar, P.G., Castro, T. (2003)**. Nutrición y Alimentación del caprino de leche en sistemas intensivos de explotación. XIX Curso de especialización FEDNA. Madrid. España pp. 155-178.
- **Juárez, M., Ramos, M.,Martín, R. (1991).** Manual de quesos españoles de leche de cabra FESLAC, Madrid. España. p.56
- **Keskin, M., Avsar, Y., Bur, O. (2004).** Acomparative study on the milk yield and milk composition of two different goat genotypes underthe climate of the Eastern Mediterranean. Turk J.Vet. Anim. Sci. 28: 531-536
- **Ku Vera, J.C. (2010)**. Requerimientos de energía en ruminates en el trópico. Implicaciones del concepto de mantenimiento. Taller de fisiología y procesos fermentaivos. III Congreso de Producción Animal Tropical y I Simposio FOCAL. La Habana. Cuba. Memoria en soporte electrónico. ISBN: 978-959-7171-31-7.
- **Manivela, D.T., Ryssen, J.B.J., Van Last, R., Van Russen, J.B.B. (1997)**. The effects of broiler litter diets as survival ration on the health of sheep. J. South African Vet. Assoc. 68:121
- **Margolles, E.M. (1988).** Principales enfermedades metabólicas de las vacas lecheras. En. Producción de Leche a base de pastos tropicales. Ed. EDICA: La Habana. Cuba. p 223
- **Marshall, W.A. (2000).** Contribución al estudio de la ceba ovina estabulada sobre la base de heno y suplemento proteíco con harina de soya y gallinaza. Tesis de Dr. en Cienc. Vet. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba
- **Martín, P., Brito. M. (1996).** Effect of the level and type of nitrgen in the consumption of sugar cane forage in fattening bulls . Cuban J. Agric. Sci. 30:263.
- **Martín, P.C. (2004).** Forraje de caña. Consumo voluntario. En: La alimentación del ganado con caña de azúcar y subproductos. EDICA. pp 13-55
- **Méndez, G., Ríos de Álvarez L., Combellas, J., Colmenares, O., Álvarez, Z. R. (2004).** Efecto del nivel de gallinaza sobre el consumo de dietas completas para ovinos estabulados en etapa de crecimiento. Rev. Zootecnia Tropical 22:1 pp1-133
- **Meneses, R.R. (2013).** Aspectos generales sobre nutrición y alimentación de caprinos. Disponible en: <http://www.indap.gob.cl/Docs/Documentos/Ganader%C3%ADa/Caprinos/nutic_aliment_caprinos.pdf.> Consultado: (24/febrero/2013).
- **Mertens, D.R. (1983)**. Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations and estimate the net energy content of forages. En: Proceedings. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf., Syracuse, Cornell Univ. Ithaca, NY. p.6.
- **Mertens, D.R. (1994)**. Regulation of forage intake. In: Forage Quality, Evaluation, and Utilization (G.C. Fahey, Jr., ed.). Am. Soc. Agron., Madison, WI. p. 450-493

- **Minor, S., McLeod, N.A., Preston, T.R,, Leng, R. A. 1977).** Parámetros del tracto digestivo en toros alimentados con dietas de caña de azúcar /urea y diferentes suplementos proteicos. Prod. Anim. Trop. 2:166
- **Molina, A. & Elías, A. (1990)**. El uso de la caña de azúcar y sus derivados en la producción de carne .1990. Seminario científico Internacional por el XXV aniversario ICA. La Habana. Cuba. p. 277
- **Muños, E., González, R. , Galindo, J. (1988).** Uso de la caña de azúcar par la producción de leche: informe final de etapa de investigación. ICA. La Habana. Cuba
- **Muñoz, E., González, R., Ruiz, R., Galindo, J. (1987).** Uso de la caña de azúcar para la producción de leche. Informe final de la etapa de investigación. ICA MIMEO, La Habana. Cuba.
- **Muñoz, E., González, R., Alfonso, F. y Enríquez, A. V. (1991)**. Comparación del pienso con caña de azúcar deshidratada al sol (SOLICAÑA) y el concentrado comercial para vacas lecheras. RCCA 25:3 p 267
- **National Research Council-NRC. (2005)**. Nutrient requirements of ruminants in undeveloping countries. Int. Feedstuffs Ints. Utah. Agric. Exp. Sta. 5 ta Univ. Legon. p. 380
- **Palma, J.M. & Rodríguez, R. (2001).** Desarrollo de becerros con base de caña de azúcar con o sin asociación de rastrojo de maíz, pollinaza y un suplemento activador de la función ruminal. ALPA. Programa general de resúmenes. 9:1 pp-332
- **Palma, J.M. (2002).** El uso de la caña forraje en el engorda de becerros. Memorias. Foro Internacional. La caña de azúcar y sus derivados en la producción de leche y carne. La Habana. Cuba
- **Park, Y., Juárez, M., Ramos, M., Haenlein, G. (2007)**. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. Small Rumin. Res., 68: 88-113.
- **Peters, M.; Van der Hoek, R., Schultze-Kraft, R. (2013)**. Los pastos y forrajes en el trópico - retos en el marco de un desarrollo sostenible. V Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. 15- 19 noviembre. Palacios de Convenciones. La Habana. Cuba.
- **Peterson, P. (2002).** Forage for goats. Disponible en: http://goatconnection.com/articles/publish/printer_102.shtml. Consultado: (2 marzo 2013).
- **Petit, M. (1972)**. Emploi du temps des tropeaux de vacches meres et de leur Meaux sur les parturages d'altitudes de l'aubrac. Ann. Zootec. 21:5.
- **Poore, M.H.; Moore, J.A., Swingle, R.S. (1993).** Response of lactating Holstein cows to fibre source and ruminal starch degradability J. Dairy Sci. J. Dairy Sci. 76 :2235-2243
- **Quiles, A., Hevia, M.L. 2001** Propiedades físicas de la leche de cabra. Colaboraciones técnica Ganadería. 6:53-55
- **Ravelo, G., Leng, R. A. (1976).** Patrón de la fermentación ruminal en dietas basadas en caña de azúcar picada con o sin urea. Prod. Anim. Trop. 1:23
- **Rodríguez, D. (2009).** Caña de azúcar en dieta completa o suplementadas con concentrados en raciones de ceba. Comportamiento biológico y evaluación económica. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinaria. ICA. La Habana. Cuba p 27-46
- **Rodríguez, H., Combellas, J., Álvarez, R. (2000).** Evaluación de dos niveles de cama de pollo en el suplemento de bovinos en ceba con pastoreo restringido de *Cynodon nlefluensis*. Instituto de Producción Animal (IPA) Dr. Manuel Vicente Benezra, Venezuela. Informe Anual 98-99. 16:37
- **Salvador. A., Martínez, G. (2013).** Factores que Afectan la Producción y Composición de la Leche de Cabra: Rev. Fac. Cienc.Vet. Maracay. Rep. Venezuela .48: 2 disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0258-65762007000200001&script=sci_arttext. Consultada 10/5/2013.
- **Sauvant, D. Morand-Fehr, P., Giger-Reverdin, S. (1991)**. Dry matter intake of adult goats. En: Goat Nutrition. p. 45.

- **Silva V.B., Fonseca, C.E.M., Almeida, M.I.V., Brasileiro L. S.G., Godoi, F.N., Mendonça, M.S. (2011)**. Comportamiento alimentario de cabras alimentadas con diferentes tenores de fibra neutro detergente. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. Belo Horizonte. p.63.
- **Tisserand, J.L., Bell, B.; Masson, C., Cordelet, C. & Faurie, F. (1986)**. Effect du traitemment des forrages par la soude sur la composition de l'écosystéme microbien du rumen des ovins et des caprins. Reproduction Nutrition Developpement. 26:313.
- **Tolkamp, B.J., Brouwer, O. (1993)**. Statistical review of digestion in goats compared with other ruminants. Small Rum. Res.11:107
- **Valencia, R. F.J (1991).** Efecto de la utilización de gallinaza en la fermentación y valor nutricional de ensilados de cana de azúcar. Disponible en: http://agris.fao.org/openagris/search.do?recordID=MX19930041622, consultado: 25/2/2013.
- **Vargas, J. (1993)**. Efecto del nivel de oferta de tallos de caña sobre el consumo voluntario y el ecosistema ruminal en ovejas africanas. Livestock Research for Rural Development 5:3

LA PRODUCCION INDUSTRIAL DE BLOQUES MULTINUTRICIONALES Y SU IMPACTO EN LA GANADERIA BOVINA DE CUBA.
INDUSTRIAL PRODUCTION MULTINUTRITIONAL BLOCK AND ITS IMPACT ON THE BOVINE CATTLE OF CUBA.

Autores: Carlos A. Bravo Pino, Yosvell Rodríguez Baluja, Raúl Costales Sotelo , Carlos Pérez Pérez, Tirso Sáenz Coopat.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca 804 y Carretera Central. La Habana 11000. Cuba. direccb@enet.cu

Resumen.

Los bloques multinutricionales son un suplemento para la alimentación de rumiantes que se viene utilizando desde hace más de 25 años en diferentes países del mundo. Están constituidos por; melaza, sales minerales, urea, fibras u otro material de relleno, con un aglomerante que generalmente es la cal. Su función fundamental es como activador ruminal permitiendo un mejor aprovechamiento de los pastos y forrajes de mala calidad, además de favorecer otras funciones vitales en el animal. En Cuba se vienen empleando desde principios de la década de los 90 en la ganadería bovina con buenos resultados, fundamentalmente en la época de seca para mitigar sus efectos negativos y se han elaborado siempre de forma manual o semimecanizada. Por intereses del Grupo azucarero AZCUBA, se desarrolló el diseño y construcción de una planta industrial para la fabricación de bloques multinutricionales, a partir de la estructura y el equipamiento existente en una planta de miel-urea-bagacillo. En el presente trabajo se exponen los elementos de innovación tecnológica que se introdujeron en la reconversión de esta planta, las características generales de la instalación, aspectos de la operación de la misma, y los controles de calidad fundamentales para las materias primas empleadas y el producto final. Además se exponen los resultados preliminares obtenidos con el empleo de los bloques producidos en esta planta, en diferentes categorías de bovinos en áreas de la CPA 26 de Julio, el Instituto de Ciencia Animal y empresas seleccionadas del Ministerio de la Agricultura.

Palabras claves: Bloques multinutricionales, producción industrial, bovinos.

Abstract.

Multinutritional blocks are a supplement for ruminants that has been used for more than 25 years in different countries. Are constituted by, molasses, mineral salts, urea, fibers or other filler material, with a binder that is generally lime. Its fundamental function is as an activator ruminal allowing better use of pasture and forage of poor quality and would enhance other vital functions in the animal. In Cuba they are come using from principles of the decade of the 90 in the bovine cattle raising with good results, fundamentally in the dry season to mitigate their negative effects and are always prepared manually or semi-mechanized. For interests AZCUBA Sugar Group, developed the design and construction of an industrial plant for the manufacture of multinutritional blocks, as from the existing structure and equipment in a plant honey-urea-bagasse. In this work presents the elements of technological innovation introduced in the conversion of this plant, the general characteristics of the installation, operation aspects of the same, and the basic quality controls for the raw materials used and the product end. In addition presents the preliminary results obtained

with the use of the blocks produced in this plant, in different categories of cattle in areas of the CPA 26 de Julio, the Institute of Animal Science and companies selected by the Ministry of Agriculture.

Keywords: Multinutritional blocks, industrial production, cattle.

Introducción.

Los Bloques Multinutricionales (BMN) constituyen una alternativa para suplementar la alimentación de los animales, particularmente los rumiantes. Su función fundamental consiste en lograr una mayor eficiencia de la actividad ruminal, lo que les permite hacer un mayor aprovechamiento de los pastos y forrajes de baja calidad, además de estimular otras funciones vitales en los mismos, a partir del aporte de nutrientes deficitarios que a través de estos se suministran. Varios autores como; Leng (1986); Sansoucy (1987); Preston y Leng (1987); Ayala (1988) y Kunju (1989), han propuesto la utilización de Bloques Multinutricionales como una forma segura de garantizar el suministro de nitrógeno no proteico (NNP), minerales y otros micronutrientes a rumiantes en pastoreo durante la época seca.

Esta tecnología que se conoce en el mundo a partir de finales de los años 80 del siglo pasado y en la actualidad se fabrica en más de 30 países de todos los continentes, fundamentalmente en los de clima tropical. Su producción ha sido fundamentalmente de forma manual, aunque también se han producido de forma semi-mecanizada. Se componen básicamente de melaza, urea, sales minerales, fibras u otros materiales con aporte energético o protéico y un aglomerante que generalmente en Cuba es hidróxido de calcio. También se le pueden adicionar vitaminas o medicamentos en dependencia de las necesidades de los rebaños u objetivo que se persiga. Se elaboran de forma compacta para que su consumo sea de forma lenta y autorregulable. Se conocen más de 20 formulaciones de bloques, las cuales se elaboran teniendo en cuenta las deficiencias nutritivas de los suelos, las categorías de animales y sus propósitos, la época del año y la disponibilidad de pastos, entre otros elementos.

La producción de bloques multinutricionales en Cuba, como suplemento en la alimentación de bovinos, tiene sus antecedentes productivos en los inicios de la década de los 90 del pasado siglo. Llegaron a existir 28 plantas semimecanizadas con trompo de concreto para el mezclado y prensas hidráulicas para la compactación, en el sistema productivo del Ministerio de la Agricultura y también algunas entidades productivas del Ministerio del Azúcar desarrollaron pequeñas producciones locales. Fue una producción poco controlada a nivel de país que posteriormente con las limitaciones para el uso de la miel se extinguió a finales de los años 90 y principios de la década del 2000. Solo en el Instituto de Ciencia Animal (ICA) permaneció la práctica de producir bloques multinutricionales con fines de investigación y desarrollo, y en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), específicamente en la Estación Cuba 10, se construyó a mediados de los 90 una planta semi industrial con capacidad para 3 toneladas al día con iguales fines, la cual se ha mantenido produciendo y comercializando bloques para empresas ganaderas del territorio, principalmente en la época de seca.

A pesar de los indiscutibles resultados de la suplementacion en la dieta bovina en Cuba con bloques multinutricionales, fundamentalmente en los más de 150 días de seca de los meses de noviembre a abril, con la escasez y baja calidad de los pastos en los potreros durante ese periodo, ha sido una producción preterida por más de 15 años por diversas razones. La ingestión del bloque puede aumentar hasta tres veces en la estación seca, al recibir un alimento base muy deficiente en nitrógeno según plantean Ricca y Combellas (1993).

En el contexto actual del país con una producción ganadera deprimida por la no suficiente disponibilidad de alimentos, motivado por los altos precios de los concentrados proteicos y la baja calidad de los pastos

agravada con los efectos negativos del cambio climático, y ante la necesidad de recuperar la producción de leche y carne con destino a la alimentación del pueblo, se ha convertido en un objetivo primordial buscar todas las alternativas posibles de alimentación de la masa ganadera de la nación, y entre ellas figura nuevamente la suplementacion con bloques multinutricionales ya que es una forma efectiva de aportar un grupo de nutrientes deficitarios en la alimentación de nuestros animales.

Dando respuesta a tal necesidad, se desarrolló una tarea de innovación tecnológica cuyo objetivo fue desarrollar una planta para la producción industrial de bloques multinutricionales en áreas del Central Azucarero Manuel Fajardo del Grupo Azucarero AZCUBA, con destino a la masa ganadera del territorio.

Materiales y métodos.

Para construir la planta industrial de bloques multinutricionales, se utilizaron las instalaciones existentes en una antigua planta de miel-urea bagacillo, ubicada en el "Central Azucarero Manuel Fajardo" de la provincia Mayabeque adscrito al Grupo Azucarero AZCUBA, permitiendo esto que se pudieran aprovechar fundamentalmente sus estructuras y parte del equipamiento existente.

Se modificó e instaló un mezclador abierto con sinfín de paletas que se llevó a una capacidad de 520 kg de carga, y se construyeron una tolva receptora de mezcla con capacidad de 600 kg de producto, un trasportador con sinfín de alabe continuo, y una prensa hidráulica horizontal automatizada de 0-150 kg/cm² de presión. Además se adquirió un mezclador con sinfín de doble cinta invertida de acero inoxidable con capacidad para 120 kg para el mezclado de sales, y una pesa de báscula de 0-150 kg. Para desarrollar estos trabajos se contrato una brigada especializada de paileros y soldadores, y varios especialistas de automatización del Grupo de servicios a la industria azucarera (ZETI).

Las materias primas empleadas fueron suministradas por el central azucarero, algunas provenientes del propio proceso productivo del central y otras adquiridas de suministradores externos.

Los análisis de laboratorio se desarrollaron en el laboratorio del central azucarero Manuel Fajardo y las pruebas de dureza se realizaron con un equipo de medir resistencia a la deformación de escala 0-50 N/m².
Para desarrollar las pruebas de producción y puesta en marcha de la planta, la dirección del central azucarero creó una plantilla de trabajadores y técnicos, los cuales fueron debidamente capacitados en la tecnología de producción de bloques multinutricionales.

Las pruebas de alimentación con animales se desarrollaron en el cebadero de toros del propio central, en la Cooperativa de pequeños Agricultores CPA 26 de Julio de Quivicán, en el Instituto de Ciencia Animal (ICA), y en otras 4 empresas ganaderas del territorio pertenecientes al Ministerio de la agricultura.

Resultados y discusión.

I. Importancia del bloque como suplemento alimentario.

El Bloque Multinutricional es un suplemento alimenticio, balanceado en forma sólida que facilita el suministro de diversas sustancias nutritivas de forma lenta y sostenida, cuyo papel principal es suministrar nitrógeno fermentable para mejorar el rumen, ya que regula el nivel de amoníaco de éste y permite incrementar la población de microorganismos del mismo, esto conduce a lograr más eficientemente la degradación de la fibra, con la menor degradación posible de la proteína que entra al

rumen. Ambos procesos estimulan el consumo del alimento base con efecto beneficioso para el estado energético del animal (Preston y Leng, 1990).

Principios nutricionales para la utilización de los BMN

- ✓ Nutrir a los microorganismos del rumen a fin de satisfacer sus requerimientos básicos en términos de nitrógeno, energía y minerales.
- ✓ Emplear nutrientes simples para obtener este fin tales como:
  - nitrógeno no proteico (NNP), ejemplo, urea.
  - carbohidratos solubles de rápida degradación, ejemplo, la sacarosa contenida en la melaza.
  - sales minerales con macro y micro elementos.

Resultados esperados al aplicar estos principios desde el punto de vista nutricional.

- Suministrar a los microorganismos del rumen de modo continuo y espaciado durante el día, pequeñas cantidades de los nutrimentos esenciales para su adecuado funcionamiento
- Corregir las deficiencias nutritivas de los pastos, forrajes y residuos de cosechas de cultivos tropicales.
- Optimizar la síntesis ruminal de proteína microbiana y corregir el desbalance energía / proteína del animal.
- Incrementar la digestión y consumo de los forrajes y mejorar la reproducción, productividad y salud de los animales.

II. Innovaciones tecnológicas para la construcción de la planta.

Para construir la planta primeramente se conceptualizó un diseño que cumpliera con los requerimientos tecnológicos para la producción de los bloques multinutricionales, y que se pudiera adaptar a la planta existente en de miel-urea-bagacillo, de cual se aprovecharían su estructura y algunos de sus componentes. Una vez cumplido este primer paso fue necesario construir, transformar o adquirir algunos equipos que respondieran al flujo tecnológico del proceso para ubicarlos en los niveles operacionales los cuales describimos a continuación.

1. Se construyó una tolva receptora de fibra, con capacidad para 250 kg, habilitada con un descolmador y un sinfín dosificador en su fondo que alimenta la misma al mezclador principal.

2. Se adquirió un mezclador de sales para lograr la mezcla inicial de estas y que su descarga coincidiera con la de la fibra, para que al llegar al mezclador principal ambas fracciones, también llegaran con una mezcla previa y adecuadamente dosificada, para lo cual se hicieron los requeridos ajustes de velocidad en los sinfines de entrega de ambos productos.

3. Se ubicó una pesa de báscula para efectuar el pesaje de todas las sales y materias primas de acuerdo a las cantidades establecidas en las formulaciones con que se trabaje.

4. Se habilitó un área para el almacenamiento temporal de las sales a emplear en el tercer nivel operacional de la planta, de forma que se facilitara el suministro de las mismas al proceso.

5. Se transformó un mezclador abierto de sinfín continuo, a sinfín de paletas, con un diseño de las mismas que permitió una adecuada mezcla de los productos. Este mezclador además fue dotado de una tolva de descarga para la cal y un tubo longitudinal perforado para la descarga de la miel. Atendiendo a la capacidad del tanque de suministro de miel ya existente, se ajustó este mezclador a una capacidad 520 kg de carga con un 60% de llenado.

6. Se construyó una tolva receptora de mezcla, debajo de la cabeza de descarga del mezclador principal con un sinfín transportador en su fondo para alimentar la prensa hidráulica. Esta tolva tiene la función de no retener la mezcla una vez concluido el tiempo adecuado en el mezclador, puesto que continúa endureciéndose.

7. Se construyó una prensa hidráulica con accionamiento automatizado para 2 a 3 bloques por minuto.

III. Características generales de la planta.

La planta se encuentra dividida por áreas de operaciones unitarias entre las que se encuentran; pesaje y dosificación, mezcla y compactación, las cuales se ubican en 3 niveles operacionales dentro de la estructura, aprovechando el diseño de la instalación base. Responde a un ritmo productivo típico de procesos discontinuos o batch, independientemente de que el prensado se realice forma continua por cada carga de mezcla y con ello la salida del producto terminado. Esto último responde a facilidades para la operación de la prensa y para garantizar la reproducibilidad de los parámetros de compactación.

En el tercer nivel, ubicado en la parte superior de la planta, se encuentran los almacenes de sales y otros ingredientes de carácter diario, la tolva receptora de fibras y/o sólidos voluminosos, el mezclador de sales minerales donde se realiza el premezclado de las mismas, la pesa de bascula, así como también se encuentra la caja dosificadora de la miel final procedente del tanque de almacenamiento que se encuentra cerca de la planta.

En el segundo nivel estructural se encuentra el mezclador principal donde se realiza el mezclado de todos los componentes de la formulación seleccionada, es decir, la premezcla de sales con las fibras y otras materias primas a emplear, la miel procedente del dosificador de este producto y la cal que será suministrada manualmente a través de un dispositivo que descarga la misma en el seno de la formulación. Este nivel es definitorio en el funcionamiento de la planta pues aquí se produce la masa de materiales que componen el bloque.

En el primer nivel se encuentra la prensa hidráulica diseñada para dar compactación al bloque, la tolva receptora de mezcla que recibe la carga proveniente del mezclador principal, la cual en su fondo dispone del sinfín de alimentación a la prensa y además se encuentra el área de almacenamiento temporal de los bloques para su maduración o secado el cual debe tomar de 36 a 72 horas como mínimo para alcanzar la dureza requerida. Se ubican también en este propio nivel la pizarra de fuerza, el elevador de carga para las sales y otros materiales sólidos, los tanques de miel final y las bombas de trasiego.

La carga típica para esta planta permite el mezclado de hasta 520 kg de ingredientes, los cuales se convierten entre 35 a 40 bloques multinutricionales de entre 13 a 15 kg cada uno, lo cual está condicionado a los tipos de materias primas empleados y sus densidades, pues las dimensiones del bloque siempre son de aproximadamente 25x25x25 cm.

La capacidad de producción potencial de la planta es de 1 t/hora, por lo que puede producir de forma operativa, teniendo en cuenta los demás procesos de carga y pesaje de materia primas y productos, aproximadamente 6.5 toneladas en turnos de 8 horas, lo que representa un 80% de su capacidad total.

La planta en su parte superior es techada, y tiene además paredes laterales en los niveles primero y tercero, en los cuales se trasiega y almacenan materias primas y producto terminado respectivamente.

IV. Diagrama de Flujo del Proceso.

En la Figura N° 1, aparece el diagrama de flujo del proceso donde se aprecian las operaciones unitarias mencionadas anteriormente, es decir, el pesaje, la dosificación, el mezclado y la compactación.

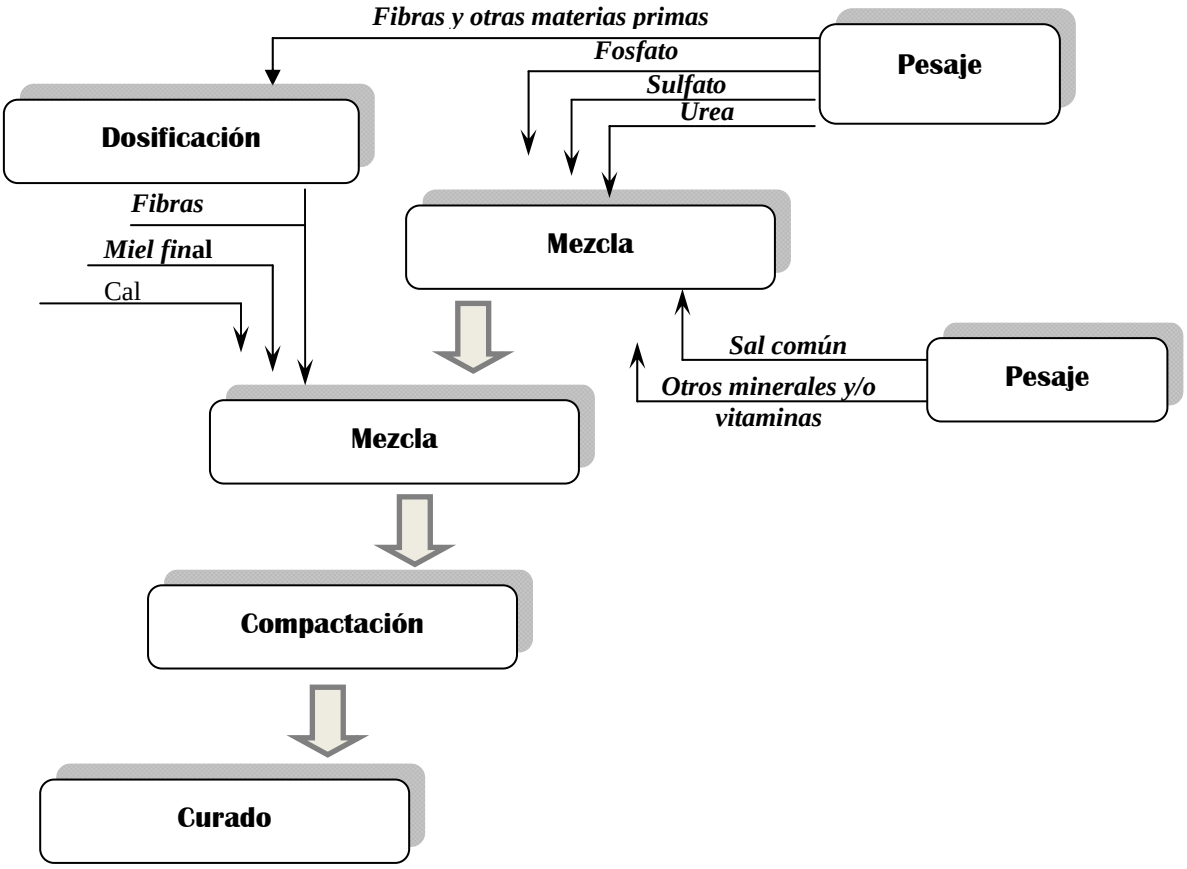


Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso.

La descripción de las operaciones unitarias es como sigue:

Pesaje de los ingredientes.

Para iniciar el proceso productivo partiendo de la formulación escogida, se realiza el pesaje de todos los ingredientes, empleando la pesa de bascula dispuesta en el tercer nivel, es decir se realiza el pesaje de los materiales fibrosos u otras materias primas seleccionadas las cuales se colocan en la tolva receptora-dosificadora de las mismas, se pesan también todas las sales y otros minerales a emplear los cuales se colocan en el mezclador-dosificador de sales, y se pesa la cal a emplear según formulación la cual se coloca en la tolva de descarga situada sobre el mezclador principal. El único ingrediente que no se pesa es la miel pues se controla su entrega a partir de tanque dosificador de la misma el cual esta aforado.

Dosificación de ingredientes.

Esta operación se realiza para que las materias primas solidas que son descargadas en el mezclador principal, ya lleguen con un nivel de mezclado de acuerdo a las proporciones establecidas en la formulación

Dosificación de las fibras y otras materias primas: Las fibras así como las demás materias primas de relleno que se van a emplear, una vez pesadas se colocan en la tolva de recepción de las mismas, la cual para su dosificación dispone en el fondo de un sinfín con regulación automática para la entrega en el tiempo calculado de estos materiales simultáneamente con la dosificación de las sales.

Dosificación de sales: La misma se realiza a partir de un mezclador provisto de tolva con un mecanismo de agitación en régimen turbulento, que descarga por una compuerta regulable de fondo, a través de cuya regulación se ajusta la entrega de las mismas al mezclador principal en de forma simultánea con la descarga de los ingredientes fibrosos.

Dosificación de miel: Se realiza a partir del tanque aforado dispuesto en el tercer nivel, que descarga al mezclador por medio de una válvula de cierre rápido colocada encima del mismo y conduce el producto a través de un tubo perforado dispuesto longitudinalmente a todo lo largo del mezclador, para que vaya humedeciendo la mezcla gradualmente.

Dosificación de la cal*:* La cal se coloca en un dispositivo de contención y descarga especialmente diseñado a este fin, situado en un lateral a lo largo del mezclador principal en el cual se vierte la cantidad establecida por formulación para el proceso. El dispositivo por accionamiento manual a través de una palanca, mueve la compuerta de descarga, permitiendo el paso de la cal al mezclador principal. Culminado el proceso, se vuelve a accionar la palanca y se cierra de la compuerta.

Mezcla de ingredientes

La mezcla de todos los ingredientes de la formulación se realiza dentro del mezclador principal con un diseño de sinfín de paletas, de escasa velocidad de transporte y potencial de mezclado elevado. Todos los componentes son añadidos en un orden establecido para garantizar la mayor eficiencia en el mezclado y homogeneidad.

Compactación.

Una vez terminado el tiempo establecido para el proceso de mezclado, el producto se descarga del mezclador hacia una tolva de fondo vivo, habilitada con un sinfín transportador para alimentar la prensa hidráulica, la cual trabaja de forma continúa hasta concluir la densificación de la masa anteriormente formulada en bloques de 13 a 15 kg de peso por unidad.

V. Diagrama de ingeniería de la planta.

En la figura N°2 se muestra el diagrama de ingeniería de la planta, donde puede observarse la disposición de los equipos principales en los cuales se desarrollan las operaciones unitarias que componen el proceso tecnológico, los que se describen según su número de leyenda en la tabla N°I.

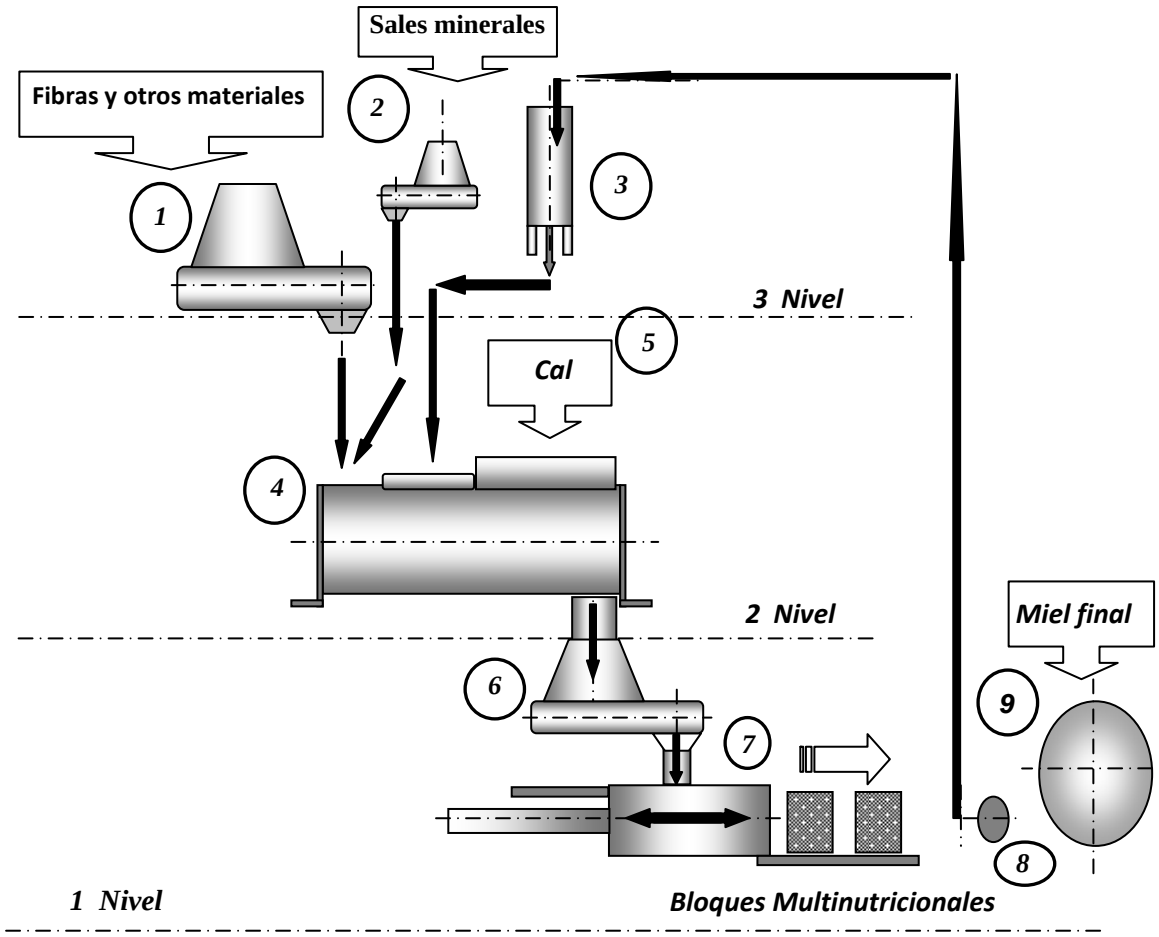


Figura 2. Diagrama de ingeniería de la planta

Tabla I. Equipos principales que componen la planta de BMN

No	Descripción de los equipos principales.
1	Tolva receptora de fibras y otras materias primas solidas
2	Mezclador dosificador de sales minerales
3	Tanque dosificador de miel
4	Mezclador principal
5	Dispositivo para la adición de cal
6	Tolva receptora de mezcla
7	Prensa hidráulica
8	Bomba de trasiego de miel
9	Tanque de miel final

VI. Aspectos generales de calidad de la producción de BMN en esta planta.

Se plantea por algunos autores como Birbe y otros.(1994) que entre los factores que más afectan la calidad del bloque se encuentran: la calidad de los componentes, el porcentaje de humedad en la preparación de la mezcla, la proporción de componentes y de aglomerantes, las características físicas de los componentes, el tipo de aglomerante usado, el mezclado y la compactación. Otros como Ferrer (1977); Conrad y Pastrana (1990) plantean que entre los factores que afectan la calidad de los bloques multinutricionales están el ° Brix (concentración en azúcares), el tipo y calidad del ligante (cemento, cal), el porcentaje de urea, tipo de relleno y la presión de la pasta.

Durante nuestra experiencia en la elaboración de bloques en esta planta pudimos constatar los siguientes factores que afectan la calidad del bloque:

- Calidad y características físicas de los componentes.
- Proporción de los componentes.
- Tipo de aglomerante usado.
- Eficiencia y calidad del mezclado.
- Grado de compactación.
- Manejo y conservación el producto.

En cuanto a las características de las materias primas a emplear para esta producción se ha establecido que las sales a emplear deben estar en estado sólido, sin aglomerados y secas (menos de 5 % humedad), la cal también debe estar en estado sólido, en forma de polvo sin terrones y seca (menos de 5 % humedad), la miel final debe tener una concentración superior a 85 grados brix, y el material de relleno debe tener una humedad inferior al 15 %. Bajo estos parámetros se ha logrado una conformación y compactación del bloque adecuada.

Referido a la proporción de los ingredientes esta se establece al realizar la selección de la formulación, lo cual es el primer elemento a tener en cuenta para la fabricación del bloque, pues a partir de ella se realiza el pesaje para el mezclado de las materias primas. Se determina a partir de las materias primas existentes, respetando los parámetros de inclusión establecidos para estos productos en atención a los aportes nutritivos de los mismos. La formulación se registra en el expediente de Control de Calidad y en el Certificado de producto.

El aglomerante utilizado en esta planta es el hidrato de calcio, el cual se emplea con menos de un 5% de humedad y con una pureza de más de 60 % de oxido de calcio. Cuando en la formulación también se emplean otros materiales que ayudan a la compactación entonces se ajusta la proporción de cal a emplear para que el bloque no quede demasiado duro. Es el caso de cuando se adiciona zeolita, o cuando se emplea cachaza en la formulación que ya en su composición tiene un nivel importante de cal.

La eficiencia del mezclado está condicionada de forma muy determinante por el diseño del sinfín mezclador y su velocidad de trabajo, pero también juegan un papel no menos importante las características de los ingredientes, el orden en que se mezclan, y el tiempo de este proceso. El orden de mezclado empleado en esta planta es; primeramente todos los sólidos como las fibras, las sales y el resto de los materiales voluminosos, después se aplica la melaza y por último se adiciona la cal. El tiempo de mezclado se determinó en atención a la eficiencia obtenida por diseño del equipo. Un tiempo inferior al establecido afecta negativamente la homogeneidad de la mezcla y su capacidad de compactación. Un exceso de mezclado favorece reacciones adversas, al liberarse mucho nitrógeno en forma de amoniaco gaseoso debido a la

reacción entre la cal y la urea, lo cual es un efecto no deseado pues lo que se trata es de preservar el nitrógeno no proteico en el producto aportado fundamentalmente por la urea. En la elaboración de bloques se han llevado a cabo muchos experimentos que involucran desde la calidad de los componentes hasta la naturaleza de los mismos, incluyendo la secuencia de mezclado, tratando siempre de utilizar procedimientos sencillos, de fácil realización en condiciones de campo (Sansoucy, 1987).

El grado de compactación del bloque es un elemento de suma importancia para lograr un producto de óptima calidad. De esta depende entre otras cosas el consumo que el animal hace del mismo. Sansoucy (1986) y Habib y otros (1991) plantean que el consumo del bloque se ve afectado principalmente por su dureza, la composición de la dieta (porcentaje de proteína cruda del forraje consumido) y el contenido de urea de la misma en animales estabulados. Un bloque poco compactado puede favorecer un consumo excesivo por el animal, y hasta llegar a provocarle una intoxicación por exceso de ingestión de urea si realiza ese consumo en un tiempo relativamente corto, por el contrario un bloque excesivamente compactado y duro hace su consumo sea mínimo y no se logren los efectos deseados. El bloque con la compactación requerida permite que el animal al lamer el mismo atraído por la palatabilidad de la miel y la urea, realice un consumo lento y sostenido de los nutrientes contenidos en él y que de igual forma lleguen estos hasta los microorganismos del rumen, obteniéndose el efecto deseado. El bloque obtenido en esta planta registró densidades en un rango de 0.83 g/cm³ - 0.96 g/ cm³, coincidiendo con lo reportado por Birbe y otros (2001).

El bloque una vez producido y transcurridas de 24 a 72 horas de secado, debe manipularse con cierto cuidado para evitar se rompa por impactos fuertes al realizar su trasiego hasta el lugar de empleo, de igual manera debe almacenarse para su conservación el lugares frescos y secos, pues el exceso de humedad y el calor deterioran sus cualidades químicos-físicas y favorece la aparición de hongos sobre su superficie.

Para garantizar los requisitos indispensables de calidad en cuanto al proceso productivo, se creó un sistema de modelos y registros donde se asientan los parámetros establecidos de calidad de las materias primas, composición de la formulación y producción terminada que se lleva por lotes de productos. También se escribieron los procedimientos de operación y todo esto compone un manual de calidad elaborado a estos efectos para la capacitación, preparación y operación del personal de la planta.

VII. Pasos para la operación de la planta.

Las operaciones para poner en funcionamiento la planta tienen un orden de ejecución, el cual permite cumplir con la tecnología establecida, y garantizar los aspectos de calidad de cada una de las operaciones unitarias que conforman el proceso productivo. A continuación se describen de forma general el oren de los pasos a ejecutar.

1° Se carga todo el sistema de miel y se llena el tanque dosificador (260 Kg).

2° Se pesan los componentes fibrosos a emplear según proporciones establecidas en la formulación y se depositan en el colector de fibra (generalmente entre 20-25 % de la carga).

3° Se pesan las sales a emplear según formulación, se depositan en el mezclador de sales y se pone en funcionamiento el mismo durante unos minutos para lograr un mezclado previo de las mismas.

4° Se carga la tolva de suministro de cal situada encima del mezclador con la cantidad predeterminada de la misma.

5° Una vez todas las materias primas situadas en sus respectivos depósitos, se pone en funcionamiento el sinfín de descarga de la fibra simultáneamente con el de las sales, de modo que todos los elementos sólidos se descarguen primero en el mezclador principal y se inicie la mezcla de ellos.

6° Una vez que las fibras y las sales han alcanzado un nivel de mezclado inicial, se abre la válvula de descarga de la miel para incorporar esta materia prima y se continúa el proceso de mezclado por un tiempo establecido en el que se logra una homogenización satisfactoria de la misma.

7° Posteriormente sin detener el mezclador se abre la compuerta de descarga de la cal y se espera nuevamente unos minutos hasta alcanzar la homogenización de todos los componentes en la mezcla. El cambio de coloración del producto de forma uniforme por el efecto de la mezcla de la melaza con la cal es un indicador visual de la homogenización alcanzada.

8° Se procede a la descarga del producto a la tolva receptora y se comienza la alimentación del mismo a la prensa a través del sinfín situado en su fondo.

9° Finalmente se pone en funcionamiento automático la prensa que saca un bloque cada 30 segundos aproximadamente.

10° Los bloques son recogidos por los operadores y situados sobre en el área de almacenamiento y secado**.**

VIII. Formulaciones de bloques producidos en esta planta.

Durante los primeros 15 meses de funcionamiento de la planta se han producido bloques con diversas formulaciones, según solicitud de las empresas ganaderas del Grupo Azucarero AZCUBA y el Ministerio de la Agricultura que han estado empleándolos. Las distintas formulaciones durante el proceso de elaboración mostraron diferencias en el comportamiento tecnológico del proceso de mezclado y compactación dada la naturaleza químico- física de sus componentes, lo que coincide con Costales y Cepero (2000) que plantean que tecnológicamente cada una de las variantes o formulaciones que se emplean presentan determinada influencia sobre las características del bloque desde el punto de vista tecnológico y además en su elaboración.

En la tabla II se describe la composición de estas formulaciones.

Tabla II. Formulaciones de BMN producidos en la planta Fajardo.

Materias primas. %	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Melaza	50	50	50	50	50	50	50
Bagacillo	20		10				
Afrecho de trigo				15		10	
Pulidura de arroz					15		10
Cachaza		23	16	10	10	10	10
Cal	12	10	10	10	10	10	10
Urea	10	10	10	10	10	10	10
Fosfato de calcio	2	3	3	4	4	3	3
Sulfato de amonio	1	1	1	1	1	1	1
Sal común.	3	3				3	3
Zeolita	2					3	3

IX. Pruebas de alimentación en bovinos de varias entidades ganaderas del país.

Prueba de comportamiento en toretes suplementados con BMN en la CPA 26 de Julio

Cantidad de animales: 44 toretes. De ellos 22 suplementados y el resto sin suplementar.
Sistema Productivo: Semiestabulado con pastoreo en pasto natural en horario de 7am -2pm.
Alimentación en nave: Forraje de caña de azúcar, King-grass y forraje de maíz.
Tiempo de prueba: 90 días. Febrero – Mayo

Tabla III. Prueba de suplementacion con BMN en toretes de la CPA 26 de Julio.

Observaciones	Sin Suplementar	Suplementado con BMN
Peso Inicio (Kg)	362	348
Peso Final (Kg)	392	396
Ganancia de peso en el periodo (Kg)	30	48
Ganancia de peso Media Diaria (GMD) (g)	331	536
Consumo promedio de BMN (g)	-	704
Consumo promedio de forraje (Kg)	19.8	21.3
Diferencia en la GMD (g)	-	205

Como puede observarse en la tabla III, la ganancia media diaria de peso (GMD) fue superior en un 62 % en el grupo suplementado con respecto al grupo control, con un valor promedio de 205 g/animal/día por encima. El consumo de bloques promedio obtenido de 704 g/animal /día, coincide con el reportado por Bheekhee (1999) en pruebas realizadas en Mauricio.

Prueba de comportamiento en vacas en ordeño suplementadas con BMN en la CPA 26 de Julio.

Cantidad de animales: 35 vacas. De ellas 18 suplementadas y el resto sin suplementar.
Sistema Productivo: Semiestabulado con pastoreo en pasto natural en horario de 8am -4pm.
Alimentación en corraleta: Forraje de caña de azúcar, king-grass, forraje de maíz, y residuos de centro de acopio de caña.
Tiempo de prueba: 90 días. Febrero – Mayo.

Tabla IV. Prueba de suplementacion con BMN en vacas en ordeño e la CPA 26 de Julio.

Observaciones	Sin Suplementar	Suplementado con BMN
Consumo Promedio de BMN (g/d)	-	610
Producción de leche (L/vaca/día)	4.1	4.9
Diferencia en la producción de leche (L)	-	0.8

Como se observa en la tabla IV, la producción de leche en el grupo suplementado fue superior en un 20% con respecto al grupo sin suplementar.

Principales resultados obtenidos en la evaluación de los BMN en 6 empresas ganaderas del MINAGRI y el ICA. (Reporte de evaluación del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) marzo 2013)

Periodo de evaluación: un año.
Formulaciones evaluadas: BMN utilizando como voluminoso solido: bagacillo solo, bagacillo y cachaza a partes iguales, cachaza y afrecho de trigo a partes iguales, con el resto de los componentes en igual proporción según formulaciones de la tabla II.
Resultados de la evaluación.

- La inclusión de cachaza mejoró el consumo con respecto al obtenido con el bloque donde se utilizo el bagacillo solo como material fibroso.
- Los mejores consumos de BMN se obtuvieron cuando en la formulación se empleó el afrecho de trigo con cachaza a partes iguales.
- En toros de ceba se obtuvieron promedios de consumos de BMN entre los 550 a 700 g/animal/día y ganancias entre los 180 a 220 g/animal/día por encima del control.
- En vacas lecheras se reflejaron consumos que oscilaron de 100 a 614 g/animal/día y niveles de producción de 0.2 a 0.9 l/animal/día superiores al control.
- Se observó una diferencia en el consumo y comportamiento en función de la época del año y la categoría animal.
- En la época lluviosa las respuestas de los animales no fue significativa, principalmente en las vacas lecheras.
- En hembras lecheras en desarrollo se reflejaron los mejores consumos de BMN en ambas épocas del año.

Como puede apreciarse en estos resultados el consumo del bloque por los animales y las respuestas productivas a la suplementacion con él, puede variar en dependencia de varios factores entre los que se encuentran, la calidad del bloque, la composición de la dieta base, la categoría del animal, el manejo de los mismos y la estación del año con su influencia sobre la calidad de los pastos y forrajes. Autores como; Becerra y David (1990), Chacón (1991) y Habib y otros (1991) plantean que el manejo de los pastos y los animales son determinantes en las respuestas, puesto que el efecto de este tipo de suplemento es variable y depende fundamentalmente de la calidad y disponibilidad de la dieta base.

X. Factibilidad económica de la inversión en la Planta de BMN Manuel Fajardo.

Para evaluar la factibilidad de esta planta se desarrollo un estudio cuyos principales indicadores se muestran en la tabla V.

Tabla V. Principales indicadores para la evaluación de la inversión.

Valor de la inversión (en pesos, moneda total)	153,492.65
Período de recuperación (años)	1,5
VAN (12%) (miles de pesos)	1,98
TIR (%)	41,77
RVAN (12%)	15,74

Como puede apreciarse en esta tabla V, todos los indicadores fundamentales para la evaluación de la inversión son positivos, aun cuando el precio de venta se determino con un margen de utilidad de solo un 10% por encima del costo del producto. La inversión se recupera en un año y medio.

Conclusiones

- La planta de BMN construida a partir de las innovaciones tecnológicas realizadas en una instalación de miel-urea-bagacillo de la "Empresa Azucarera Manuel Fajardo", constituye la primera instalación para estos fines a escala industrial del país, con una capacidad para 1,2 t/h de bloques.

- Con la producción operativa promedio de esta planta de 6.5 toneladas en un turno de 8 horas se puede beneficiar a aproximadamente 18000 animales diariamente, con un consumo promedio de 360 g/animal/día.

- En las pruebas de alimentación con los bloques producidos en esta planta se observó mejoras en los indicadores productivos de toros de ceba, vacas lecheras, y hembras lecheras en desarrollo, específicamente en la ganancia media de peso de los animales y en la producción de leche.

- Se observaron los mejores resultados con la suplementacion con BMN en el periodo de seca comprendido de noviembre a abril.

- El estudio de factibilidad para la construcción de este tipo de plantas da resultados positivos en todos sus indicadores.

Bibliografía:

1. Ayala, A. (1988), Criterios para la suplementación de bovinos en el trópico. Documento Interno. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Mérida, México. pp. 3
2. Becerra, J., David, A. (1990), Livestock Research for Rural Development. 2, 8-14
3. Bheekhee, H. (1999), Urea molasses multinutrient blocks (UMMB) as a feed supplement for ruminants. Food and Agricultural Research Council, Réduit, Mauritius.
4. Birbe, B., E, Chacón., A, Taylhardat., J, Garmendia., D, Mata. (1994), Aspectos físicos de importancia en la fabricación y utilización de bloques multinutricionales. Folleto del Curso sobre Bloques Multinutricionales. I Conferencia Internacional. UNELLEZ. pp. 1-14.
5. Birbe, B., Herrera, P., Barazarte, R., Colmenares, O., Hernández, M., Martínez, N. (2001),. Revista Unellez de Ciencia y Tecnología. Volumen Especial, 12-17.
6. 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. pp. 1-24.
7. Conrad, J., Pastrana, R. (1990), Amonificación, usando urea para mejorar el valor nutritivo de materiales fibrosos. ICA Informa. Colombia. pp. 5-11.
8. Costales, Sotelo., R, Cepero., Mazo, R. (2000), Proyecto Técnico Planta para la Producción de Bloques Multinutricionales. ICIDCA. Cuba.
9. Ferrer, D. (1977), Apuntes de mecánica de suelos (compactación de suelos). Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Departamento de Ingeniería Agrícola. Maracay, Ven. (Mimeo.). pp 81-114.
10. Habib, G., A, S, Basil., S, Wahidullah., G, Jabbar., Ghufranullah. (1991), Isotope and Related Techniques in Animal Production and Health. IAEA. Viena, Austria. pp. 133-134.
11. Kunju G. (1989), Urea molasses block a feed supplement for ruminants. National Dairy Development Board, Anand, India. 1989

12. Leng, R A. (1986), Drought-Feeding Strategies - Theory and Practice. Penambul Books, Armidale NSW, Australia. pp. 34-46.
13. Preston, T R., Leng, R A. (1987), Matching Ruminant Production Systems with Available Resources in the Tropics and Subtropics. Penambul Books, Armidale, Australia.
14. Preston, T R., y Leng R A. (1989), Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles. Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico. Circulo Impresores Ltda., Cali. Colombia. pp. 42-49.
15. Ricca, R., J, Combellas. (1993), Llivestock Research for Rural Developmlent. 5, 31-38.
16. Sansoucy, R. (1987), Documento presentado al Taller Internacional de la Fundación Internacional para la Ciencia sobre Melaza como Recurso Alimenticio para la Producción Animal, Universidad de Camagüey, Cuba, julio 13-18. Pp. 16
17. Sansoucy, R. (1986), Revista Mundial de Zootecnia. 57, 40-48.

Energía renovable

Azúcar, alcohol y energía en Brasil

A. Marcos Furco
Odebrecht Agro Industrial

RESUMO:

Ate a década de 70 as usinas do Brasil utilizavam combustível suplementar, lenha ou "óleo pesado," para atender seu consumo de vapor de processo e muitas vezes também adquiriam parte da energia elétrica consumida.

Neste contesto , as caldeiras eram de baixa pressão, por vezes inferior a 20 bar/290 ºC, queimavam em "deposito" e pouco uso de recuperadores ; todos acionamentos acima de 300Hp utilizavam turbinas a vapor em simples estagio e o consumo de vapor de processo era superior a 550 kg/ton de cana.

A mudança de tal situação, teve inicio com a proibição pelos Governo do uso de" óleo-pesado" nas usinas e pela escassez de lenha nas regiões sucroalcoleiras.

Inicia-se a busca de caldeiras de maior eficiência , com queima em suspenção , maior pressão e temperatura, sendo seguida pela substituição gradativa dos acionamentos por turbinas por motores elétricos , no processo de eletrificação e a redução do consumo de vapor no processo , permitindo a instalação de turbinas de condensação, e por consequência a sobra de energia e sua exportação.

As usinas ascendem a inovações cada vez maior pelo aumento da valorização da energia, chegando ao atual estagio , operando com 400 Kg vapor/ton de cana; eletrificação total dos acionamentos , e caldeiras operando a 110bar/540 oC , atingindo patamares de 100KW/ton de cana, consumindo-se 30% e exportando os 70% restantes.

No momento vivemos um outro degrau de desenvolvimento nesta área, substituindo-se as grelhas de caldeiras por "leito –fluidizado" ; recolhendo-se a palha junto a cana, para queima ; inserindo-se turbinas com ciclo regenerativo e reduzindo para 360/370 kg vapor /ton de cana o consumo de processo.. Estas inovações somadas permitiram elevar a geração a patamares próximos de 150 Kw/ton de cana , com exportação próximo aos 110 Kw/ton de cana.

Não obstante entendemos que cada planta deve procurar seu ponto de equilíbrio, levando em consideração uma seria de fatores, especialmente o valor da energia vendida.

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA CAÑERA POTENCIAL, CASO DE ESTUDIO.

ESTIMATION OF SUGARCANE BIOMASS POTENTIAL, CASE OF STUDY.

MSc.Lizet Rodríguez-Machín[1]
Dr. Raúl A. Pérez-Bermúdez[1]
Ing. Diubel H. Bretón-Glean[2]
Dr. Luis E. Arteaga-Pérez[3]
Dr. Víctor S. Ocaña-Guevara[1]
MSc. Bárbaro F. Medina-Álvarez [1]

[1]Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales, Facultad Ingeniería Mecánica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Carr. a Camajuaní km 5,5; Santa Clara, C.P.54830, Cuba.
[2]Unidad Empresarial de Base Ferrotaller "9 de Abril".
[3]Facultad Química y Farmacia, UCLV.
lizetr@uclv.edu.cu
raulito@uclv.edu.cu
luiseap@uclv.edu.cu
victors@uclv.edu.cu
bfmedina@uclv.edu.cu

RESUMEN

En la actualidad los combustibles fósiles constituyen la fuente de energía más empleada para generar electricidad. Sin embargo, el panorama energético de la biomasa va tomando un mayor auge ante el vaticinado agotamiento de los mismos, el impacto ambiental que representan y la seguridad energética asociada. El propósito de la investigación es aplicar las ecuaciones para la estimación de la biomasa herbácea potencial al caso específico de la biomasa cañera (bagazo) en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Héctor Rodríguez y la vez permita conocer su disponibilidad con fines energéticos. Esta unidad emplea el bagazo obtenido en el proceso industrial para la generación de calor y de electricidad. Para la estimación de la biomasa se aplicó, al caso de estudio, el método de evaluación de la relación residuo producto (RRP), el valor calculado, 0.22, está dentro del rango de los reportados en la literatura. Sin embargo se recomienda emplear un mayor número de datos para calcular una RRP más representativa. Se estimó el valor de la biomasa potencial en el central azucarero en el período comprendido entre 2007 y 2012. El potencial bruto máximo calculado permite establecer el límite superior a alcanzar en cuanto a potencial de biomasa se refiere en el proceso industrial pero no tiene en cuenta la totalidad de caña producida en el proceso agrícola.

Palabras Claves: Bagazo, Potencial, Estimación, Relación Residuo Producto.

ABSTRACT

Today fossil fuels constitute the source of energy more used to generate electricity. However the biomass energy panorama is taking a peak at the predicted depletion of them, representing environmental impacts and

energy security associated. The aim of this research is to apply the equations for the estimation of potential herbaceous biomass to the specific case of sugar cane biomass (bagasse) in the Base Business Unit (BBU) Héctor Rodríguez and the same time allows knowing their availability for energy purposes. This unit uses the bagasse obtained in the industrial process for the generation of heat and electricity. For biomass estimation was applied to the case study, the method of evaluation by residue-to-product ratio (RPR) to the case of study, the calculated value, 0.22, is within the range of those reported in the literature. However it is recommended to use a greater number of data to calculate a more representative RPR. It was estimated the value of the potential biomass in sugar mill in the period between 2007 and 2012. The maximum raw potential calculated sets an upper limit about potential biomass concerning to the industrial process but does not take into account the totality of cane produced in the agricultural process.

Key words: Bagasse, Potential, Estimation, Residue-to-Product Ratio.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los combustibles fósiles constituyen la fuente de energía más empleada mundialmente para generar electricidad, según datos publicados, la energía que demandó esta actividad provino en un 67% de los combustibles fósiles, en un 20% de fuentes energéticas renovables y en un 13% de energía nuclear *(Exxon Mobil, 2010)*.

En Cuba, el suministro total de energía primaria ha sido dominado por el petróleo y la biomasa, en la Tabla I se muestran los valores de la producción nacional de energía primaria en el 2010 en la generación de electricidad. Los combustibles fósiles representaron el 81% de la energía consumida para este fin, el restante 19% de las fuentes energéticas lo constituyeron la biomasa con un 15% y otras fuentes renovables de energía (FRE) incluyendo la hidráulica, eólica y solar *(ONE, 2010)*.

Tabla I: Producción nacional de energía primaria en el 2010.

Producción nacional de energía	**Valor**
Petróleo, millones t	3 024[(a)]
Gas natural, millones m^3	1 072
Madera, millones m^3	1 141
Productos de la caña de azúcar, millones t	3 488
De ello bagazo de caña de azúcar, millones t	3 027

(a) Incluyendo mezcla de otros derivados que son añadidos al petróleo para disminuir su viscosidad.

Fuente: Adaptado del Anuario Estadístico de Cuba 2010 *(ONE, 2010)*.

La biomasa representa entre el 12-15% de la energía que se consume actualmente a nivel mundial y el 35% del consumo en los países del tercer mundo (*Pérez-Bermúdez, 2005)*. El 64% de la energía proveniente de la biomasa se produce a partir de la madera y sus residuos, seguido por los residuos sólidos urbanos (24%), los residuos agrícolas (5%) y los gases de vertedero (5%) (*Demirbas, 2007; Demirbas, 2007a; Balat, 2008)*. Se han establecido estrategias para enfrentar las consecuencias del uso de los combustibles fósiles como fuentes principales de energía primaria entre las cuales están las de ahorro de energía que incluyen: aumento de la exergía del portador de energía y el uso de FRE como la solución más lógica para esta problemática.

Del Anuario Estadístico de Cuba, se tiene que las principales fuentes de biomasa para la producción de energía se encuentran concentradas en el bagazo de caña (incluyendo la paja de caña) y la leña; representando estas alrededor de 1 249 700 toneladas equivalentes de petróleo (TEP), 99.6% del total *(ONE, 2010)*. Su utilización sostenible para la generación eléctrica puede contribuir a desarrollar un sistema energético distribuido con participación significativa de las FRE e impactos positivos en el entorno y la economía local (*Babu y Chaurasia, 2003)* .

Típicamente, cada tonelada métrica de caña de azúcar procesada rinde 0.11 toneladas métricas de azúcar, mientras genera también 0.27 toneladas métricas de bagazo y 0.25 toneladas métricas de residuos agrícolas. En la Tabla II se muestran los principales residuos del procesamiento de la caña de azúcar incluyendo el bagazo y los desechos de la caña de azúcar 'RAC'.

Tabla II. Indicadores para el cálculo de la biomasa cañera (*Curbelo y otros, 2011).*

Biomasa	**t /t caña molida**
Bagazo + RAC en el central azucarero	31.9%
RAC dejado en campo	16.7%
RAC separados en centro de limpieza	11.0%

El programa cubano, respecto a las FRE, contempla el incremento de la generación de electricidad con bagazo y otros residuos cañeros y la disminución de sus consumos a corto plazo, llegando a autoabastecerse de electricidad y entregar excedentes a la red, así como, priorizar, en función de su potencialidad y significación estratégica, el estudio y desarrollo de las nuevas tecnologías tendientes a elevar al máximo la generación de electricidad.

La disponibilidad de la fuente apropiada, aspectos económicos relacionados con la cosecha, almacenamiento, transportación y las opciones tecnológicas para convertir el combustible, son elementos fundamentales para el éxito de un proyecto vinculado con el uso de la biomasa. Las principales razones del fracaso de proyectos energéticos de biomasa son los cambios en el suministro o la demanda de biomasa y los cambios en la calidad de la misma. Las evaluaciones de biomasa suelen responder a la necesidad de conocer la cantidad existente o utilizable del recurso. Estas deben servir para conocer el tamaño o capacidad de producción de energía de una zona, o para la toma de decisión de la ubicación de una planta (*Curbelo y otros, 2011)*.

Teniendo en cuenta que los autores del presente trabajo no han encontrado reportes, en Cuba, sobre la determinación de la relación residuo producto para el bagazo y su empleo en la estimación de la biomasa cañera potencial se llevó a cabo el presente trabajo para el caso de estudio de la UEB Héctor Rodríguez perteneciente al municipio Sagua la Grande, en la provincia Villa Clara.

El propósito del presente estudio es determinar la Relación Residuo Producto para el bagazo y aplicar ecuaciones para la estimación de la biomasa potencial (bagazo) al caso de estudio que permita conocer su disponibilidad con fines energéticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se han realizado numerosos estudios para evaluar la contribución de la biomasa al suministro de energía global, los mismos difieren significativamente en sus conclusiones. Las valoraciones de recursos más optimistas reportan un potencial futuro de bioenergía de tamaño similar, o aún mayor, que el consumo actual de energía primaria global. Sin embargo, también hay valoraciones de potenciales de bioenergía más bajos, que estiman para el año 2050 unos 47 EJ/año, casi diez veces menor que los estimados más altos de 450 EJ/año. Además, la demanda futura puede ser alta aún en ausencia de políticas dirigidas a mitigar el cambio climático. Por otro lado, la cantidad total de residuos de los sectores alimenticio y forestal son sustanciales en el contexto global, y se estima para el año 2100 un potencial de alrededor de 270 EJ/año (*Pérez-Bermúdez, 2005; Berndes y otros, 2003)*.

Las ventajas del uso de la biomasa para la producción de biocombustible se centran en el impacto positivo en las economías locales al completar el ciclo de producción comercialización y uso local. Además de la versatilidad para satisfacer demandas de diferentes servicios energéticos tanto en la producción de electricidad, calor y frío. La mayor complejidad radica precisamente en la necesidad de implementar todos los eslabones de la cadena tecnológica de producción de biomasa, conversión en biocombustible y cambios tecnológicos en los equipos de uso final (*Pyrolysis Final Report Part 2, 2012)*.

La conversión de estas biomasas permite la producción de tres tipos de biocombustibles:

Biocombustibles sólidos: Por ejemplo astillas de madera, briquetas, pellets, etc.

Biocombustibles líquidos: En este grupo se incluyen los productos de la pirólisis, el etanol y el biodiesel.

Biocombustibles gaseosos: Los más comunes son el biogás producto de la digestión anaeróbica de residuales orgánicos y el gas pobre o de madera obtenido a partir de la gasificación termoquímica de la biomasa.

Para la obtención de estos productos existen procesos de conversión de biomasa termo-química, biológica y mecánica. En el primer caso se emplean tres vías: la pirólisis, la gasificación y la combustión, en el segundo los productos se obtienen por fermentación o digestión.

Procedimiento de estimación de la biomasa potencial

En Cuba, se estima que la mayor cantidad de biomasa se encuentra tanto en los campos cultivados como en los que no se han explotado todavía, la otra parte se encuentra en las áreas protegidas, donde por cuestiones medioambientales y de patrimonio no es posible su utilización.

El país cuenta con una gran área disponible para la explotación de la biomasa, pero es necesario llevar a cabo el análisis para poder detectar dónde es que están ocurriendo las mayores pérdidas y cómo se están desaprovechando las áreas con que se cuenta para la explotación de los distintos tipos de cultivos.

Las evaluaciones de recursos son una parte fundamental en el estudio de viabilidad de una planta de biomasa, y ello requiere conocer bien las potencialidades de generación de biomasa según su naturaleza, sea ésta primaria o secundaria. Las evaluaciones de recursos deben permitir conocer los recursos potenciales y/o utilizables en una zona proporcionando información válida de acuerdo al nivel de detalle deseable. Las mismas deben servir para conocer el tamaño o capacidad de producción de energía de una zona, o para la toma de decisión de la ubicación de una determinada planta.

En la actualidad existen dos campos en los que se realiza la evaluación de la biomasa residual potencial y disponible, ellos son el agrícola y el forestal. A su vez, la biomasa agrícola se conforma en dos grupos: biomasa de cultivos herbáceos y biomasa de poda de cultivos leñosos. El estudio de evaluación se divide en tres partes:

Estimación de la biomasa potencial. La biomasa potencial es aquella que se genera o es posible generar en una zona.

Estimación de la biomasa disponible. La biomasa disponible es la parte de la biomasa potencial que es posible utilizar en unas condiciones determinadas.

Revisión y generación de resultados.

Los métodos de evaluación se presentan con relaciones RRS y RRP. La RRS es la relación residuo superficie y RRP es la relación residuo producto (*Berndes y otros, 2003)* . Los valores son sólo indicativos del potencial de residuos disponibles para su uso como fuente de energía. En general, la relación indica la cantidad de residuo disponible por cada tonelada de producto del cultivo (*Cooper y Laing, 2007).*

Las metodologías de estimación del potencial de biomasa se adecuan al tipo de biomasa, estas pueden ser: estimación de la biomasa residual agrícola herbácea, estimación de la biomasa residual agrícola leñosa y la estimación de la biomasa residual forestal. El objeto de estudio del presente trabajo se centra en la biomasa residual agrícola herbácea.

Determinación de la biomasa residual agrícola herbácea potencial

La cuantificación del residuo generado en la actividad agrícola se realiza por medio de relaciones que enlazan la producción de grano con la generación de biomasa, llamadas RRP. La utilización de la RRP es el método más extendido para la estimación de existencias de biomasa herbácea. Para cuantificar la biomasa

herbácea se parte de la superficie y el rendimiento por cultivo y se calcula la producción media de cultivo en un período de años, ver ecuación 1. Las relaciones RRP son muy variables, varían según la especie, la variedad, la temporada de cosecha y el tipo de maquinaria utilizada (*Hensley yotros, 2011)*.

$$Biomasa\ \ potencial = [\,PROMEDIO\ (\,Superficie \square \mathrm{Re}\,n\,\mathrm{dim}\,iento\ )\,] \square RRP \qquad (1)$$

Donde Superficie (ha), el Rendimiento (t/ha) y RRP: Relación Residuo Producto ($t_{residuo}/t_{cultivo}$).
La forma más usual de estimar el residuo es mediante el empleo de índices de superficie o del tipo residuo/producto. Para la estimación de estos índices se pueden utilizar varios métodos: muestreo previo a la cosecha, muestreo tras la cosecha y muestreo de la producción total de parcelas. Teniendo en cuenta que la biomasa cañera se encuentra dentro del grupo de biomasa herbácea en el presente trabajo se empleará el método que utiliza la RRP.
La metodología para la caracterización de la fuente que origina o genera la biomasa es a partir de datos estadísticos generales e información propias del sector de la actividad económica en estudio. Los datos se recopila y se presenta su distribución por región. Se determina la cantidad de desecho que se genera, se analiza la fuente y el nivel de confiabilidad de la información obtenida. Posteriormente se procede a extrapolar la información hacia el universo por región, con datos específicos si existen, si no se adoptan ciertas consideraciones que permitan evaluar la biomasa. A continuación se recopilan los datos de las propiedades físicas, químicas, termodinámicas y el calor específico del combustible de la fuente de biomasa para la estimación del potencial energético (*Fernández, 2010)*. El potencial se obtiene con la siguiente relación:

$$Potencial\ bruto = Biomasa\ disponible \square CEC \qquad (2)$$

Donde, la Biomasa disponible se da en (kg, m^3, ha/ tiempo) y CEC es el calor específico del combustible (J/kg, m^3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El caso de estudio, UEB Héctor Rodríguez, fue uno de los centrales que se mantuvo moliendo tras la depresión de la industria azucarera a principios del milenio, el mismo cuenta con 14 cooperativas agropecuarias con 12 711 ha destinadas a la producción agrícola de la caña de azúcar. Para la estimación de la biomasa cañera y su potencial tiene su esquema de generación compuesto por tres calderas de vapor, una de 25 t de vapor/h, marca Stirling de fabricación Norteamericana y dos Retal de 55 t de vapor /h, de fabricación nacional. Estas tienen como alimentación el bagazo obtenido en el proceso industrial y parte de la paja proveniente de la caña que no fue beneficiada completamente. El vapor directo de las calderas es de 1.8 MPa a 340 ^{o}C de temperatura como promedio, el cual alimenta a los turbogeneradores. El central cuenta con dos turbogeneradores de marca Kaluga, de fabricación Rusa, que generan una potencia de 4 MW cada uno. El vapor de escape, de una presión promedio de 0.11 MPa procedente de los turbogeneradores, se utiliza en los pre- evaporadores. El vapor de fuga de estos últimos, unido con el de escape de los turbogeneradores se emplea en los procesos tecnológicos (tachos) para la obtención de azúcar.

El central tiene una capacidad nominal de molienda de 4 600 t de caña/día, lo cual serían 191 t de caña/h, de donde se obtiene por estimación entre el 30 y el 33% de bagazo. El balance energético refleja que diariamente 6 t de bagazo/h quedan disponibles para otros usos, en el caso de este central, el excedente se vende a la Refinería Quintín Banderas. Esta unidad emplea 1 080 m^3 de leña para las diferentes pruebas de funcionamiento del equipamiento fabril y la arrancada de las calderas. La casa de bagazo es el lugar donde se almacena la biomasa cañera. La cual tiene una capacidad de almacenamiento de alrededor de 800 t de bagazo.

Para la determinación del potencial de biomasa, con fines energéticos, se recopilan los datos del comportamiento de las distintas unidades productoras de caña de azúcar pertenecientes a la UEB Héctor Rodríguez entre el periodo 2007 a 2012. A continuación se calculan los rendimientos de caña por área de tierra sembrada, así como las áreas destinadas al cultivo de caña. Con los valores promedio de los rendimientos de caña por área cultivada y el área destinada para la siembra de caña se obtiene la producción de caña, ver Tabla III.

Tabla III. Producción de caña en la UEB Héctor Rodríguez (2007 a 2012).

Año	**Producción de caña** (t. de caña)
2007	317 963
2008	396 046
2009	409 574
2010	338 210
2011	343 476
2012	391 543
Promedio	**366 135**

La estimación de la biomasa potencial en el central azucarero, desde el punto de vista estratégico, puede ser una herramienta eficaz con el fin de disponer con información valiosa que permita conocer la cantidad de bagazo disponible y poder realizar una planificación más acertada. Contando con las cifras de producción de caña en la UEB y los residuos generados, así como el área total de caña sembrada y los rendimientos de estas últimas bastará para saber el potencial con que se cuenta; en lo adelante se determinan los elementos mencionados anteriormente.

La UEB Héctor Rodríguez cuenta con un área destinada al cultivo de caña de azúcar de 12 711 ha promediada a partir de las últimas seis zafras. La industria azucarera está buscando alternativas para obtener un mayor rendimiento en las cosechas y lograr como meta mínima 35 t de caña/ha en cada unidad productora. Sin embargo, los residuos cañeros, paja y cogollo, no se aprovechan en su totalidad, en los campos queda una cifra a considerar. La media de los valores de humedad del bagazo en la unidad en estudio es de 49.44%, el valor se acerca al valor de 50% reportado en la literatura como promedio en el país (*Curbelo yotros, 2011)*.

Con el promedio de la superficie por el rendimiento y el valor de la relación residuo producto para el bagazo se puede calcular la biomasa potencial, partiendo de la ecuación 1. En la literatura se reportaron valores de RRP para el bagazo de 0.25 y 0.3 respectivamente (*Akgün y otros 2011; Hensley, 2011).* Los autores del presente trabajo determinaron el valor de RRP para bagazo de la caña de azúcar para el caso de estudio empleando para el cálculo la siguiente ecuación:

$$RRP = \frac{Generación\ de\ bagazo}{\text{Pr}oducción\ de\ caña} \square Humedad \qquad (3)$$

Donde la Generación de bagazo (t de bagazo), la Producción de caña (t de caña) y RRP es la Relación Residuo Producto (t de bagazo/ t de caña).

Para ello se recopilan los datos del comportamiento de las distintas unidades productoras de caña de azúcar pertenecientes a la UEB Héctor Rodríguez, para el periodo mencionado y se calculan los rendimientos de caña por área de tierra sembrada, así como las áreas destinadas al cultivo de caña. Con los valores promedio de los rendimientos de caña por área cultivada que se muestran en la Figura 1 y el área destinada para la siembra de caña se obtiene la producción de caña para cada año, la cifra promedio en el período es de 366 135 t de caña.

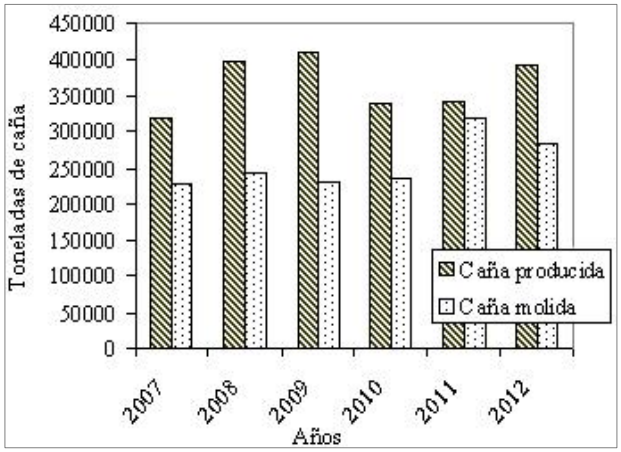


Figura 1. Producción y molienda de caña en la UEB Héctor Rodríguez entre 2007 y 2012.

En la Tabla IV se muestran las RRP calculadas en los años de estudio para la UEB Héctor Rodríguez. Estos valores se determinan a partir del bagazo producido en cada zafra con respecto a la producción de caña, estas relaciones se calculan en base húmeda debido a que la biomasa se quema con un 50% de humedad aproximadamente, al igual que en la mayoría de los centrales azucareros del país.

Tabla IV. Valores calculados de RRP en base húmeda entre 2007 y 2012.

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012
RRP (W=%)	0.22(50.0)	0.18(49.0)	0.17(49.6)	0.25(48.9)	0.28(49.7)	0.25(49.6)
RRP (W=%) promedio: 0.22(49.46)						

Con la media de la producción de caña y el valor promedio de la RRP se puede determinar la biomasa potencial en la UEB Héctor Rodríguez, cuyo valor es de 81 938 t de bagazo para el período comprendido entre 2007 y 2012. En el Figura 2 se presenta el bagazo producido en el área de molienda y se compara con la cuantía de biomasa potencial calculada empleando el método de estimación con RRP. La producción de biomasa cañera está por debajo del valor de la biomasa potencial estimada, excepto para el 2011 y 2012. Esto indica que la estimación realizada, empleando el método con RRP, es factible aunque se puede decir que la diferencia entre el valor del bagazo producido y la biomasa potencial estimada radica en que el último valor se determina a través de la superficie destinada para la siembra y el rendimiento de caña estimado. Además, existe un potencial de biomasa cañera no cuantificado, sin utilizar, entre las posibles razones se tienen: una parte se pierde en los campos por no realizar un corte adecuado (ya sea manual o mecanizado), el cogollo y parte de la paja se quedan en los campos y otra parte de la paja queda en los centros de acopio donde se beneficia la caña cortada, otra causa puede ser que en ocasiones no se muele toda la caña obtenida en los campos por cuestiones estratégicas, unas veces se deja para moler en la siguiente zafra.

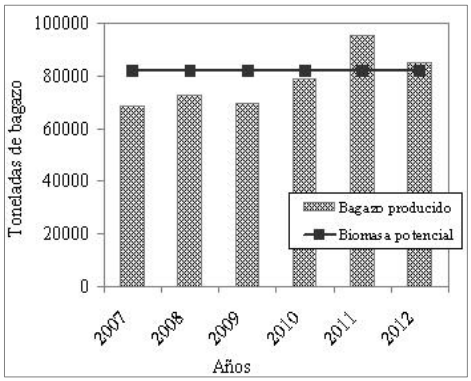


Figura 2. Comparación de la biomasa potencial estimada con la producción de bagazo en la UEB Héctor Rodríguez.

La figura anterior indica que existe potencial de biomasa que si se colecta pudiera ser empleado, al igual que el bagazo en la generación de electricidad. Se puede analizar la posibilidad de emplear otros métodos de conversión como la pirólisis y la gasificación que permiten la obtención de una amplia gama de productos químicos y ofrecen la posibilidad de otras aplicaciones. Fuera de zafra, la generación de electricidad, está condicionada por dos factores principales: la tecnología de generación de electricidad y la disponibilidad de biomasa. Para generar fuera del período de zafra es necesario cerrar el ciclo de vapor empleando equipos de proceso con superficies de transferencia de calor, como los tachos o los evaporadores, para la condensación del vapor teniendo en cuenta que la tecnología utilizada para la generación de electricidad en la industria azucarera cubana se basa en turbinas de contrapresión y en calderas con una presión de trabajo como promedio de 19 bar (*Curbelo y otros, 2011).*

En los años 2011 y 2012, el bagazo producido aumentó con respecto al resto de los años debido al incremento de la molienda de caña y a un plan de producción de azúcar superior en comparación con el resto de los años analizados, sin embargo las cifras de caña producida se mantienen en el rango del resto de los años en estudio. A consecuencia de lo referido anteriormente, el potencial de biomasa estimado es inferior al bagazo producido; esto se puede explicar debido a que la estimación de biomasa se determina, según ecuación 1, multiplicado la RRP por el promedio del múltiplo de los valores de la superficie destinada para la siembra y el rendimiento agrícola (valores que se mantienen en cifras similares en el período estudiado). Se añade a lo anterior que debido al incremento apreciable de la molienda de caña respecto al resto de los años derivó en un aumento del bagazo producido y en consecuencia un valor de RRP superior a la media del resto de los años. Es por ello que se precisa acumular un mayor número de datos, una vez estabilizada la producción de acuerdo a la capacidad fabril, para obtener como resultado que el promedio de esta relación sea representativa.

La estimación del potencial bruto en el central se realizó a partir de la biomasa disponible con que cuenta el mismo y el valor del calor específico del bagazo. El calor específico de combustión de una sustancia es la cantidad de calor que se desprende durante la combustión completa de su unidad de masa. Al ser el bagazo un combustible sólido se va a expresar en kJ/kg. En este trabajo se toma el valor calculado por Pérez-Bermúdez de 7.64 MJ/kg (calor específico del bagazo) para 50% de humedad *(Pérez-Bermúdez, 2005).* El potencial bruto se calcula de acuerdo a la ecuación 2 y el potencial bruto máximo se determina teniendo en cuenta la capacidad nominal de molienda y el porcentaje que históricamente ha representado de bagazo. En la Figura 3 se muestran los valores calculados de la biomasa disponible con que se cuenta en cada zafra (t de bagazo/día).

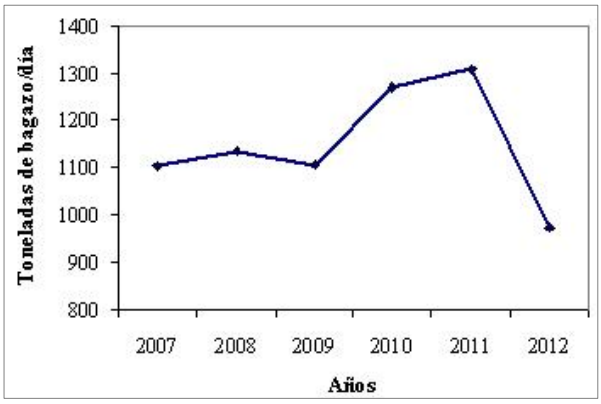


Figura 3. Biomasa disponible en la UEB Héctor Rodríguez.

Los resultados de la determinación del potencial bruto y el potencial bruto máximo en la UEB Héctor Rodríguez en los años de estudio se exponen en la Figura 4. El potencial bruto varía de acuerdo al bagazo generado por zafra, también la humedad del bagazo juega un papel fundamental ya que puede afectar de una forma positiva o negativa el valor del calor específico de combustión. En la Figura 4 se muestra además la relación que existe entre el potencial bruto y potencial bruto máximo a alcanzar en los años de estudio para el caso de estudio.

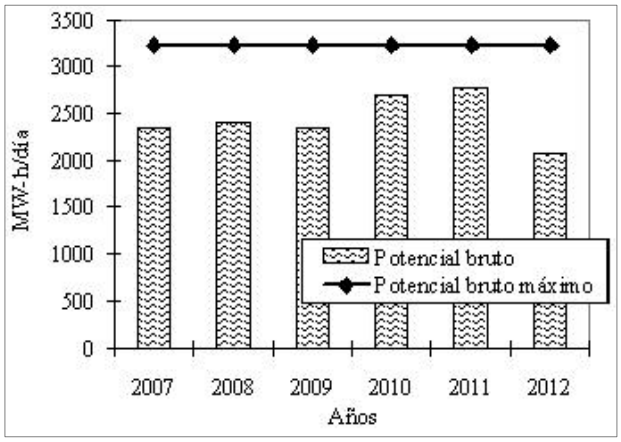


Figura 4. Comparación del potencial bruto y potencial bruto máximo en la UEB Héctor Rodríguez.

Como se puede observar en la Figura 4 en los años 2009 y 2012 existe un descenso en el potencial bruto ya que en ese año se disponía de una menor cantidad de bagazo debido a la disminución en la molienda de caña por la depresión que sufrió este sector en el país. Aunque en ese valor influyen también otros factores como pueden ser la rotura de equipos durante la cosecha o la molienda, lo que afecta posteriormente los procesos industriales y de generación de energía; otro elemento determinante es el plan de azúcar asignado, lo que propicia que la cantidad de caña que requiera moler el central puede variar de acuerdo a esta cifra comprometida. A partir del referido año el potencial bruto va incrementando por el aumento en la cantidad de bagazo generado debido a mayor molienda de caña por las mejoras en la agroindustria en el país y en el 2012 se evidencia un comportamiento similar al 2009 ya que hubo una disminución en la caña molida. Si se alcanzan las condiciones productivas idóneas y se obtienen altos rendimientos en la cosecha y producción se puede aproximar en un futuro no lejano a los valores máximos de potencial bruto que estarían por el orden de 3 222 MWh/día.

CONCLUSIONES

En el país, el promedio reportado de humedad del bagazo de caña es de 50%. En la UEB Héctor Rodríguez esta tiene un valor promedio de 49.44% para el período estudiado. El valor calculado de RRP promedio para esta biomasa es 0.22; la cifra no tiene una diferencia muy significativa respecto a los valores publicados en la literatura (0.25 y 0.3 respectivamente). Esto indica que el método empleado es factible pero es preciso ampliar el período de estudio y permita procesar un mayor número de datos para calcular una RRP más representativa; no obstante la cifra calculada se puede considerar como una primera aproximación de la RRP para el bagazo de caña en el país. El valor estimado de la biomasa potencial en el período comprendido entre 2007 y 2012 se acerca a la cifra del bagazo producido, a partir del 2011 este valor es inferior al que se generó; esto justifica la ampliación del estudio. Si se alcanzan las condiciones productivas idóneas y se obtienen altos rendimientos en la cosecha y producción se puede aproximar en un futuro no lejano a los valores máximos de potencial bruto que estarían por el orden de 3 222 MWh/día.

REFERENCIAS

- Fernández Castaño, N. (2010), Plantas de Biomasa [Online]. Available: www.limpiezastecnicasindustriales.com. [Accessed 10-02- 2012]
- ONE. "Anuario Estadístico de Cuba 2010". *Oficina Nacional de Estadísticas*, República de Cuba. 2011.
- Pérez-Bermúdez, R. A. (2005), Estudio termoeconómico del beneficio del gas de gasificación de biomasa en lecho fluidizado con fines energéticos. *Tesis para optar por el título de* Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Demirbas, A. (2007), Combustion Systems for Biomass Fuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.* Vol. 29. pp, 303-312.
- Demirbas, A. (2007a), Modernization of Biomass Energy Conversion Facilities. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy.* Vol. 2. pp, 227-235.
- Balat, M. (2008), Mechanisms of Thermochemical Biomass Conversion Processes. Part 2: Reactions of Gasification. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.* Vol. 30, pp,636-648.
- Babu, B. V.; Chaurasia, A. S. (2003), Modeling, simulation and estimation of optimum parameters in pyrolysis of biomass. *Energy Conversion and Management*. Vol. 44. pp,2135-2158.
- Curbelo, A.; Jiménez, O.; Suárez, Y. (2011), Contribución potencial de la biomasa como combustible a la generación distribuida en Cuba. *GConocimiento. Energía para el Desarrollo.* Vol. 2. (7), pp, 2-9.
- Berndes, G.; Hoogwijk, M.; van Den Broek, R. (2003), The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 25.
- Pyrolysis Final Report Part 2 – Determination of norms and standards for biomass fast pyrolysis liquids as an alternative renewable fuel for electricity and heat production. [Online]. Available: www.care.demon.co.uk/ALTENERIIReportFinal [Accessed 12-10- 2012].
- Cooper, C. J.; Laing, C. A. (2007), A macro analysis of crop residue and animal wastes as a potential energy source in Africa. *Journal of Energy in Southern Africa*. Vol. 18. pp,10-19.
- Fundación CIRCE. (2006), Evaluación del potencial de biomasa residual en los ecosistemas forestales y los medios agrícolas en la provincia de Huesca. Available: http://circe.cps.unizar.es/acvcoco/es/pdf/6doc_3.pdf , [Accessed 12-10- 2012].
- Hensley Duku, M.; Gu, S.; Ben Hagan, E. (2011), A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15. pp, 404-415.
- Akgün, O.; Luukkanen, J.; Majanne, Y. (2011), Theoretical bioenergy residue potential in Cambodia and Laos and utilization posibilities. 16th Meeting of the REFORM Group. Schloss Leopoldskron, Salzburg, Austria.
- Ojotin, V. Z.; Laviguin, V.; Salomzoda, F. (1988), Fundamentos de Termotecnia. Ed. Mir. Moscú.

ALMACENAMIENTO DE LA BIOMASA CAÑERA CON FINES ENERGÉTICOS

STORAGE OF SUGARCANE BIOMASS WITH ENERGETIC INTENTIONS

Autor: *Juan Fernández Rodríguez, *José Alberto Pérez Hernández

*Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca No. 804, esquina Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana 11000. Cuba
E-mail: Juanfernandez5212@yahoo.com.mx; jose.alberto@icidca.edu.cu

Resumen

En este trabajo se hace un análisis de diferentes métodos pueda de almacenamiento con la finalidad de mantener la biomasa cañera en buen estado y en un lugar adecuado para que ser fácilmente transferida hacia los próximos procesos de transformación de la misma, directamente en energía y calor por medio de la combustión, o en productos de mayor densidad energética a través de la gasificación o la pirólisis.
La biomasa cañera es un combustible de densidad energética baja, y consecuentemente se requiere almacenar un gran volumen de la misma al alimentar los distintos sistemas para su conversión termoenergética, especialmente las plantas bioenergéticas, por lo que se necesita evaluar integralmente las condiciones y características de cada planta y lugar para decidir cuál será el método de almacenamiento más adecuado.
Se describen los métodos de almacenamiento por densificación de la biomasa como el peletizado, el briqueteado y el empacado, así como los métodos de almacenamiento a granel a cielo abierto o en silos.
Se señalan las ventajas y las desventajas de cada método. Los métodos compactados son notables porque hacen un mejor uso del área de almacenamiento y mejoran la manipulación de la biomasa, pero también requieren un costo superior de adquisición del equipamiento tecnológico. El método de almacenamiento a granel, en zonas muy lluviosas, requiere protección de la pila con mantas plásticas, lo cual incrementa el costo del almacenamiento.
Palabras claves: almacenamiento, biomasa cañera, bioenergía.

ABSTRACT

In this paper, an analysis of different methods of storage is made, with the purpose of maintaining the sugarcane biomass in good conditions and in a suitable place in order to transfer it easily toward the next processes of transformation, directly into energy and heat by means of combustion, or in products of higher energetic density through gasification or pyrolysis.

The sugarcane biomass is a fuel of low energetic density, that is why it is required to storage a big volume of this row material in order to feed different systems used for the biomass thermo- conversion, especially those ones corresponding to bioelectric plants, so that it is necessary to evaluate entirely the characteristics and conditions of every plant and also the installation site, in such a way that it can be decided which storage method will be the best one.

Compacted storage methods of biomass are described, such as pelletizing, briquetting and baling, as well as open-air bulk methods or storage in silo.

Advantages and disadvantages of every method are pointed out. The compacted methods are notable because they make a better use of storage area and improve the biomass handling, but they also require a higher acquisition cost on the technological equipment. The bulk storage method, at very rainy zones, requires protection of the pile with plastic blankets which raise the cost of storage.

Key words: storage, sugarcane biomass, bioenergy.

Introducción

En la mayoría de los países que producen azúcar a partir de la caña se genera electricidad utilizando el bagazo que sale del proceso fabril en la temporada de zafra, para el propio consumo por parte del ingenio y no se aprovechan las instalaciones para la generación eléctrica fuera de temporada. Si se adoptaran estrategias que contemplen la disponibilidad de biomasa, su manejo y almacenamiento, se pudiera extender la generación de electricidad durante todo el año con sus correspondientes beneficios económicos, sociales y ambientales, no solo para las empresas productoras, sino también para las comunidades que circundan a las mismas.

La biomasa cañera, integrada por el bagazo como residuo industrial y las hojas y el cogollo como residuos agrícolas de la caña (RAC), constituye una valiosa fuente de fibras naturales con un aceptable poder calórico y relativamente bajos costos que garantiza su uso con fines energéticos y propicia que muchos ingenios, a escala mundial, diversifiquen su objeto social hacia el mercado de producción de energía mediante la

cogeneración o hacia la creación de nuevas facilidades como las plantas bio-eléctricas (López, 2005), las plantas de gasificación (Jorapur,1997) y las plantas de producción de biocombustible piroleñoso (Rofiqul,2003 y Fernández, 2012), todas estas variantes con la marcada intención de ahorrar combustible fósil. Sin embargo, todavía es limitada la experiencia comercial que se tiene del manejo y almacenamiento de la biomasa cañera para estos fines, especialmente lo relacionado con un estudio de factibilidad técnico económico que abarque integralmente la recolección, transportación, preparación y almacenamiento de los residuos agrícolas de la caña.

El bagazo que es un residuo fibroso de la industria azucarera, cuando sale fresco del ingenio tiene alrededor del 50% de humedad, 2-3% de azúcar residual y cerca de 45% de fibra (ICIDCA, 1986). Para el bagazo limpio, libre de materias extrañas, la médula y los fragmentos de epidermis del tallo de la caña constituyen la fracción no fibrosa que representa alrededor del 35% del peso seco de la caña, mientras el resto corresponde a la fracción fibrosa representada por fibras de la corteza y los haces fibrovasculares (Fernández,1995)

Los RAC no constituyen un grupo uniforme como materia prima, sino que abarcan varios elementos como el cogollo y las hojas verdes, los cuales por regla general, se quedan en el campo como abono verde o se consumen para alimento animal y el otro elemento está formado por las hojas secas y vainas que envuelven al tallo y que en buena parte acompaña a la caña cortada en su envío a los ingenios o a los centros de acopio y limpieza de la caña, influyendo su presencia en el contenido de materias extrañas.

El bagazo como portador energético tiene dos desventajas importantes: su relativo alto contenido de humedad y el hecho de que no se puede disponer del mismo, de forma continua, durante todo el año, debido al carácter estacional de las zafras. Por otra parte, están asociadas como desventajas de los residuos agrícolas de la caña su baja densidad y su forma estructural que requieren de un tratamiento de molida para facilitar su manejo y alimentación a los procesos de conversión termo-energéticos. Sin embargo en los últimos años el uso del bagazo para la cogeneración ha ido ganando importancia en muchos países (Seebaluck, 2007)

Aunque todavía se emplean tecnologías de manejo y almacenamiento similares a las de hace 50 años y aun cuando se han introducido mejoras en el equipamiento tecnológico y en los sistemas, el manejo y almacenamiento de bagazo y los RAC representan en la actualidad el obstáculo principal para su uso a gran escala industrial, por lo que tradicionalmente se quema directamente para evitar su deposición en áreas de almacenamiento. (Seebaluck, 2008)

El panorama establecido en el escenario actual señala que las fuentes de energía renovables deben asumir un papel creciente en la matriz energética mundial, forzadas por las perspectivas de reducción de los combustibles fósiles y cada vez más, por cuestiones ambientales. En este sentido, la biomasa cañera tiene un futuro promisorio (Bacci, M. 2008), siendo las emisiones de gases y de partículas sólidas suspendidas los

impactos ambientales principales que produce la generación de energía a partir de biomasa (bagazo) en los centrales azucareros en Cuba (Gil, Z. 2005)

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis valorativo de los métodos de almacenamiento de bagazo y de RAC con fines energéticos que ponga de manifiesto las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Factores que influyen en la disponibilidad y calidad de la biomasa cañera.

La disponibilidad de biomasa a la salida del ingenio está influenciada por el contenido de fibra de la caña, por el contenido de materias extrañas y por las cenizas. Si la fibra en caña es insuficiente y la humedad del bagazo es alta, es posible que no se obtenga el bagazo suficiente para la producción del vapor que necesita el ingenio (Díaz, R.2008)

Los principales factores que afectan la capacidad calórica de la biomasa son el contenido de humedad y el contenido de cenizas. Los cambios más significativos en el contenido de cenizas del bagazo son: periodo seco 2.5 %) < periodo húmedo (5%) < cosecha después de días lluviosos (15%) (Silva, 2010)

Puede observarse en la tabla I el impacto que sobre el poder calórico superior tiene el alto contenido de cenizas presente en los RAC recolectados mecánicamente en el campo por medio de equipos enfardadores. En este caso la mezcla de ambos componentes debe contener menos de un 30 % de RAC (Carbajal, 2006).

Tabla I. Influencia de las mezclas de bagazo y RAC sobre el poder calórico.

COMPOSICIÓN	PCS (kJ/kg)	Humedad (%)	Cenizas (%)
Bagazo	8155.84	48.77	1.52
90%B + 10%RAC	7972.33	45.20	3.57
80%B + 20% RAC	7685.61	7685.61	5.65
70%B + 30% RAC	7473.33	38.40	8.00
60%B + 40% RAC	7022.52	37.10	11.38
50%B + 50% RAC	6726.04	36.60	13.58
RAC	4740.47	20.50	30.54

Leyenda: B: bagazo; RAC: residuos agrícolas de la caña

En el caso de los RAC, la composición de la ceniza constituye también una barrera tecnológica, ya que como se aprecia en la tabla II, mientras el bagazo contiene niveles de compuestos alcalinos categorizados de bajo a

moderados, los RAC, recolectados por métodos mecanizados, contienen altos niveles de estas sales, sobrepasando los rangos permisibles para la operación de calderas y reactores termoenegéticos. Cuando se mezclan ambos componentes, se sugiere que el porciento en peso de RAC esté por debajo del 30 %, de lo contrario estos sistemas serían más propensos a la corrosión y a las deposiciones e incrustaciones (Carvajal, 2006)

Tabla II. Influencia de la mezcla de bagazo y RAC sobre el contenido y calidad de las cenizas.

	Cenizas	K	Ca	Mg	Na	Si
Unidades	%	%	%	%	%	ppm
Rango	0.75-10.74	0.07-0.32	0.02-0.30	0.02-0.18	0.24-1.83	0.1-0.8
Bagazo	1.52	0.12	0.05	0.04	0.60	0.15
90% B+10% RAC	3.57	0.22	0.11	0.08	0.9	0.26
80% B+20% RAC	5.65	0.32	0.23	0.12	1.23	0.31
70% B+30% RAC	8.00	0.46	0.28	0.21	1.49	0.43
60% B+40% RAC	11.38	0.45	0.32	0.17	1.78	0.53
50% B+50% RAC	13.58	0.54	0.32	0.29	2.08	0.71
RAC	30.54	0.90	0.51	0.49	3.65	2.00

Leyenda: B: bagazo; RAC: residuos agrícolas de la caña

Métodos de almacenamiento de la biomasa cañera

Teniendo en cuenta la estrategia a seguir con la alimentación de la biomasa cañera a los sistemas termoenergéticos se pueden dar tres variantes principales para el manejo y almacenamiento de la misma.

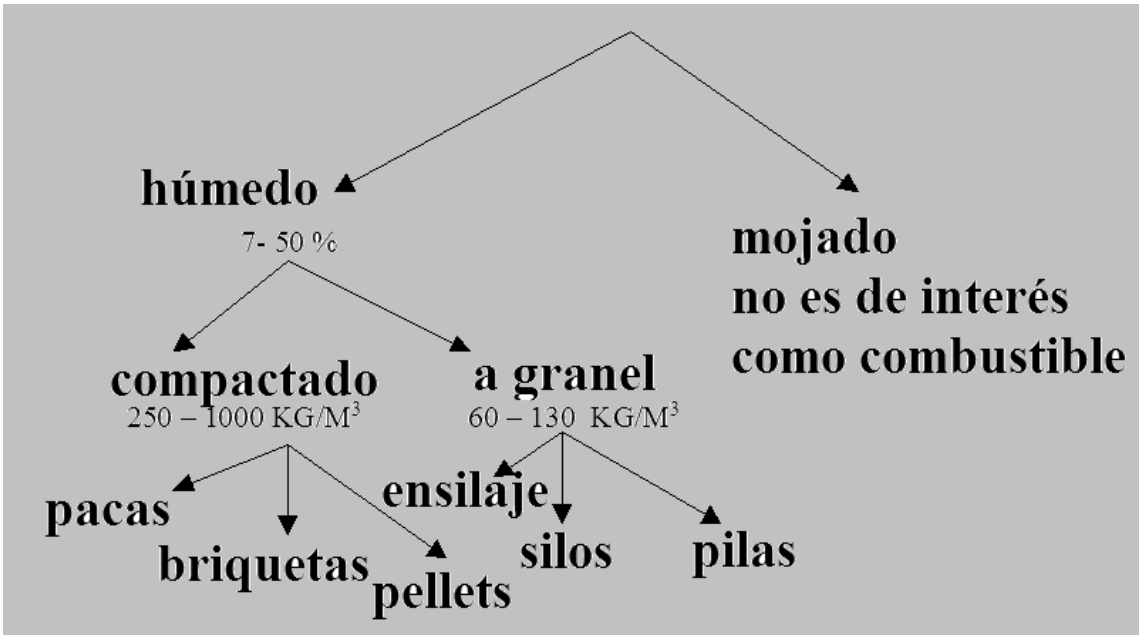
a)- Variante 1. Molida integral de la caña. Aquí los tallos de la caña, una vez que se cortar por la base, se conducen al ingenio conteniendo el cogollo y las hojas, cuya proporción natural está entre un 20 y un 30 % en peso, por lo que toda la biomasa ya se mezcla en el propio proceso de preparación y molida de la caña, lo que ahorraría invertir en equipos de recolección y preparación de los RAC, pero tiene el inconveniente, desde el punto de vista azucarero, de que el alto contenido de materias extrañas afectaría negativamente algunos indicadores. La biomasa obtenida se densifica formando pacas sueltas o amarradas con alambre o cintas plásticas y se transporta hacia el patio de almacenamiento de la planta energética donde se almacenan por el método de pila húmeda a granel con la formación mediante cargadores frontales, en el caso de las pacas sueltas o por el método de almacenamiento en pacas húmedas en el caso de las pacas amarradas.

b)- Variante 2. Molida de los tallos limpios (bajo nivel de materias extrañas) para obtener el bagazo integral en el ingenio, mientras los RAC se obtienen del campo o de un centro de acopio. El bagazo obtenido se densifica formando pacas sueltas, mientras los RAC se densifican formando pacas amarradas y se transportan hacia la planta de conversión energética. En este caso se requiere de una infraestructura, donde se desempaca, se dosifica y mezclan, en las proporciones establecidas, el bagazo y los RAC, para luego almacenarse por el método de formación de pila húmeda mediante cargadores frontales.

c)- Variante 3. Se obtiene el bagazo y los RAC por los procedimientos establecidos en la variante 2 y se transportan hacia las respectivas plantas de conversión termo-energética, para luego almacenar, por separado, ambos materiales en los patios de las mismas; el bagazo por el método de pila húmeda a granel y los RAC en pacas húmedas, para posteriormente reclamarlos y mezclarlos en las proporciones más convenientes antes de los procesos de combustión, gasificación o pirolisis.

Como se aprecia en la figura 1, según su contenido de humedad, la biomasa se puede almacenar en húmedo, generalmente a la humedad de un 50 %, con la que se acopian estas materias primas, o en mojado, con la adición de líquidos o agua, pero a pesar de que este método preserva mejor a las fibras, carece de interés desde el punto de vista energético debido a la infraestructura que se necesita para prensar y secar a la biomasa.

Figura 1. Almacenamiento de la biomasa cañera según su contenido de humedad



El método húmedo se clasifica en sistemas compactados mediante la densificación de la biomasa y sistemas a granel que manejan la biomasa suelta. Las tecnologías de compactación de la biomasa se basan en el principio de comprimir fuertemente, por la acción mecánica o hidráulica, un volumen determinado de la misma, húmeda o relativamente seca, dentro de un molde o matriz para obtener unidades homogéneas que según sea el caso se denominan pellets, briquetas o pacas.

En tanto que los sistemas a granel se caracterizan por el almacenamiento de la biomasa, con baja densidad de bulto, mediante la formación de pilas a granel, ensilaje y dentro de silos u otros sistemas protegidos.

El almacenamiento y manejo de las fibras son factores críticos en el rendimiento, calidad y propiedades del bagazo, debido a que independientemente del método de almacenamiento, las fibras sufren degradación por microorganismos y procesos fermentativos (Aguilar, 2011)

La decisión de cuál sería el método a emplear en la planta de conversión del bagazo donde se quiere almacenar esta materia prima va a depender de una valoración técnico-económica, debiéndose tener en cuenta factores como la transportación, costos de inversión y explotación del patio de almacenamiento y los problemas de impacto ambiental y de seguridad del trabajo y a la salud humana.

Almacenamiento en pacas

A- Almacenamiento en pacas húmedas sin licor microbiológico.

El sistema consiste en densificar la biomasa cañera, con humedades cercanas al 50 %, en unas prensas empacadoras de base rectangular que pueden formar pacas de distintos tamaños. La biomasa cañera, al ser compactada y cesar la fuerza de empuje, tiende a alcanzar su estado natural, debido al fenómeno de resilencia, por lo que se requiere el amarre de las pacas para mantener, aproximadamente, el mismo nivel de compactación. El amarre se realiza con alambre galvanizado de 3 mm de diámetro, con mallas plásticas o cintas plásticas.

Una vez formada las pacas, se transportan hacia el lugar de almacenamiento donde se entongan en forma de pirámide truncada, dejando canales de ventilación para la disipación del calor y evacuación de los gases producidos por reacciones microbiológicas. Después de formada la pila se puede mantener descubierta o se puede proteger de la lluvia mediante chapas metálicas, cubiertas plásticas o tejas corrugadas.

Las pérdidas producto de la degradación del bagazo integral o desmedulado, almacenados en pacas húmedas, fueron determinadas entre un 20 y un 25 % (Lois, 2010)

Las dimensiones de las pacas varían al igual que su volumen que oscila entre 0.1 y 0.8 m^3/paca. En Cuba las dimensiones más usuales de las pacas son 80 x 60 x 50 cm, con un peso húmedo que oscila entre 90 y 115 kg y una densidad entre 400 y 450 kg/m^3 (Suárez, 1982). Se conoce que en otros lugares se fabrican pacas más grandes de 400, 600 y 800 kg pero a medida que la paca es más grande las limitaciones son mayores para disipar el calor generado y los riesgos de deterioro de la fibra se incrementan.

El almacenamiento en pacas se realiza en el patio de almacenamiento de la planta de conversión energética del bagazo. Las pilas tienen forma piramidal cuyas dimensiones más frecuentes son de 40 m de largo por 20 m ancho, con una altura entre los 9 y 15 m, pudiendo almacenar entre 600 y 900 t de bagazo (base seca) (ICIDCA, 1986). En la tabla III se relacionan los aspectos positivos y negativos de este sistema.

Tabla III. Ventajas y desventajas del almacenamiento en pacas húmedas.

Ventajas	**Desventajas**
Facilita y disminuye los costos de transportación	Elevados costos de operación
Se favorece el secado natural del bagazo de un 50 % hasta un 20 %	Afectaciones a la salud humana por bagazosis
	Elevadas pérdidas de material
	Peligros de autocombustión

En el caso de los RAC, se forman pacas grandes en forma de ortoedros que se entongan por un procedimiento parecido al aplicado al bagazo. Para las pacas cilíndricas formadas por máquinas enfardadoras no existe gran experiencia comercial sobre el procedimiento de entongue, por lo que deberán consumirse fundamentalmente en el proceso justo a tiempo o disponer de un patio grande para su entongue a baja altura.

B- Almacenamiento en pacas húmedas con licor microbiológico.

Este proceso desarrollado en Brasil y conocido internacionalmente con el nombre de BAGATEX-20, se basa en la formación de pacas grandes de 600, 800 o 900 kg, de bagazo húmedo, al cual se le añade un agente bioquímico que acelera y controla la fermentación microbiológica de los azúcares residuales, gomas, las ceras, etc., provocando un secado natural rápido que reduce la humedad desde el 50 % hasta el 20 % en apenas menos de 20 días (Atchison, 1990). Este método permite que las pacas se entonguen, en una pila bajo cubierta, sin que ocurra deterioro o pérdida de material durante un periodo de 2 o más años de

almacenamiento, por lo que resulta superior que el método de pacas húmedas sin inhibidores de la fermentación, aunque se introducen gastos adicionales.

C- Sistemas de almacenamiento en pacas presecadas.

Se ha comprobado que al secar el bagazo hasta 20 a 25 % de humedad para almacenarlo, el contenido total de esporas se reduce a la mitad; el conteo de bacterias y actinomicetos disminuyen en un 80 % y los microorganismos termófilos responsables, fundamentalmente, de la degradación de la celulosa, aparecen en muy poca cuantía (Lacey, 1980))

En el sistema típico de almacenamiento en pacas presecadas el bagazo proveniente del ingenio, generalmente parcialmente desmedulado y con una humedad de alrededor del 50 %, se alimenta al secador por medio de un transportador y de una válvula dosificadora. Así, se alcanza una humedad final entre 20 y 30 %. A continuación pasa a la sección de empaque, donde por medio de empacadoras hidráulicas, se compacta en pacas de gran tamaño.

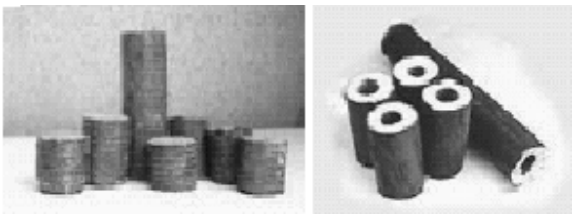
Las dimensiones de las pacas varían en dependencia del tipo de empacadora. En Cuba, se producen pacas de 150 x 80 x 80 cm, con un peso superior a 320 kg base seca/paca (Suárez, 1982). Comparadas con el sistema de pacas húmedas presentan las ventajas y desventajas relacionadas en la tabla IV.

IV. Ventajas y Tabla desventajas del almacenamiento en pacas presecadas.

Ventajas	Desventajas
Menores índices de pérdidas de fibras	Elevados costos de inversión y de operación
Mayor conservación y calidad del material combustible almacenado	Mayor consumo de combustible
Formación de pacas de mayor tamaño	
Mayores niveles de mecanización	
Menores requerimientos de área de almacenamiento	
Mejores facilidades para el manejo	
Menores riesgos para la salud de los trabajadores	

Una vez formadas las pacas, se transportan en vehículos automotores de carga o por ferrocarril hacia el área de almacenamiento, donde son manipuladas individualmente o en grupos utilizando dispositivos de izaje.

Figura 2. Briquetas sólidas y anulares



La máquina briqueteadora reciprocante comprime la biomasa a un quinto del volumen inicial. La presión mecánica ejercida en la biomasa es equivalente a 1350 kg/cm^2. Debido a este funcionamiento mecánico de alta presión, hay generación de calor que evapora la humedad atrapada en las partículas de biomasa y da un acabado superficial pulido a la superficie de la briqueta. La biomasa comprimida se empuja fuera a través de un dado que también decide el diámetro de la briqueta. Los requerimientos de energía para la planta briqueteadora son proporcionales a su tonelaje

El espacio requerido para el almacenamiento es de un metro cuadrado por cada dos toneladas de briquetas y se recomienda almacenarlas sobre una base de concreto, bajo techo o al aire libre, pero protegida de las lluvias con una manta plástica. Almacenadas a granel, las briquetas ocupan aproximadamente 0,14 m^3 por cada 100 kg, lo que equivale a una densidad en bulto de 700 a 710 kg/m^3. Las ventajas y desventajas del almacenamiento en briquetas se resumen en la tabla V.

Tabla V. Ventajas y desventajas del almacenamiento en briquetas

Ventajas	Desventajas
Presentan bajas humedades y alta compactación	Elevado porcentaje de fibras dañadas
Se inhiben los efectos degradativos de los microorganismos	Altos costos de inversión y operación
Se simplifica la manipulación y transportación	Mayor consumo de energía
Se reduce el área de almacenamiento.	

El almacenamiento en pellets

Los pellets de bagazo pueden usarse como combustible para generar energía en las calderas del central azucarero y en otras fábricas.

El bagazo suelto presenta un 95 % de volumen de aire, pero al compactarse de 80 a 1000 kg/m^3, en una peletizadora bajo una presión de 16 MPa, el volumen hueco disminuye por un factor de 34 (Loughran, 1981)

La humedad del peletizado es crítica, alrededor de 15 %, por lo que los sistemas de peletizado están asociados con secadores de bagazo.

El tamaño del material a ser utilizado es uno de los parámetros básicos que debe ser considerado en la elección del sistema de línea. Al alimentar el bagazo, este puede contener contaminantes o partículas que estén fuera del tamaño adecuado, siendo necesario un proceso de separación mediante tamices rotatorios.

El proceso de peletización consiste en someter al bagazo, que sale del ingenio, a un primer secado en contacto con un flujo de gases caliente de retorno de la caldera, para reducir la humedad entre 25 y 40 %, luego dicho bagazo se separa en dos corrientes: una que contiene partículas más grandes y otra con partículas más finas. Ambas corrientes se someten a una segunda operación de secado hasta alcanzar humedades del orden del 8 al 14 % y luego se densifica este material en las máquinas peletizadoras formando unidades como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Pellets de bagazo

Una vez que los pellets se enfrían y quedan libres de polvo, pueden ser almacenados en silos o ser empaquetados en sacos especiales. Las ventajas de este método se reportan en la tabla VI.

Los pellets de bagazo pueden usarse como combustible para generar energía en las calderas del central azucarero y en otras fábricas.

El bagazo suelto presenta un 95 % de volumen de aire, pero al compactarse de 80 a 1000 kg/m^3, en una peletizadora bajo una presión de 16 MPa, el volumen hueco disminuye por un factor de 34 (Loughran, 1981)

La humedad del peletizado es crítica, alrededor de 15 %, por lo que los sistemas de peletizado están asociados con secadores de bagazo.

El tamaño del material a ser utilizado es uno de los parámetros básicos que debe ser considerado en la elección del sistema de línea. Al alimentar el bagazo, este puede contener contaminantes o partículas que estén fuera del tamaño adecuado, siendo necesario un proceso de separación mediante tamices rotatorios.

El proceso de peletización consiste en someter al bagazo, que sale del ingenio, a un primer secado en contacto con un flujo de gases caliente de retorno de la caldera, para reducir la humedad entre 25 y 40 %, luego dicho bagazo se separa en dos corrientes: una que contiene partículas más grandes y otra con partículas más finas. Ambas corrientes se someten a una segunda operación de secado hasta alcanzar humedades del orden del 8 al 14 % y luego se densifica este material en las máquinas peletizadoras formando unidades como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Pellets de bagazo

Una vez que los pellets se enfrían y quedan libres de polvo, pueden ser almacenados en silos o ser empaquetados en sacos especiales. Las ventajas de este método se reportan en la tabla VI.

Tabla VI. Ventajas y desventajas del almacenamiento en pellets

Ventajas	Desventajas
Ahorro de transportación	Es una opción costosa.
Se reduce el área de almacenamiento	Alto consumo de energía
Se incrementa el valor calórico de la biomasa	Se genera polvillo en su manipulación
Son más fáciles de transportar	
Humedades por debajo del 10 %	
Pueden almacenarse en silos y están disponibles durante todo el año	

Sistemas de almacenamiento de la biomasa cañera a granel en húmedo.

El almacenamiento a granel constituye una reserva de existencias de materiales o productos sueltos con los que se forma un montón o pila sobre una plataforma preparada para tal efecto.

El basamento teórico del almacenamiento a granel en húmedo es que si el bagazo fresco que sale del ingenio, a 50 % de humedad, se amontona con ciertas precauciones, preferiblemente en pilas lo suficientemente grandes, entonces la capa exterior de la misma actúa como una unidad de auto protección durante el almacenamiento, esencialmente anaerobio, que podía inhibir la fermentación destructiva y disminuir el calor que se genera en la pila húmeda. La capa de la superficie, denominada costanera, de algunas pocas pulgadas de espesor, sirve de cubierta protectora al bagazo que está en el interior de la apila (Bernhard,1968)

La selección del tamaño y la forma que adoptará la pila debe ser cuidadosamente considerada según la logística de operación del patio de almacenamiento, teniendo en cuenta los suministros y la rotación de los inventarios.

Pilas grandes con altura cercana a los 20 m, como la que se muestra, a la izquierda en la figura 4, tienen una menor relación superficie/masa y por lo tanto es menor la cantidad de bagazo de las costaneras que se deteriora por la acción de los hongos; la velocidad de disipación del calor es menor y tienden a calentarse más por el calor generado por la acción microbiana, lo cual favorece la autocombustión. Por otra parte, absorben menos el agua lluvia, pero demoran más en evaporarla debido a que disminuye la porosidad del medio, causada por un incremento de la compactación La base inferior es menor para una misma capacidad, o sea, se puede almacenar más biomasa por metro cuadrado, pero tiene el inconveniente que se incrementan los riesgos por derrumbes y accidentes.

Por el contrario, las pilas pequeñas alargadas y de poca altura (por debajo de 10 m) son más seguras y fáciles de manejar; presentan una mayor relación superficie/masa, se calientan menos y disipan mejor el calor. Estas pilas, con una base superior plana, absorben más rápidamente el agua de lluvia incrementando su humedad. La base inferior es más grande, por lo que cuesta más la plataforma de almacenamiento.

Figura 4. Comparación entre pila grande y pila pequeña

El tamaño y la forma de la pila se afectan por los siguientes factores:

- La capacidad de la pila depende del tamaño (volumen) y de la densidad.
- La densidad depende de la humedad, la compactación y el tamaño de partículas.
- La compactación varía con el tamaño y la altura de la pila, el tamaño de partícula y el tipo de equipamiento empleado en su formación.

La mezcla de bagazo y RAC se deposita suelta sobre el área de almacenamiento con una densidad de bulto de 60 – 80 kg/m^3 y al caer, se va compactando por efecto de la gravedad a medida que se forma la pila, incrementándose la compactación si se reacomoda la biomasa mediante cargadores frontales y buldócer.

La pila puede alcanzar distintas configuraciones espaciales en dependencia de la infraestructura con que cuente el patio de almacenamiento (Cusi, 1980). Las principales formas que tienen las pilas aparecen en la tabla VII.

Tabla VII. Configuraciones geométricas de las pilas de biomasa cañera

Geometría espacial	Método de formación
Cono	Con transportadores
Cuña	Con cargador frontal
Pirámide truncada	Con cargador frontal
Herradura con sección transversal triangular	Apiladora semicircular
Pirámide alargada con sección transversal triangular	Apiladora recta

Las apiladoras son máquinas de última generación, altamente mecanizadas que presentan un sistema automatizado integrado para la transportación, el almacenamiento y el reclamo de la biomasa. Las capacidades de almacenamiento mediante estos equipos están en el rango de 9 000 a 300 000 m^3 (CELPAC, 2009)

En la tabla VIII se relacionan los principales factores, inherentes a la biomasa cañera, que afectan los resultados del almacenamiento en pilas a granel.

Tabla VIII. Factores que inciden en el almacenamiento a granel de la biomasa cañera.

Factores	**RAC**	**Bagazo**
Tamaño de partícula (mm)	> 25	< 2 5
Contenido de carbohidratos solubles en agua (%)	6.68	4.10
Contenido de nitrógeno (%)	0.52	0.25
Pentosanos (%)	30.85	25.2
Contenido de lignina (%)	14.5	19.7

Un tamaño de partícula relativamente grande resulta positivo, ya que favorece la aireación y disipación del calor de la pila. Las partículas pequeñas tienen mayor superficie específica incrementándose la absorción de agua y la proliferación de hongos en la superficie de la pila.

La mayor cantidad y la mayor diversidad de hongos se localizan en la superficie de la pila, formada por una capa de menos de un metro de espesor. Los hongos atacan preferentemente a las hemicelulosas y a la celulosa, por lo que se compromete la eficiencia de preservación del bagazo porque estas comunidades microbianas se van estableciendo mejor a medida que se envejece el bagazo almacenado (Singh, 2007)

Un alto contenido de carbohidratos solubles constituye un substrato conveniente para el desarrollo de microorganismos que incrementan la velocidad de degradación del material; de la misma manera influye un alto contenido de nitrógeno y de pentosanos. Por otra parte, un alto contenido de lignina en la matriz celulósica dificulta el ataque de hongos y bacterias, por lo que se preserva mejor la biomasa.

Existen limitaciones en la disponibilidad de trabajos científicos que avalen, a escala comercial, la conveniencia o no de almacenar por separado o mezclados los RAC y el bagazo. Sin embargo, los márgenes en la diferencia de los distintos factores a considerar sugieren que dichos componentes pudieran mezclarse y almacenarse juntos en una proporción donde el bagazo ocupe un peso preponderante.

Cuando se compara el almacenamiento a granel en húmedo, mediante apilamiento por cargadores frontales u otro tipo de equipamiento, con el almacenamiento en pacas húmedas se obtienen las siguientes ventajas:

- Mejor conservación de la fibra
- Menores costos de operación
- Disminución de los riesgos de enfermedades profesionales
- Disminución de los peligros de incendio
- Menores requerimientos de área

Almacenamiento mediante ensilaje

Este tipo de almacenamiento se basa en la formación de pilas alargadas de pequeña altura, mediante un procedimiento en que la biomasa se trata con inhibidores de la fermentación antes del almacenamiento y luego se apila formando una primera capa y se deja que la fermentación prosiga a una velocidad controlada hasta que pase su pico más alto. Este procedimiento se repite sucesivamente formando nuevas capas mediante su distribución con cargadores frontales. Esta tecnología requiere que se coloquen conductos para la evacuación de los gases calientes y la humedad. Este sistema, a pesar de que preserva satisfactoriamente a la biomasa no ha tenido mucha aplicación práctica porque se requiere de grandes áreas para el almacenamiento y además porque la humedad de salida de la biomasa es relativamente alta.

Método de almacenamiento en silo

La biomasa, indistintamente húmeda o relativamente seca, ya sea a granel o previamente compactada en forma de briquetas o pellets se almacena en grandes silos metálicos que cuentan con un sistema mecanizado para el manejo de la biomasa, lo que hace posible la alimentación, el acomodo y el reclamo de la misma. Es un método costoso en cuanto a las inversiones iniciales, pero tiene como ventajas que se facilitan el manejo y la protección de la biomasa.

Consideraciones finales

Cualquier método empleado en el almacenamiento de la biomasa cañera debe minimizar el crecimiento y desarrollo de los agentes biológicos que provocan deterioro e importantes pérdidas del material almacenado y también debe tenerse en cuenta las características inherentes a cada material, lo que sugiere que las condiciones y métodos de almacenamiento óptimos no sean los mismos para cada uno de ellos y por lo tanto deben analizarse las diferencias de cada tipo de biomasa para decidir si es apropiado que sean mezclados antes de almacenarse en conjunto.

La elección del método más apropiado para el manejo y manipulación de la biomasa cañera debe considerar las peculiaridades de cada planta en particular y el uso específico que hacen de la biomasa, así como las características de las fuentes suministradoras.
Mediante un análisis de alternativas que ponga de manifiesto los costos y beneficios de cada una de ellas, se podrá discernir el método más apropiado para el manejo de la biomasa cañera con fines energéticos.

Conclusiones

Existen muchos factores a considerar cuando se diseña un sistema de almacenamiento de la biomasa cañera para su combustión directa, produciendo electricidad o para su conversión termo-energética obteniendo portadores energéticos de mayor densidad energética. Así, los factores que más inciden en un tipo de instalaciones no se consideran exactamente de la misma manera en otras plantas, ya que deben tenerse en cuenta las peculiaridades de cada lugar y las cantidades de biomasa requeridas, por lo que se recomienda la consulta de especialistas en manejo y almacenamiento de la biomasa para diseñar el sistema más apropiado.
Los métodos compactados son notables porque hacen un mejor uso del área de almacenamiento y mejoran la manipulación de la biomasa, pero también requieren un costo superior de adquisición del equipamiento tecnológico. El método de almacenamiento a granel, en zonas muy lluviosas, requiere protección de la pila con mantas plásticas que incrementan el costo del almacenamiento

Referencias

1. Aguilar, N. (2011), Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XII, Núm. 1, 189-197.
2. Atchison, J (1990), Vital elements for a successful bagasse newsprint project and the accomplishment of Cuba-9. International seminar on newsprint from bagasse. October 2-5. Havana. Cuba.
3. Bacci, M; dos Santos, A. (2008),Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. XXVIII Encontro de engenharia nacional de produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro.
4. Bernhardt, D. R.(1968) Bulk storage of bagasse." The Sugar Journal, p 36, March.
5. Carvajal, A; Briceño, C. (2006), Cogeneración con residuos de cosecha de caña en verde. Taller combustible, energía y el medio ambiente a partir de la caña de azúcar y otras biomasas. Santa Lucia (Guatemala) 22 a 27 de Julio.
6. Cusi D.S. (1980), Conservación y almacenaje del bagazo. Sugar y azúcar. Septiembre, 75(9).
7. Díaz, R. (2008), Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Ecuador. Curso Internacional: “Producción y aprovechamiento energético de biomasa” del 8 al 12 de septiembre. Riobamba – Ecuador.
8. Fernández, J; Pérez, J.A; González, F. (2012), Obtención de biocombustible piroleñoso a partir del bagazo de la caña de azúcar en una planta experimental cubana. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, vol. 46, no. 2 (mayo-agosto), pp. 42 -48.
9. Fernández. J. (1995), The role of sugar cane stalk fibers in chemical pulping. Proc. XXII Cong. ISSCT, Colombia, pp. 369-372.
10. Gil, Z. (2005), Estudio del impacto ambiental del uso del bagazo como fuente de energía en centrales azucareros en Cuba. Estudio de caso "Melanio Hernández". Tesis doctoral 230 p. Depósito legal Gi. 1403-2011. Universitat de Girona. Institut de Medi Ambient.
11. ICIDCA.(1988),Manual sobre la industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico- Técnica. La Habana. Cuba. 576 p.
12. Jorapur, R and Anil, K, (1997), Sugarcane leaf-bagasse gasifiers for industrial heating applications. Biomass and Bioenergy Vol 13., No. 3, pp141. 146,
13. Lacey, J. (1980), The microbiology of sugarcane bagasse. Congress of ISSCT,Manila.
14. Lois,J. et al. (2010), Experimental Evaluation of Sugar Cane Bagasse Storage in Bales System. Journal of Applied Research and Technology. Vol.8 No.3 December. Pp. 365-377.

15. López, P (2005), Proyecto de Cogeneración de Calor y Electricidad Héctor Molina. Empresa azucarera Héctor Molina. La Habana, Cuba.
16. Loughran. J.G. (1981), Bagasse pellet formation by impact loading. Proceedings Australian society sugar cane technologist . p 207- 213.
17. Rofiqul, M; Nurul, (2003), Fixed bed pyrolysis of sugarcane bagasse for liquid fuel production. Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering 2003 (ICME2003) 26- 28 December 2003, Dhaka, Bangladesh.
18. Seebaluck, V; Leal, M.R; Rosillo-Calle, F., Sobhanbabu, P.R.K., Johnson, F (2007), Sugar cane bagasse cogeneration as a renewable energy resource for Southern Africa. The 3rd International Green Energy Conference, 17-21 June 2007 Vasteras .Sweden. Malardalen University: 658-670.
19. Seebaluck,V; R. Mohee et al. (2008), Bioenergy for Sustainable Development and Global Competitiveness: the case of Sugar Cane in Southern Africa. A CARENSA special report. 52 p. ISBN: 978-91-86125-01-1.
20. Silva, M.A; Welter, R.A; Santos, B.C.M.; Albuquerque, L.H.M. (2010), Sugarcane bagasse physical chemical characterization: the importance of the sampling protocol. School of Chemical Engineering. University of Campinas, Brazil.
21. Singh, N (2007), Influence of fungal diversity and production of cellulolytic enzymes on decay of stored bagasse. Thesis for the degree of Master in Science. 107 p. Faculty of natural and agriculture sciences. Department of Microbiology and plant pathology. University of Pretoria.
22. Suárez, R; Lois, J; Bambanaste, R; Carvajal, O (1982), El almacenamiento del bagazo para la industria de derivados. 79 p. Editorial Científico - Técnica. Ciudad de la Habana. Cuba.
23. Zoom Representaciones CELPAP (2009) FMW, especialista en el manejo de materia prima. El Papel. No. 150. Noviembre. Pp30-33.

BAGASSE AND TRASH BASED COGENERATION IN A NEW INDUSTRIAL COMPLEX

COGENERACIÓN A PARTIR DE BAGAZO Y PAJA EN UN NUEVO COMPLEJO INDUSTRIAL

Raúl Sabadí[1], Norge Garrido[1], Dennis Pello[2]

[1]Cuban Research Institute on Sugar Cane Derivatives (ICIDCA), Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba
[2]State Oil Company Suriname N.V. (STAATSOLIE). Dr.Ir. Adhinstraat 21, Paramaribo, Suriname
E-mail: raul.sabadí@icidca.edu.cu, norge.garrido@icidca.edu.cu, DPello@staatsolie.com

Keywords: cogeneration, sugar, ethanol, trash, bagasse

Palabras claves: cogeneración, azúcar, etanol, paja, bagazo

Abstract

In this greenfield project for producing fuel ethanol and raw sugar, the CHP plant will deliver power to the national grid during almost the whole year. Considering that due to climate and soil characteristics a large amount of sugarcane trash has to be sent to the factory, a study for assessing the best alternatives for using it for cogeneration purposes under a technical and economical approach was done. Simulation tools and mass and energy balance models were used to assess the cases, considering also technical information from technology providers.

Two boiler types were considered in this analysis: stoker grate fired and bubbling fluidised bed. For using stoker boilers, maximum trash content in the mixed fuel composition is 20% based on providers' recommendations. A dry cane cleaning system was considered for reducing fibre load in the milling train and reaching required compositions of the fuel (bagasse plus trash) for the boiler. Three trash separation efficiencies were studied for 10%, 20% and maximum trash, mass basis, in the mixed fuel. Under this approach, bagasse and trash have to be stored for the non-crop season. When using a fluidised bed boiler, all trash can be burned during the crop season, storing just bagasse for the non-crop season.

It was decided to install a bubbling fluidised bed boiler, taking into account the expected high moisture of the fuel during the non-crop season. An extraction condensing turbine will be used.

Resumen

En este proyecto para la producción de etanol carburante y azúcar crudo a partir de caña, la planta de cogeneración va a entregar energía eléctrica a la red nacional durante casi todo el año. Teniendo en cuenta que, debido a las características del clima y del suelo, una gran cantidad de paja tiene que ser enviada a la fábrica, se evaluaron alternativas para su uso con el propósito de cogeneración bajo un enfoque técnico y económico. Se utilizaron herramientas de simulación y modelos de balance de masa y energía para evaluar los casos, teniendo en cuenta también la información técnica de los proveedores de tecnología.

Se consideraron dos tipos de calderas en este análisis: convencionales de parrilla y de lecho fluidizado burbujeante. Para el uso de calderas convencionales, el contenido máximo de paja en la composición del

combustible mezclado es de 20%, basado en las recomendaciones de los proveedores. Un sistema de limpieza en seco de la caña se consideró para reducir la carga de fibra en el tren de molinos y llegar a composiciones requeridas del combustible (bagazo más paja) para la caldera. Se estudiaron tres eficiencias de separación de paja para lograr diferentes composiciones en el combustible mezclado. También se estudió la política de uso en zafra y no zafra.

Se decidió instalar una caldera de lecho fluidizado burbujeante, teniendo en cuenta la alta humedad esperada del combustible durante la temporada fuera de zafra. Se utilizará una turbina de extracción condensación.

1. Introduction

To improve the internal combustion in engines and reduce emissions of greenhouse gases, oxygenating compounds are added to gasoline, some of which are chemicals such as methyl tertiary butyl ether (MTBE). This compound can contaminate ground waters and because of that is being banned in some countries. Ethanol can be used as an oxygenating compound substituting the MTBE; so many countries are blending ethanol with gasoline in different proportions. A vehicle that is fuelled by an ethanol-blended gasoline will emit smaller amounts of greenhouse gases than it would if fuelled by non-blended gasoline. Ethanol improves the combustion of fuels, so the vehicle would also emit lower amounts of carbon monoxide, particulate matter and other toxic substances. This greenfield project is aimed to produce anhydrous ethanol for substituting MTBE as an octane booster in gasoline produced in the country. For achieving such aim, approximately 960,000 tons of sugarcane can be used annually when cane development program finishes on the current available acreage. After an industrial solution study of different alternatives was carried out, the selected case was the following:

- Ethanol production: anhydrous, for guaranteeing the annual domestic demand (E15 mandate) of 35/46 MML, following the increment of 1.5% in gasoline demand during the first 20 years, and exporting the remaining.
- Sugar production: raw sugar, as much as possible, for covering annual domestic demand of 10000 tonnes and exporting the rest.
- Power production: for covering demands from factories and plantation as well as partial demand of local grid during 350 days.

In this paper, the analysis of alternatives for using bagasse and trash for cogeneration in this project is described.

2. Materials and methods

This analysis was done during the solutions study phase of this project and was based on the following methods and considerations:

a) State of arte review in related literature
Works published on cogeneration in sugar industry were revised, mainly those which refer to milling the trash jointly or not with the cane and the ones referred to the use of different types of boilers for biomass burning. In the references section, just the papers directly mentioned in this text are included.

b) Modelling and simulation for mass and energy balances
Excel models and simulation software were used. In the first case, the DAFLEX (Capote, 2005) model was used for mass and energy balances in the integrated industrial complex. These balances allowed the

definition of variables such as steam and power consumption in each area as well as power export capacity. Part of the input data to this model was defined using SIDEL Excel model for distillery (Garrido, 2002) and SIMFAD software package (Sabadi, 1991) for sugar factory simulation. The modules for cane milling, juice clarification heating and evaporation, as well as power generation were used. Another Excel model was built for biomass balances during the cane development program, considering different efficiencies in trash separation before the milling train.

c) Technology providers' information

Technology providers were contacted and technical and commercial information received was also considered. In the other hand, information from previous known projects was also studied. In this case, estimations on pricing were done considering escalation based in capacities and inflation rates.

d) Project's basis of design

The restrictions on trash that can be left in the field, cane quality specs and power demand in the area were the main definitions from basis of design for this cogeneration study. In the other hand, this is a project defined as cost driven, so looking for the lowest CAPEX possible for this stage of analysis (solutions study) was an important basis for the analysis.

3. Results and discussion

3.1. The fuel

There are different studies on trash composition in sugarcane. The results are quite different and depend on many causes such as variety and harvesting mode (Hassuani, 2005).

Based on studies done in the experimental plantation of this project and in the agricultural solutions study, we are using the following considerations:

- Total biomass in the field, before harvesting, is composed of 75% of clean cane stalks and 25% of green cane tops plus leaves (trash, straw).
- All the clean cane stalks will be sent to the factory.
- From the trash, 54% is sent to the factory and 46% is left in the field because of soil characteristics and rainfall average. This will be done by adjusting the fans in the harvesters.
- Cane and trash specifications as shown in Table 1.

Table 1 - Clean cane and trash specifications

Variable	Units	Cane	Trash
Pol	%	12.3	0.5
Brix	%	14.6	0.6
Purity	%	84.3	83.3
Fibre	%	15.0	57.0
Yield	% cane		25.0

These values correspond to the most probable ones after a study of 13 different varieties, from which the commercial ones have been selected for first planting in an extended area for seed production. The average crop season used for estimations is 165 days.

Two possible scenarios for the trash route were studied. In the first one all the trash coming to the factory with the cane from the field is milled and, in the second one, part of the trash is separated from cane and mixed with the bagasse. Milling is preferred over diffusion due to the soil characteristics (clay) and average rainfall (high).

The steady state cane production is reached in the eighth year as can be seen in Table 2, where also the biomass balance and local power demand is shown. In the first scenario, the billeted cane is milled without separating the trash. Impacts of this decision were studied (Kent, 2007). For processing this biomass, the design capacity of the milling train is 7500 tonnes per day.

Table 2 – Cane development program and biomass balance

Year	Harvested area (ha)	Harvested cane (tonnes)	Average yield (tonnes/ha)	Total biomass (tonnes)	Biomass to factory (tonnes)	Local grid demand (MW)
1	3031	345 308	113.9	460 411	407 286	
2	6063	661 807	109.2	882 409	780 593	9.0
3	9185	953 138	103.8	1 270 851	1 124 214	9.5
4	10 973	1 072 095	97.7	1 429 460	1 264 522	10.0
5	10 973	1 045 287	95.3	1 393 716	1 232 903	11.0
6	10 852	1 028 726	94.8	1 371 635	1 213 369	11.5
7	10 800	1 016 087	92.2	1 354 783	1 198 462	12.0
8	10 789	960 000	89.0	1 280 000	1 132 308	12.5

In the second scenario (figure 1), the trash coming into the factory is separated before milling using a dry cane cleaning system. If stoker boilers are to be used, the mixed fuel composition (bagasse:trash) will be 9:1 (or perhaps 8:2 maximum). If fluidised bed boilers (FBB) are to be used, the separation efficiency could be higher, maybe around 70% for guaranteeing a lower investment in milling capacity, 6000 tonnes/day instead of 7500 tonnes/day.

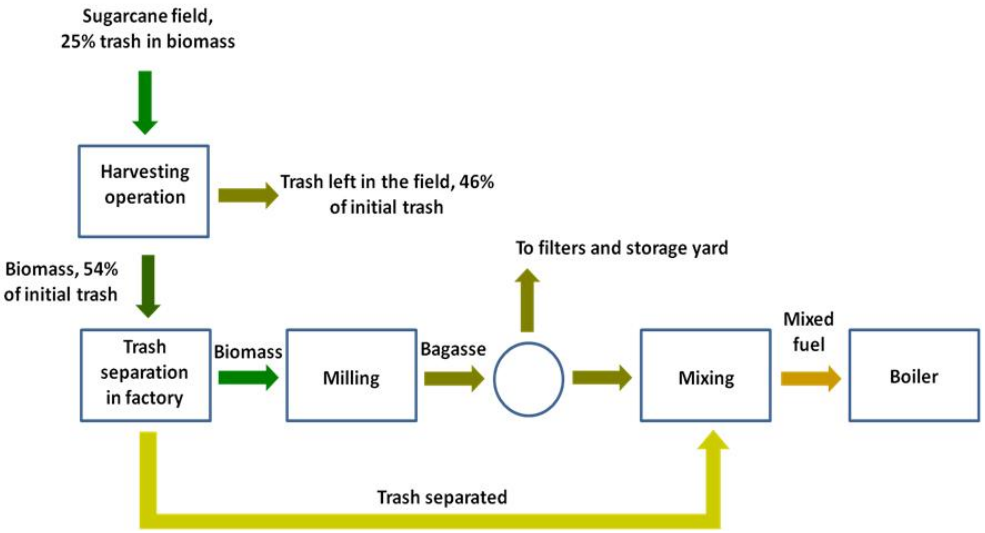


Fig. 1 – The biomass route

Depending on trash separation efficiency, there will be different flows of biomass to the milling train. Three different separation efficiencies have been studied, 30%, 50% and 70%. The quality specifications of this biomass also depend on the trash separation. These values are estimated based on mass balances on harvesting and trash separation stages and are shown in Tables 3 and 4 for all cases.

Table 3 – Biomass quality

	Units	Trash separation efficiency			
		0%	30%	50%	70%
Pol	%	10.5	10.7	11.1	11.4
Brix	%	12.5	12.7	13.1	13.5
Purity	%	84.2	84.6	84.7	84.8
Fibre	%	21.4	19.5	18.3	17.0

Table 4 – Biomass balance

Year	0%	30%		50%		70%	
	Biomass to milling (tonnes)	Trash separated (tonnes)	Biomass to milling (tonnes)	Trash separated (tonnes)	Biomass to milling (tonnes)	Trash separated (tonnes)	Biomass to milling (tonnes)
1	407 286	18 284	389 003	30 989	376 297	43 385	363 902
2	780 593	35 042	745 551	59 393	721 200	83 150	697 443
3	1 124 214	50 467	1 073 747	85 538	1 038 676	119 753	1 004 461
4	1 264 522	56 766	1 207 756	96 214	1 168 309	134 699	1 129 823
5	1 232 903	55 347	1 177 556	93 808	1 139 095	131 331	1 101 572
6	1 213 369	54 470	1 158 899	92 322	1 121 048	129 250	1 084 119
7	1 198 462	53 801	1 144 661	91 187	1 107 274	127 662	1 070 799
8	**1 132 308**	50 831	**1 081 477**	86 154	**1 046 154**	120 615	**1 011 692**

The simulation of the extraction stage, for the steady state production of cane, was done using module MOLINOS from SIMFAD software package (Sabadí *et al*., 1991). Five mills of 66x33 inches running at 5 rpm are used and imbibition water applied in the last mill is 220% of fibre content in biomass. The "bagacillo" required for the filtration stage is considered in the biomass balance. The main results are shown in Table 5.

It should be better assessed with providers if 70% separation efficiency can be reached, although we have received information from one of them guaranteeing this value with a new technology. These values are estimated for three corresponding mixed fuel (bagasse + trash) compositions (10%, 20% and 30% of trash in the mixed fuel). The differences in flow, fibre and brix in the biomass to the milling train can be noticed. The values for bagasse flow and fibre are calculated. In all cases, bagasse moisture is 50%.

Notice that the mixed fuel values are the maximum flow of fuel that can be formulated following the defined compositions of trash; but not all the fuel. The maximum amount of fuel is the sum of bagasse in the milling output plus trash separated. They are 499 348, 483 442, 481 601 and 472 684 tonnes, respectively. In all cases, fuel is in excess after satisfying local power demand.

Table 5 - Milling train simulation for all cases

		Trash separation (steady state)			
		0%	30%	50%	70%
Biomass to milling	Flow (t/h)	285.9	273.1	264.2	255.5
	Fibre (%)	21.4	19.7	18.5	17.2
	Brix (%)	12.5	13.0	13.5	13.9
Imbibition	Flow (t/h)	135.0	118.4	107.5	96.6
Bagasse leaving milling	Flow (t/h)	128.2	111.2	101.8	90.8
	% of biomass	44.8	40.7	38.5	35.5
	Fibre (%)	47.7	48.4	48.0	48.4
	Brix (%)	2.1	2.1	2.1	2.1
Mixed juice	Flow (t/h)	292.8	280.3	269.9	261.3
	Brix (%)	11.3	11.8	12.4	12.9
Extraction	%	92.4	93.5	94.0	94.8
Mixed fuel to boiler	Bagasse (t/crop)	422 300	370 692	334 829	299 840
	Trash (t/crop)	0	50 381	86 154	120 615

Two decisions arise on trash burning: to burn all trash during the crop season or not. In Table 6, mixed fuel composition for the different cases when all trash is burnt during the crop season is shown. In this case, only bagasse is stored for the non-crop season.

Table 6 - Mixed fuel composition when all trash is consumed during crop season

Separation efficiencies	30%		50%		70%	
	Crop	Off crop	Crop	Off crop	Crop	Off crop
Days	165	185	165	185	165	185
Bagasse (t/day)	1190	945	973	939	764	939
Trash (t/day)	305	0	522	0	731	0
Bagasse + trash (t/day)	1495	945	1495	939	1495	939
Trash % in mixed fuel (%)	20.4		34.9		48.9	

In this decision, a bubbling fluidised bed boiler (BFBB) is mandatory because composition of trash in bagasse is not less than 20%. If stoker boilers are to be used, we can estimate the balances limiting the trash content in the mixed fuel. In Table 7, the results for 10% of trash in the mixed fuel are shown for different trash separation efficiencies.

Table 7 - Mixed fuel composition when all trash is not consumed during crop season

Separation efficiencies	30%		50%		70%	
Trash % in mixed fuel=10%	Crop	Off crop	Crop	Off crop	Crop	Off crop
Days	165	185	165	185	165	185
Bagasse (t/day)	1346	850	1346	845	1346	845
Trash (t/day)	149	95	149	94	149	94
Bagasse + trash (t/day)	1495	945	1495	939	1495	939
Trash excess (t/day)	156	44	373	239	582	425

In this case there will be from 8000 to 78000 tonnes of trash in excess at the end of the non-crop season. And in the third case, bagasse will not be enough for the blending. So it is necessary to use a higher per cent of trash in the mixed fuel composition to avoid this situation. As a provider told us that 20% of trash can be accepted in stoker boiler without relevant problems, this is not a big concern. Besides bagasse and trash, if strictly necessary, the domestic availability of 50 000 tonnes of rice husks that can be used as fuel could also be considered..

The other alternative is to separate, after milling, just the "bagacillo" for filters and mix the rest of the bagasse with the trash. In this case, bagasse mixed with trash will be stored for the non-crop season, and it is possible to reach a lower content of trash in the mixed fuel; but the implications of storing bagasse plus trash have to be studied. Bagasse (biomass) storage is considered in two ways: roofed storage, with capacity for a short period, and open storage for the off-crop season. The capacity of the storage yard has to be better defined and, due to the rainy climate, measures for avoiding and/or mitigating deterioration of bagasse should be discussed.

3.2. The CHP plant

The CHP plant will provide the required power for all operations in the plantation and industry as well as for covering expected demand in the local grid (see Table 2). It is estimated that the CHP plant can export power by following the estimated local demand for a base load of 9 MW in 2016 and an increment of 6% per year up to a max of 14 MW. The local electricity company prefers to have this base load for 365 days/year. The required steam in process was estimated using an Excel model for the overall material and energy balances in the production complex. For preliminary estimations, the evaporation ratio is considered as 2.2 tonnes of steam per tonne of biomass both for stoker and fluidised bed boilers. Water rate is defined as 6 kg of biomass per kWh for backpressure and extraction condensing turbines. These values will be better estimated in details in the basic design stage of this project.

The requirements considered in the boiler selection are:

- Fuel savings during crop season (high steam/fuel ratio), so an extended operation out of crop season can be better reached
- Multi fuel firing (bagasse, trash, rice husk)
- Expected high moisture in fuel during non-crop season
- Reliable operation on a year round basis (350 days)
- Lower CAPEX as possible
- Lower emissions

A high pressure boiler (67 bar, 485°C) will be installed for guaranteeing high power generation per tonne of mixed fuel. This also allows savings in fuel during the crop season, so an extended operation period for the CHP plant can be better reached.

Two different types of boilers have been considered, stoker travelling grate and bubbling fluidised bed boilers (BFBB).

A spreader stoker is an excellent combustor of cellulose waste such as bagasse, which can be burned alone, or with auxiliary fuel such as is being done in India with coal in travelling grate boilers, with proper attention to fuel moisture, design heat release, combustion air system design, and preheated air temperature. Indian experience in multi fired travelling grate boilers, with high pressure and high temperature cycles, is a good reference (Subramanian, 2010). This type of boiler allows a low content of trash in the mixed fuel, so it is convenient in integral milling or low separation of trash cases, meaning higher investment in crushing capacities.

For up to 20% trash in mixed fuel cases, two stoker boilers (67 bar, 485°C) each one of 75 tonnes of steam per hour were studied. One backpressure and one condensing turbine were considered for this case.

For higher composition of trash, one fluidised bed boiler of 150 tonnes of steam per hour is considered. This boiler capacity will be better assessed in the basic design stage considering opportunities for energy integration in the whole site. So, this capacity could be eventually lower. A 25 MW steam extraction condensing turbine will be used, considering that it enables operation during and out of the crop season.

The fluidised bed basically consists of a set of nozzles connected to air collectors which are responsible for the fluidisation of a large volume of sand that holds heat to gasify and burn the spread fuel over the surface sand bed. The area of the bed, located at the furnace bottom is sized to handle the amount of fuel being burned, with an average moisture content of up to 65%. This boiler provides a large amount of heat inside the furnace and the fast absorption of heat from the sand bed is capable of drying wet fuels without affecting the temperature of the furnace.

Control of bed temperature and fluidising velocity are important concepts in this technology. The fluidised bed is designed to operate within the temperature range 760-875°C, where this temperature is controlled by varying the amount of fluidising air and recirculating gas. Under these conditions almost any fuel can be burned.

Atmospheric pressure bubbling fluidised bed boilers are most commonly used with biomass fuels. Bubbling bed technology is generally selected for fuels with lower heating values. The risks of selecting a BFBB are:

- It is a new technology in the sugar industry for using mixed fuel of bagasse and trash.
- There is no BFBB in this industry being used during enough time for being a good reference.
- Costs are higher than those of stoker boilers.

The advantages of this technology, based on experiences with other biomass fuels are:

- Higher moisture in the fuel can be accepted.
- Reduced emissions of SO_2 and NO_x.
- Higher efficiency.
- Lower combustion temperature (usually 750 - 850°C, 1200°C in stoker boilers).
- More compact design.

Recently, a Brazilian provider, HPB SIMISA, under Babcock & Wilcox licensing, has installed three of these boilers in sugar and ethanol industries in that country. Two of them are BFBB of 150 tonnes of steam per hour and one is a BFBB of 300 tonnes of steam per hour, all operating at 68 bar and 520°C. This provider offers boilers designed to feed and burn 80% bagasse + 20% cane trash at maximum 53% moisture in conventional grate and 65% moisture in BFB boilers.

Analyses of composition of fuel and ash characteristics are required for a better design of the boiler. The level of chlorine in the fuel can cause corrosion at high temperature.

Depending on the content of potassium oxide (K_2O) and calcium oxide (CaO) in the ashes of the fuel, the melting point of ashes decreases and, because of this, some care in the operating temperature control, cleaning and recycling / replacement of inert material that makes up the bed has to be considered.

Because of these reasons, a well known boiler provider has done extensive bagasse and trash analyses (basic analysis and chemical fractionation) for this project. Chlorine and potassium content is high in cane trash.

Low bulk density of the fuel can increase fouling as burning particles may escape from the fluidised bed. Sulphur, which may inhibit the formation of corrosive compounds by captivating part of the alkalis, is also low in trash. Nitrogen content is low, so no specific NO_x emission issues are expected. Many ash forming elements in trash are in reactive (easily soluble) form, so it can lead to melt formation for temperatures near 850°C. As in many agricultural fuels, around 20% silica content is also reactive. Challenges are bed agglomeration and deposit formation problems.

For the fuel blend, these risks are not so high and can be faced by operating at lower bed temperatures, around 750°C. On the other hand, enough sand make-up rates can limit the accumulation of the melt forming elements in the bed. Adequate soot blowing can solve problems related to low bulk density of the fuel. A right selection of the superheater and the use of corrosion mitigating additives can reduce the high temperature corrosion risks.

The provider guarantees that the boiler can operate throughout the year with a shutdown of 10 ~12 days per year for maintenance. The boiler can operate from 25% to 100% MCR. The superheater is generally designed to guarantee the temperature from 70% to 100% MCR.

A high level Reliability Availability Maintainability (RAM) analysis was performed to evaluate the implications of the various potential reliability requirements of external power delivery during 365 days of operation. The analysis shows that the current setup is likely to have frequent outages due to absent redundancy. Adding an additional steam turbine generator, however, is more costly and far less effective than adding 10/12 MW diesel generators to support reliability. However, looking for CAPEX reduction it was decided to generate power for 350 days. The local electricity company will be in charge of the remaining two weeks as well of the power fluctuations along the year. So the final configuration proposed is one BFBB and one steam extraction condensing turbine.

The following table shows a comparison on CAPEX estimations for different combinations of boilers and turbines studied in this project. The capital costs have been estimated from contractor in-house databases and also from actual quotations. The basis for CAPEX comparison is case 1, one stoker boiler, one backpressure and one condensing turbine. So the values of CAPEX in the table are the CAPEX for each case divided by the CAPEX for case 1.

Table 8 – CAPEX comparison

Case	Boiler		Steam turbine generator			CAPEX rates
	Stoker	BFBB	Backpressure	Condensing	Extraction condensing	
1	1		1	1		1.00
2	1				1	0.88
3	2				1	1.50
4	2				2	1.87
5		1			1	1.13
6		2			1	1.88
7		2			2	2.25
8		1	1	1		1.22

The cheaper combination is one stoker boiler and one extraction condensing turbine; but it is preferred to select case 5 (one BFBB and one extraction condensing turbine) for guaranteeing burning as much trash as possible and considering the expected moisture in the mixed fuel out of the crop season.

4. Conclusions

- Due to climate and soil characteristics, sending a big amount of trash to the factory represents a challenge and also an opportunity in this project. So trash % cane has to be better estimated for varieties selected for this project in order to evaluate the expected biomass balance.

- Although former studies in other countries have demonstrated that leaching by milling is effective in reducing alkali, sulfur and chlorine content in trash (Prabhakar, 2010), milling the cane with all trash was not recommended because of lower crushing capacity and to avoid consequent impacts on operations, power demand, maintenance and sugar quality.

- A trash separation system should be installed looking for lower crushing capacities and associated capital cost.

- In this case, the use of a BFBB is recommended taking into account the expected high moisture in fuel out of the crop season and also the possibility of burning rice husks.

- One extraction condensing turbine has been proposed; however, it has to be designed to face the different operation conditions in crop and non-crop seasons, mainly for guaranteeing efficiency and the proper cooling in the low pressure section.

- The size of the storage yard and measures for avoiding and/or mitigating bagasse deterioration are issues that have to be studied carefully.

5. References

- Capote, O., Hurtado, R., De los Ríos, M. (2005). Herramienta de software para el análisis de la diversificación azucarera. Centro Azúcar 32(2):48-53.
- Garrido, N. (2002). SIDEL: sistema de diseño y simulación de destilerías. Memorias 3er Taller Internacional de Análisis de Procesos (TIAP), La Habana.
- Hassuani, S. J., Leal, M. R. L. V. and Macedo, I. C. (2005). Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: PNUD-CTC, (Série Caminhos para Sustentabilidade). ISBN 85-99371-01-0.
- Hassuani, S. J., Leal, M. R. L. V. and Macedo, I. C. (2005). Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: PNUD-CTC, (Série Caminhos para Sustentabilidade). ISBN 85-99371-01-0.
- Prabhakar, N., Raju, D. V. L. N. and Vidya Sagar, R. (2010). Cane trash as fuel. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 27: 1553-1563.
- Sabadí, R., de Armas, C., Fernández, V., Rodríguez, F., Torres, A. and de la Vega, E. (1991). A simulation system for sugar and by-product factories. 1. Description of process modules. Cuba Azúcar (in Spanish), 25 (4):10-15.
- Subramanian, A. K. and Awasthi, S. (2010). High pressure multi fuel fired boilers for cogeneration. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 27: 1335-1343.

¿CUAL ES LA BIOELECTRICA QUE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y CUBA NECESITAN? WHAT BIOPOWER PLANT DO SUGAR INDUSTRY AND CUBA NEED?

Lodos, J.

ZERUS, AZCUBA, jorge.lodos@zerus.azcuba.cu

Resumen

Se describen las Bioelectricas más relevantes que ilustran su desarrollo actual, sobre la base de lo cual se discuten los parámetros técnicos y económicos que apoyan la definición de una estrategia en ese campo. Entre ellos se encuentran, entre otros, la eficiencia, el consumo de vapor en proceso, las biomasas alternativas y su almacenamiento, la calidad del agua, la capacidad en zafra y en no zafra, las nuevas tecnologías, el costo y precio de la biomasa y del kWh, la inversión y las condiciones del financiamiento, entre otros aspectos. Se concluye que el resultado de la Bioeléctrica tiene que ser no solo ecológico sino también económico, que hay que maximizar la producción de electricidad operando a mas de 80 Bar con turbogeneradores de extracción-condensación calculados para fuera de zafra y que la disponibilidad de biomasa es decisiva, pues regula la capacidad, la economía de escala, la duración de la operación y la rentabilidad de la Bioeléctrica. Hay que evaluar urgentemente procesar caña integral y, eventualmente, al briqueteo de la biomasa a almacenar. Es conveniente estandarizar la capacidad de las fábricas de azúcar. El SEN puede y tiene que asimilar el biokWh en cualquier momento del día y en cualquier lugar de Cuba que se produzca y pagar, al menos, 0.15 USD-kWh, siempre menos que su costo evitado en divisas.

Biomasa, Caña, Cogeneración, Energía

Abstract

Most important Biopower Plants are described as its technical and economical characteristics, in order to illustrate its current development and to support a national strategy. Based on that data its efficiency, steam process consumption, biomass alternatives and storage, water quality, capacity during sugarcane campaign and out of it, new technologies, cost and price of biomass and power, investment and financing conditions are discussed. Result of the Biopower Plant has to be not only environment friendly but also economical. Electricity production has to be maximized operating at 80 Bar with extracting-condensing turbogenerators, designed for maximum capacity in the out-of-season. Biomass availability is very important because it decides the capacity, the operation time and the profitability of the Plant. It is necessary urgently to evaluate the milling of whole cane and the briquetting of biomass for storage. Standardization of the capacity of the sugar mills has to be evaluated. National grid has to be able to purchase biokWh at any moment at 0.15 USD/kWh or more. This price has to be less than its "avoided" cost in hard currency.

Biomass, Cane, Cogeneration, Energy

1. INTRODUCCION.

La biomasa es una de las más prometedoras fuentes de energía renovable disponibles por su magnitud. La caña de azúcar, en particular, tiene una gran capacidad para producir biomasa por ser una de las plantas que mejor convierte la energía solar, como se comenta Wade (2004). Además, su biomasa industrial (bagazo) se obtiene en la propia fábrica de azúcar y no dispersa por el campo. El destino fundamental del bagazo es ser quemado para producir la energía térmica y eléctrica que consume la propia fábrica de azúcar. En Cuba, al igual que en el resto del mundo de la caña de azúcar, todas las fábricas de azúcar generan el vapor y la electricidad que consumen durante la zafra. La generación de electricidad es, actualmente, un subproducto de la fabricación de azúcar, y sólo se produce cuando se procesa la caña. En estas condiciones, de acuerdo a la capacidad de la fábrica y a su presión de trabajo, la potencia instalada puede variar entre amplios límites. Hernández (2012) reporta que la industria azucarera cubana, por ejemplo, tiene instalada una potencia de casi 500 MW, de la que utiliza unos 400 MW (~ 10% de la capacidad total del país), produce alrededor de 35 kWh/t de caña procesada y exporta 6 de ellos al Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

La tecnología utilizada es común en la mayoría de las fábricas de azúcar de caña de todo el mundo, y consiste en quemar el bagazo en calderas que producen vapor de agua con una presión de hasta 20-30 bar con una eficiencia del orden del 70%. El consumo de vapor es de alrededor del 50% de la caña procesada. Para que este vapor pueda ser utilizado en el calentamiento de los productos azucareros hay que reducir su presión hasta 1-3 bar, lo que se hace en turbogeneradores de contrapresión, que son más baratos pues no necesitan condensar el vapor al utilizarse el total del mismo en calentar. Al reducir la presión para poder calentar, que es su objetivo primordial "azucarero", el turbogenerador "cogenera", es decir, produce, además de calor, electricidad, prácticamente sin costo. Esta producción de vapor y electricidad tiene que ser balanceada con su consumo, o se produce un exceso de bagazo sobrante, inmanejable por las fábricas, que puede afectar la producción de azúcar. Todo lo anterior se describe en MECAS (2009). Para que esto no suceda, las fábricas, conscientemente, tienen que ser poco eficientes termoenergéticamente para poder ser eficientes en la producción de azúcar. Cuando se mejora la eficiencia termoenergética dentro de los límites de lo tradicional, se puede llegar a un índice de generación del orden de 40 kWh, con un consumo propio de unos 25-30 y una exportación de hasta 15 kWh, en todos los casos por tonelada de caña procesada.

Por otro lado, los compradores-distribuidores de electricidad, como regla, la quieren comprar establemente durante todo el año (y no solo en zafra), cerca de las grandes ciudades (y no en la zona rural), más en el horario pico y menos de madrugada, mientras que a la fábrica de azúcar le "sobra" electricidad cuando la producción azucarera lo permite y no necesariamente cuando la demanda eléctrica la necesita. Cuando aparece un consumidor de bagazo, como una planta de tableros o de pulpa y papel, por ejemplo, o un comprador estable de toda la extra-electricidad que se produzca a un precio razonable, se dan las condiciones para analizar el incremento de los parámetros de operación del área energética de la fábrica de azúcar, de la producción de electricidad y de la inversión asociada, para ver su factibilidad.

Esta es la realidad cubana actual pues el SEN puede asimilar biokWh en cualquier momento del día y en cualquier lugar de Cuba, ya que puede balancear esa oferta con la parada de algunos de los motores eléctricos de capacidad similar que opera en forma distribuida por todo el país, como se discutió en el Seminario sobre el desarrollo de las Energías Renovables Brasil-Cuba (2009). Por otro lado, el precio del combustible fósil, asociado al precio del petróleo, no sólo ha subido y alcanzado máximos espectaculares, sino que ya nadie duda que se agotará y lo que se discute es cuán temprano se producirá ese agotamiento y qué precio alcanzará, como se vio en el Seminario Internacional OIA (2008). También, en MECAS (2007) se discute el cambio climático, cuyas consecuencias ya está viviendo la humanidad, y que ha hecho más perentorio sustituir los combustibles fósiles, en particular en la producción de electricidad, por otros renovables que no incrementen el efecto invernadero. Se han fortalecido las oportunidades para las Bioeléctricas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Los materiales y métodos utilizados son bibliográficos, es decir, el análisis realizado y los resultados del mismo están basados en el estudio de las características y los resultados de las Bioeléctricas existentes que utilizan biomasa de caña de azúcar, al menos en zafra, y de las ofertas más recientes de las mismas. A los efectos de facilitar el análisis se ha considerado que la Bioeléctrica es una Planta técnicamente independiente de la fábrica de azúcar, aun cuando está íntimamente vinculada a la misma por diferentes vías, lo que se discutirá también.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Ejemplos de Bioeléctricas.

Evidentemente, para producir más electricidad en una fábrica de azúcar, ya agotadas las posibilidades tradicionales, habría que utilizar calderas con la mayor eficiencia posible (más vapor por tonelada de biomasa), reducir el consumo de vapor de proceso lo más posible (más vapor para condensar), trabajar a la mayor presión y temperatura posibles (mas electricidad por tonelada de vapor), utilizar turbogeneradores de extracción-condensación (para extraer mas electricidad del vapor que ya no va a ser utilizado en el proceso) y aprovechar al máximo la capacidad instalada (trabajar fuera de zafra), entre otras acciones. A continuación se presentan algunos casos de Bioelectricas y sus características más importantes, como preámbulo a la discusión de los factores que más influyen para la conformación de una estrategia para la toma de decisiones sobre qué Bioeléctrica debe instalarse anexa a una fábrica de azúcar.

3.1.1. Bioeléctrica Héctor Molina (2003) asociada a una fábrica de azúcar de capacidad 7000 t/día de caña, con una destilería, que se proyectó para operar 310 días al año con 1800 t/día de bagazo 50% de humedad (85% de la molida), con una caldera de 175 t/h que trabajaría a 65 bar y 480°C, y un turbogenerador de extracción-condensación de 35 MW. La biomasa seria unas 490 000 t de bagazo y paja, de caña azucarera y energética. Se preveía exportar al SEN 150 GWh. El costo estimado de la inversión era 65 MMUSD.

3.1.2. Bioeléctrica Melanio Hernández con Alstom, asociada a una fábrica de azúcar de 4 600 t/día de caña de capacidad que se elevaría a 5750 con una destilería. Según Font y Hernández (2000) se proyectó para operar 330 días al año con 1300 t/día de bagazo 50% de humedad (85% de la molida), con una caldera de 180 t/h que trabajaría a 80 bar y 505°C, y un turbogenerador de extracción-condensación de 33 MW. La biomasa seria unas 220 000 t de bagazo en zafra, apoyado por 50 000 t de paja y 170 000 t de biomasa de caña energética, de las que 60 000 t deben almacenarse para el periodo de lluvia. Alstom consideraba al Proyecto como demostrativo para replicar en Cuba en otras 5 Bioelectricas, apoyaba la gestión de un crédito blando vinculado al Mecanismo de Desarrollo Limpio y estaba dispuesto a asociarse a través de un BOT. Se preveía exportar al SEN 150 GWh. El costo estimado de la caldera y el turbogenerador era 48.2 MMUSD.

3.1.3. Bioeléctricas en la Isla de Reunión. Herrero (2001) visitó Le Gol, fábrica de 9600 t de capacidad y Bois Rouge, de 8500, cuyas cañas se cortan manual e integralmente, con un consumo de vapor de 39% de la caña. Poseen dos líneas iguales con una caldera de 145 t /h con bagazo (130 en Bois Rouge) o 120 t/h de carbón a 82 Bar y 520°C, que queman en suspensión el bagazo con 89% de eficiencia, y el carbón con 91%, y un turbogenerador de 32 MW, con extracción a 3 Bar y condensación (30 MW en Bois Rouge). Recuperan el 100% del agua condensada en Le Gol y el 92% en Bois Rouge. Intercambian 310 kilogramos de bagazo 50% de humedad por 410 Kg de vapor de 3 Bar (450 Kg en Bois Rouge, que incluye una refinería y una destilería) y 30 kWh (28 en Bois Rouge). La inversión fue de 1700 USD/kW. Ambas Bioelectricas tienen

99% de disponibilidad y 93%, mantenimiento incluido. La Bioeléctrica no para aunque pare la fábrica de azúcar pues utiliza el segundo combustible, lo cual constituye una garantía para la producción de azúcar.

3.1.4. Bioeléctricas en la Isla Mauricio. Deepchand (2005) describe la Bioeléctrica asociada a la fábrica de azúcar de Belle Vue de 70 MW, con 90 MMUSD de inversión que comenzó sus operaciones en abril del 2000 y exportó 115 GWh al año siguiente. Las fábricas Deep River, Beau Champ y Fuel incrementaron su potencia instalada lo que les permitió exportar 60 GWh a cada una, todos de bagazo, y cantidades similares o superiores de carbón en tiempo inactivo. El resto de las fábricas también se modificaron para poder exportar electricidad, sin grandes inversiones, dentro de lo tradicional. En el 2004, se había triplicado la exportación de electricidad de bagazo pasando de menos de 100 GWh por año a más de 300, asumiendo el 50% del consumo de la isla. De la misma manera, en ese mismo plazo se quintuplicó la eficiencia de generación hasta 60 kWh/t de caña, de promedio,. En las mejores Bioeléctricas se alcanzaba 125, que aun no es el límite posible cuando se suba la presión de trabajo a más de 80 Bar.

3.1.5. Bioeléctrica Fibrothetford en el Reino Unido, inaugurada en 1992. En el informe de Lodos (2001) se comenta que generaba 38.5 MW de 430 000 toneladas de gallinaza y harina de res con 40% de humedad, trabajaba 8 000 horas al año y exportaba 300 GWh anuales con una inversión de 70 MMUSD (1 820 USD/kW) con una caldera de 160 t/hora con 60 Bar y 460°C. La ceniza se vende como fertilizante.

3.1.6. Bioeléctrica EPR en el Reino Unido, inaugurada en el 2000. En el informe de Lodos (2001) se comenta que generaba 36 MW, de 200 000 toneladas de paja de cereales de 25% de humedad. Quemaba permanentemente 10% de gas natural, lo que le permitía asimilar cualquier residuo agrícola que recibíese. Trabajaba 8 000 horas al año y exportaba 270 GWh anuales, con una inversión de 90 MMUSD (2 200 USD/kW) con una caldera de 160 t/hora con 92 Bar y 540°C. La ceniza se vende como fertilizante.

3.1.7. Bioeléctrica en la fábrica de azúcar de remolacha de Bury St. Edmunds en el Reino Unido, inaugurada en 1995. En el informe de Lodos (2001) se comenta que generaba 75 MW a partir de gas natural (en la industria azucarera de remolacha el "bagazo" se dedica totalmente a alimentación animal) en ciclo combinado (45 MW en la turbina de gas y 30 MW en la turbina de vapor). Tienen una caldera de 175 t/hora de vapor a 75 Bar y 525°C, asociada a un turbo generador de contrapresión a 2 Bar para el proceso. Recuperan 98% del condensado. El consumo propio es 13 MW en zafra y 5 MW cuando procesan meladura. Exportan 340 GWh anuales. La capacidad de la fábrica de azúcar era de 12 500 t/día de remolacha y producía casi 1 100 toneladas de azúcar por día, de septiembre a enero. De febrero a abril, procesan 160 000 t de meladura almacenada de 68% Brix en azúcar. La inversión energética fue de 70 MMUSD.

3.1.8. Bioeléctrica ARBRE (2002) de ARable Biomass Renewable Energy, en el Reino Unido, una Bioeléctrica demostrativa con la última tecnología existente, que gasificaba 43 000 t por año de astillas de sauce, con 10% de humedad (secada en la Bioeléctrica) provenientes de 1300 ha en un radio de 75 km., en lecho fluidizado de cal o dolomita a 850°C y 1.5 Bar. Un segundo gasificador, con una ligera admisión de aire a 920°C, eliminaba los alquitranes del gas. Después de enfriar el gas a 180°C y purificarlo a través de filtros de bolsas para eliminar agua, amoniaco, cenizas alcalinas y residuos de compuestos aromáticos que pudiera contener, se comprime e inyecta en una turbina de gas que genera 4.8 MW, y se quema para producir vapor que entrega 5.7 MW adicionales en una turbina de vapor. Se propuso en 1995, se aprobó en 1997, se terminó en el 2000 y se inicio su puesta en marcha en abril del 2001, que duro todo dicho año.

3.1.9. Bioeléctrica en desarrollo Jesús Rabí (2012) asociada a una fábrica de azúcar de capacidad 4 500 t/día de caña, con una destilería, que opera con un consumo de 1100 t/día de bagazo 50% de humedad (85% de la molida). La ingeniería básica se realizó previamente y, en base a la misma, se solicitó una caldera con capacidad de 110 t/h a 62 Bar y 500°C con una eficiencia como mínimo del 85% (Índice de generación de 2.2-2.4 t de vapor/t de bagazo), y un turbogenerador de extracción-condensación de 20 MW. En zafra

entrega al proceso 79 t/hora de vapor (42% de la caña) a 2.8 Bar, fuera de zafra entrega solo 22 t/hora de vapor para la destilería y la planta de tratamiento térmico. Trabaja 290 días al año, de ellos, 180 de zafra con bagazo y 20-22% de residuos agrícolas de cosecha (RAC), y 110 fuera de zafra, 50 con la misma biomasa propia almacenada, 36 con la misma biomasa pero de otras fabricas de Matanzas, y 24 días con biomasa forestal. Necesita unas 230 000 t de bagazo (200 000 t propias), 60 000 t de RAC (52 000 t propias) y 18 000 t de residuos forestales. Entrega al SEN alrededor de 100 GWh. La demanda promedio de la industria en zafra (incluye destilería) es de 5.2 MW y de 0.8 fuera de zafra. El índice de generación es 110 kWh/t de caña, de los cuales 90 exporta al SEN. La Planta de tratamiento de agua originalmente solicitada, era tradicional con clarificación, filtración mecánica y columnas de intercambio iónico para desmineralización,

3.1.10. Bioeléctrica en desarrollo Biopower] (2012), empresa mixta asociada a una fábrica de azúcar de 7 000 t/día de caña, con una fábrica de levadura, que opera con un consumo del orden del 2100 t/dia de biomasa (bagazo 50% de humedad equivalente al 85% de la molida y marabú). La ingeniería básica no se realizó previamente sino que a los ofertantes se les dio la cantidad de biomasa disponible por día y sus características, y se les pidió que maximizasen la producción anual de electricidad. Las mejores ofertas proponían una caldera con capacidad de 200 t/h a 80-90 Bar y 520°C con una eficiencia del 85% o más, y un turbogenerador de extracción-condensación de 60 MW, que entrega en zafra 45 MW (5 autoconsumo, 8 a la fábrica de azúcar y exporta 32 al SEN). En zafra entrega a la fábrica de azúcar 110-120 t/h de vapor (42% de la caña) a 2.8 Bar. Fuera de zafra entrega solo el consumo de la Planta de levadura. Trabaja 290 días al año, de ellos, 150 de zafra y 30 fuera de zafra, con bagazo y hasta 10% de marabú (en los que exporta 130 GWh al SEN); y 110, fuera de zafra con marabú, en los que exporta casi 140 GWh, para 260-270 GWh de exportación total anual. Para lo anterior se necesitarán unas 550 000 toneladas de biomasa, expresada como bagazo 50% de humedad, de la cual unas 180 000 toneladas serán de marabú. No se excluye que, de disponer la fábrica de azúcar de RAC, lo pueda mezclar con el bagazo para incrementar o garantizar mejor su compromiso de suministro. La Planta de tratamiento de agua tiene un tratamiento final por ósmosis inversa.

3.2. Los elementos más importantes para definir una estrategia de Bioeléctricas.

3.2.1. Índice de generación (kWh/t caña): Los resultados ilustrativos de la experiencia real de la industria azucarera en zafra aparecen en la tabla I. Se aprecia claramente que, dentro del esquema tradicional 25-30 Bar, aun cuando es posible exportar una cantidad importante de electricidad, ya el bagazo sobrante empieza a ser un problema. Por supuesto, esa extra-electricidad necesita de un comprador seguro cuando la fábrica de azúcar la esté produciendo, en cualquier momento del día en que esto suceda. Cuando se sustituyen las calderas de baja presión y eficiencia y los turbogeneradores de contrapresión, por calderas de alta presión y eficiencia (y la temperatura superior correspondiente) y turbogeneradores de extracción-condensación, el índice de generación se duplica o triplica y, con más razón, se necesita del comprador seguro anterior y que, además, pague un precio razonable por ella para poder repagar la inversión especializada realizada.

TABLA I: ÍNDICE DE GENERACIÓN PARA DIFERENTES PRESIONES Y ESQUEMAS

Presión, Bar (psig), t^0C	kWh/t caña en zafra	Comentarios, Índice
10 (~150) ~200^0C	<20	Esquema tradicional: compra electricidad
18 (~250) ~300^0C	~20	Esquema tradicional: está balanceada eléctricamente
28 (~400) ~350^0C	~40	Esquema tradicional. Los centrales "nuevos" cubanos que exportan electricidad y el bagazo sobrante ya es un problema
60-65 (~900) ~490^0C	~100	Nuevo esquema: Belcogen (Belice) 105
80-90 (~1200) ~530^0C	~150	Nuevo esquema: Shree (India) 137, Bois Rouge y Le Gol (Reunión) 160, Bellevue (Mauricio) 198 kWh/t de caña

El consumo de una fábrica de azúcar es del orden de 25 kWh/t de caña, según su nivel de electrificación.

3.2.2. Eficiencia de la caldera. La capacidad de convertir biomasa en vapor depende, fundamentalmente, de las características de la biomasa, del diseño del horno donde se quema la misma y del aprovechamiento al máximo de todo el calor liberado, precalentando o secando, según corresponda, la biomasa, el agua o el aire, que alimentan la caldera. Esta tarea es tanto más compleja cuanto más el combustible sea una mezcla de biomasas con diferente granulometría, humedad, peso especifico etc. lo que dificulta decidir un solo tiempo de residencia o lugar de combustión que satisfaga a todas las biomasas. El uso de parrillas inclinadas, móviles o vibrantes, y la quema fija o en suspensión, son soluciones que intentan enfrentar esta situación. También se han propuesto hornos mixtos con zonas o quemadores diferenciados, adaptados a diferentes biocombustibles. Las calderas que queman la biomasa en lecho fluidizado con arena u otros materiales inertes a temperaturas de 900°C y más, donde todo se quema rápidamente, son caras y no están muy difundidas en la industria azucarera, que siente que no es aun ciencia constituida en la misma. En cualquier caso, como se vio en las Bioeléctricas existentes, alcanzar una eficiencia de no menos del 85% trabajando con temperaturas en el rango de 480-540°C es normal, lo que se corresponde con una produccion de 2.2-2.4 unidades de vapor por unidad de bagazo con 50% de humedad. El precio de seguir incrementando uno o dos porcientos adicionales la eficiencia, probablemente no justifique el incremento asociado en la inversión.

3.2.3. Calidad del agua: Está claramente establecido que el agua de alimentación de la caldera tiene que tener calidad de ósmosis inversa, por lo que la desmineralización por intercambio iónico es insuficiente, que hay que obtener un retorno de condensados del orden del 90% del vapor enviado a proceso, que es la práctica existente y que es indispensable lograr.

3.2.4. Tiempo de operación: Lo ideal sería operar a plena capacidad, con bagazo y otros residuos propios solo durante la zafra, que es cuando la cogeneración es máxima. Sin embargo, en ese caso, se aprovecha poco la inversión hecha y se elevan los costos fijos de operación, sin contar que se obliga al SEN a tener capacidades disponibles para el resto del año. Esta alternativa es válida en países donde las zafras son de hasta 10 meses, como Perú y Colombia, o de 8 meses como es el caso de algunas regiones de Brasil, por ejemplo. En países como Cuba con zafras del orden de 5 meses, la alternativa para extender el trabajo de la Bioeléctrica sería almacenar biomasa, tener una fuente complementaria de biomasa o quemar combustible fósil. En la misma medida en que el Protocolo de Kioto dejó de estar vigente y el mecanismo de energía limpia desapareció, esta última alternativa no debe darse por descontada automáticamente. Inclusive, es aún muy utilizada en varios de los ejemplos que se presentaron, en los que, de todas formas, casi la mitad de la energía producida es sobre bases renovables, lo que no deja de ser un importante logro. El almacenamiento de la biomasa por largo periodos de tiempo y en grandes cantidades, aun cuando está resuelto técnicamente, no deja de ser complejo y costoso. De alguna manera, almacenar biomasa "sobrante" implica también que la capacidad de la Bioeléctrica tuvo que reducirse pues hay un compromiso entre "maximizar" la producción de electricidad y "maximizar" la extensión de la campaña para producirla. El mejor exponente de esto es la Bioeléctrica de Rabí. Solo la disponibilidad de una segunda biomasa permitiría romper esta contradicción y maximizar la producción de electricidad y la duración de la campaña simultáneamente, cuyo mejor exponente es Biopower. Hay coincidencia en que deben lograse zafras "sucro-energéticas" de no menos de 150 días de duración, con 30 días adicionales o mas con biomasas provenientes de la caña de azúcar, y completar 230 días de operación mínima de la Bioeléctrica con otras biomasas disponibles localmente. Toda instalación de producir derivados anexa a la fábrica de azúcar que consuma vapor de baja presión todo el año, apoya la eficiencia general del proyecto integral, pues incrementa el tiempo de "cogeneración" aun cuando disminuye la exportación de electricidad al SEN.

3.2.5. Consumo de vapor en proceso: Este es el principal "ladrón" de electricidad de la Bioeléctrica. Actualmente todo el vapor producido se utiliza en el proceso con un índice de consumo de cerca del 50% de

la caña molida. En la industria de azúcar de remolacha, en los países líderes, este indicador es de menos del 30% como se vio en Bury St. Edmunds. La tarea más importante para incrementar la venta de electricidad al SEN, es reducir el consumo de vapor de la producción de azúcar del 50% a los alrededores de 40%, al menos, liberándolo para ser condensado, lo que puede incrementar la producción de electricidad en 10-20%. Esta reducción puede lograrse con pequeñas inversiones. Llegar a los niveles de la industria remolachera exigirá una renovación y modernización importante del equipamiento, con la consecuente alta inversión.

3.2.6. Contrapresión-Condensación versus Extracción-Condensación: Como 5-6 meses se cogenerará, pudiera pensarse en tener un turbogenerador de contrapresión barato, como los actuales, dedicado solo a entregar vapor de proceso de baja presión, y otro, solo de condensación, para el exceso de vapor que se obtenga producto del incremento de eficiencia, también más simple por no tener extracción. Solo se pudiera trabajar en zafra o habría que tener dos calderas, cada una asociada a su turbogenerador, ambos grupos trabajando el zafra, y solo el de condensación fuera de zafra con biomasa almacenada o de otros orígenes. Es un esquema simple de operar pero que encarece la inversión unitaria y minimiza la entrega de electricidad, pues limita la capacidad de la Bioeléctrica a aproximadamente la mitad fuera de zafra.

3.2.7. Biomasa alternativa RAC: Algunos autores como Deepchand (1986), Aguilar y otros (1996) Rubio y Pérez (1996) y Waldheim y otros (2000) recomiendan con mucha fuerza el uso como combustible de los RAC, hojas secas y topes ("cogollo"), que, usualmente, se quedan en el campo o en los centros estacionarios de limpieza, particularmente en Cuba. Las estimaciones de los niveles de disponibilidad de esta biomasa varían mucho, porque la mayoría de los autores solo mide su valor absoluto, refiriéndolo a la caña total, sin tomar en consideración que esa proporción depende, en primer lugar, del rendimiento agrícola, pues el crecimiento de la caña es su mejor sistema de limpieza. Como la lógica de la Bioeléctrica exige que se incremente la disponibilidad de caña elevando su rendimiento agrícola, los cálculos deberían referirse a rendimientos superiores a 65 t/ha o más (unas 80 000 @/caballería), satisfactorios aunque no espectaculares. En esas condiciones, el contenido de RAC puede ser del orden del 10% de la caña según Lodos (1993). Parece razonable considerar que solo el 50% de esta cifra es económicamente "cosechable", aunque solo sea porque conviene dejar una cierta cantidad en el campo como cobertura de los surcos, favoreciendo la preservación de su humedad y limitando la aparición de malas hierbas. Además, los RAC tienen también que ser "cosechados" y preparados de alguna manera para su mezcla con el bagazo, por lo que se necesitan equipos e instalaciones para ello que deben de ser consideradas en cualquier análisis. No debe confundirse que los RAC sean "sobrantes" con que no tengan un costo de recolección, transportación y preparación, en dinero y en energía, que debe ser considerado. En nuestra opinión el peso específico que los RAC pueden desempeñar en la producción de energía, desde el punto de vista técnico-económico, está sobrevalorado. Una alternativa interesante es procesar caña integral, energética o con alto contenido de RAC, como en la Isla de Reunión, en las fabricas con grandes Bioeléctricas anexas, y analizar si el extra-costo en transportación y la extra-pérdida de azúcar son compensadas con la extra-biomasa obtenida in situ, y la correspondiente extra-energía. En 100 t de caña, por cada 1% más de RAC que contenga, se obtiene 3% de extra-bagazo, equivalente a unos 500 kWh (~75 USD) y, según Lodos (1993), se perderían unos 50 kg. de azúcar (~25 USD) con reservas para enfrentar los otros extra-costos, por lo que el análisis propuesto no es descabellado.

3.2.8. Otras Biomasas: En principio, cualquier biomasa disponible en las cercanías de la Bioeléctrica, como residuos forestales y citrícolas, árboles energéticos, cáscara y paja de arroz o cáscara de coco, por ejemplo, puede ser aprovechada. En las condiciones de Cuba, el marabú ocupa un lugar especial por su extensión en más de 700 000 hectáreas con más de 25 MM de toneladas por casi todo el país, y por la necesidad de limpiar los campos del mismo, como condición obligatoria previa para sembrar otros cultivos. En esas condiciones, es muy atractivo intercambiar marabú por la limpieza del campo, que se haría sin costo para el propietario, pues este se transferiría a la biomasa. Tal es el esquema de Biopower, donde el marabú es el segundo combustible. En el caso de Rabí, la cosecha y puesta del marabú en la fábrica de azúcar corre por la agricultura, que cobraría un precio por suministrar dicha biomasa que, en este caso, es solo complementaria.

Cualquier biomasa no cañera, marabú en particular, tendría que ser procesada para poderla quemar mezclada con el bagazo, si ese fuera el caso, fuera o dentro de la caldera, según sea la solución técnica que se proponga. En cualquier caso, todas la biomasas, el bagazo y el RAC incluidos, deben estar con una humedad lo más baja posible, pero no inferior al 15-30% por el riesgo de incendio, con un tamaño apropiado de hasta unos 5 cm, con una distribución lo más regular posible, sin suelos o piedras acompañantes,

3.2.9. Almacenamiento de biomasa: Mientras más días fuera de zafra se quiera operar con biomasa cañera, mas su almacenamiento se convierte en un problema. Esto está vinculado a la baja densidad del bagazo (lo que exige grandes áreas), al riesgo de incendio mientras se va auto-secando con el tiempo y a lo complejo y costoso de su manipulación, que incrementa sus pérdidas, aun cuando esté técnicamente resuelto. Mientras más se seque y compacte el bagazo industrialmente, mayor densidad tendrá, pero mayores serán los costos de inversión y operación, y el consumo de energía. La densidad del bagazo suelto a granel es de 0.1, cuando se empaca húmedo puede subir a 0.2, si se seca parcialmente al 30% de humedad y se briquetea, puede subir a 0.5 y, si se seca al 10-15% y se peletiza, puede llegar a 1.0. La inversión y el consumo de energía para empacar/desempacar son relativamente bajos, briquetear está a un nivel intermedio-bajo, y es una opción que puede analizarse, y peletizar está a un nivel significativamente mucho más elevado y el resultado de la experiencia del sistema Camilo Cienfuegos y sus tributarios, no fue exitosa.

3.2.10. Capacidad en zafra y en no zafra: Cualquiera que sea la capacidad nominal que se desee, siempre habrá diferencias entre zafra y no zafra, porque en zafra una parte importante del vapor se entrega al proceso sin llegar a condensarse. Si el turbogenerador se diseña para no zafra, estará algo sobredimensionado en zafra pero generará la máxima cantidad de electricidad posible en el año, con la misma cantidad de biomasa. Si se diseña para zafra y para mantener esa potencia todo el año, pues sucederá lo contrario. En el caso de Biopower, por ejemplo, se maximizó la producción de electricidad y las mejores ofertas permitían producir 154 kWh/t de caña en zafra y exportar 110. Fuera de zafra, de otras biomasas, se producen 205 kWh/t de caña equivalente, de los que se exportan 188, ya que todo el vapor que iba a proceso se condensa. En el caso de Rabí, se solicitó diseñarlo para zafra, por lo que los 20 MW se mantienen constantes todo el año, y los índices son de 110 kWh/t de caña de producción y 90 de exportación al SEN. Con las premisas de Biopower, podían haber llegado fuera de zafra, con la misma cantidad de biomasa, a los alrededores de 25 MW e incrementar la entrega al SEN en más de 15 GWh por un valor de 2.3 MMUSD por año, que permite asimilar ventajosamente el posible incremento en el precio del turbogenerador. La situación anterior está vinculada también a cuándo y quién desarrolla la ingeniería básica. Evidentemente, cuando se sale a licitar una Bioeléctrica debe tenerse una idea de qué se desea o su ingeniería conceptual, que se va perfeccionando con el incremento del número de plantas y de la experiencia asociada a ello. Para las primeras, de la misma manera que no se quiere correr riesgos de suministro y se piden llave en mano (Biopower) o como planta completa (Rabí), pudiera no quererse correr riesgos técnicos y dejar que la ingeniería básica sea parte de lo que incorpora el ofertante. Desarrollar la ingeniería básica cuesta tiempo y dinero, por lo que si solo se suministra como información la ingeniería conceptual, es de esperar que las ofertas no tengan el mismo grado de terminación técnica que cuando se suministra inicialmente la ingeniería básica, y los elementos de experiencia previa y prestigio del ofertante cobran un mayor valor, así como su responsabilidad ante incumplimientos expresada en las penalidades correspondientes. Este tema, de si es mejor solicitar ofertas abiertas dejando al ofertante cubrir ese espacio, o darle una información muy detallada, dejándole sin mucha iniciativa para mejorarla, como parecen demostrar los casos anteriores, incorpora también elementos de opiniones, que dejan su respuesta abierta. En nuestra opinión, cuando la experiencia productiva directa es limitada, es mejor no obligar al licitante a cumplir con una ingeniería básica previa.

3.2.11. Nuevas tecnologías: Solantaustas y Beckman (2000) ya proponían el uso de la gasificación y el ciclo combinado en la producción de electricidad de bagazo. Ellos calculaban que una fábrica de azúcar de caña operando en zafra podía lograr una eficiencia total del 38%, superior a la que consideraban alcanzable con el ciclo normal, del orden del 28%. Así, proyectaban que la Bioeléctrica podría tener una capacidad de 3 MW

por cada 100 toneladas de bagazo con 50% de humedad que procesase por día, alcanzando 200-240 kWh/t de caña molida, superior a lo obtenido en las tecnologías actuales. En el informe de López (2002) se ha sugerido el uso de calderas de lecho fluidizado, burbujeante y circulante, que se utilizan ampliamente para la combustión de combustibles sólidos a temperaturas superiores a los 900^0C, aunque no existen experiencias con biomasa cañera y sus costos son muy superiores a los de las convencionales. Appleyard (2012), 10 años después, considera que la gasificación atmosférica y la pirolisis de biomasa todavía están solo al inicio de su introducción, y la gasificación integrada y el ciclo combinado, están aun en investigación y desarrollo, o en etapas solo demostrativas, mientras que Pla (2013) ya propone modelos eficientes para la simulación de la pirolisis y gasificación de biomasa. Estas nuevas tecnologías están esperando por su oportunidad,

3.2.12. Medio ambiente: La razón fundamental que justifica la producción de energía renovable, en particular de biomasa, es que no incrementa la emisión de CO_2 a la atmósfera, pues solo se le devuelve el que la caña absorbió de ella al crecer. En números redondos, cada bioMWh exportado salva casi 0.8 toneladas de "créditos de carbón". Biopower salvaría 240 000 t y Jesús Rabí 80 000 t de créditos de carbono. Este efecto, frecuentemente, se queda en la retorica y se sustituye por los resultados económicos de la inversión, ya que, en las Bioeléctricas también se ahorra una cantidad considerable de combustible fósil, que puede llegar en Biopower a 90 000 t anuales y, en Rabí, a 30 000 t, que es la fuente de repago de la inversión inicial.

3.2.13. El costo de la biomasa: Appleyard (2012), recientemente, ha estimado el costo de la biomasa en Europa en $0.06 per kWh basado en los estudios de IRENA. También ha estimado el costo fijo anual de operación del kWh en el 2-7% de los activos fijos de la inversión y el costo variable en 0.005 USD. En Europa estima que el precio de la biomasa local con 35% de humedad (2760 cal/gr.) estará en los alrededores de 10 USD/t, cuando es un desecho y retirarla es premiado; entre 60 y 80 USD/t, si es local, entre 70 y 110 si es importada con origen europeo, y hasta 160 USD/t cuando se importa seca y peletizada. En Brasil, el primer productor mundial de caña y de azúcar, por ejemplo, el precio del bagazo con 50% de humedad puede ser tan bajo como 11 USD/t, aunque el promedio está en la zona de 27 USD/t. En la India, el segundo gran productor, está entre 12 y 14 USD/t, menor que el de las cáscaras de arroz (22 USD/t). Otra posibilidad es intercambiar el bagazo (y el condensado de calidad) por el vapor de baja presión (2-3 Bar) y la electricidad que necesita la fabrica, dentro de límites bien definidos, cuyo incumplimiento o sobrecumplimiento genera multas o bonificaciones, que es lo mas difundido.

3.2.14. El costo y el precio del biokWh: El componente en divisas de este costo para Rabí se ha calculado como cercano a 0.05 USD/kWh. En Biopower, que incluye todos los gastos, independientemente de en qué moneda se efectuaron, es de algo menor de 0.06, por su mayor eficiencia y productividad. El SEN, como se ha mencionado, está en disposición de comprar toda la electricidad de fuentes renovables en la cantidad y momento en que se produzca, lo cual es una premisa ineludible para desarrollar las Bioeléctricas. Este precio debe ser competitivo con el costo en divisas del termokWh. ¿Y cuál es ese costo? Si se trata del costo de operación directo expresado en el combustible y algunos otros insumos productivos consumidos, debería de referirse e a las peores Termoeléctricas o a los grupos electrógenos, que serían los que se pararían si fuera necesario, y el valor obtenido sería del orden de 0.20 USD/kWh. Si a esto se le sumase el costo financiero evitado al no tener que construir nuevas unidades Termoeléctricas, la cifra se elevaría a mas de 0.25 USD/kWh. En cualquier caso y alternativa, el costo sería superior a 0.15 USD/kWh que es el precio que se propone para el biokWh mientras se recupera la inversión y que permite repagar el financiamiento solicitado para la misma. Entre las reservas para mejorar este indicador se encuentra pagar primas por la entrega priorizada en el horario pico o por su componente activo,

3.2.15. Inversión: Frecuentemente, se confunden el valor de la inversión con el costo de los equipos principales o, cuando más, con el costo de una "planta completa", que no incluye el valor del terreno, de la construcción y montaje y de la confección de gran parte de la documentación técnica. A veces, solo se toma

en consideración el valor de los recursos importados. Hay mucha coincidencia en que la inversión, todo incluido, para una Bioeléctrica es del orden de de 1800-2200 USD/kW de potencia instalada, mientras que para una termoeléctrica, en las mismas condiciones, es de hasta 1500 USD/kW. Esto está dado, entre otras razones, porque la capacidad y eficiencia de las Bioelectricas es menor, lo que afecta su economía de escala, y por los gastos adicionales que implica el almacenamiento y manipulación de la biomasa, a veces mezclada, comparados contra el fuel-oil, que se almacena y opera más fácilmente.

3.2.16. Condiciones del financiamiento: Es de esperar que varias de las Bioelectricas futuras sean de propiedad 100% cubana y que la inversión se financie con créditos gubernamentales, de Brasil o China, por ejemplo. En este caso, lo importante es el costo del equipamiento fundamental que, usualmente, debe de ser comprado a firmas del país que proveyó el financiamiento. El resto de las condiciones del préstamo, como años de gracia y de repago, interés y garantías primarias y colaterales, como regla, son favorables, los discuten y acuerdan los gobiernos y no son la preocupación fundamental del ejecutor de la inversión. Tal es el caso de Rabí. Sin embargo, si se trata de una Empresa Mixta, como es el caso de Biopower, la gestión el financiamiento es decisiva y sus condiciones deben hacer al negocio rentable y, por tanto, viable o no. Las discusiones con los proveedores son fundamentalmente técnicas en Rabi mientras que en Ciro, sin dejar de ser técnicas, son también comerciales. Lo que en Rabí es casi un ejercicio académico, en Biopower es la razón de su existencia, y un costo del dinero algo más elevado o la ausencia de una garantía apropiada pueden hacer fracasar al negocio. En general, se necesitan 2-3 años de gracia, mientras se construye la Bioeléctrica y, al menos, 5-6 años más para el repago del préstamo. Cada kW de potencia instalada cuesta unos 2000 USD y genera en el año entre 5500 kWh (230 días de operación mínima) y 7000 kWh (unos 290 días de operación máxima) equivalentes a un valor del petróleo ahorrado, a los precios actuales del mismo, de 900-1200 USD, suficientes para enfrentar las obligaciones asumidas en los plazos acordados.

3.2.17. Duración del negocio: En general, la vida útil de las plantas de generar electricidad se considera superior a 25 años, aun cuando su recuperación debe ocurrir en 7-8 años, con una tasa interna de retorno del orden del 10-15%. En el caso de Jesús Rabí, lo relevante es el retorno del país, que integra los beneficios de la fábrica de azúcar con los del SEN y la población, además de tomar en consideración la seguridad energética nacional. En el caso de la Empresa Mixta Biopower, aparece el elemento de competitividad, es decir, el inversionista extranjero, al cual no dirigimos, tiene la capacidad, dentro de ciertos límites, de decidir en qué país invierte. Sobre esta decisión influyen mucho elementos como la disponibilidad de biomasa, la calificación del personal y la confianza en los socios, por ejemplo, pero sin obviar el retorno que espera de su capital invertido y el que esperaría en otros países que, en el caso de Biopower, es del 18%. Esto está vinculado también a que, prácticamente, ha tenido que gestionar todo el dinero de la inversión por solo el 49% de las acciones, lo que en otros países le hubiera significado el 100% de las mismas. En otras palabras debe obtener un retorno adecuado para el total de la inversión cuando solo recibe la mitad de sus beneficios. En esas condiciones, la extensión del negocio y del acceso correspondiente a sus beneficios es muy importante, que en Biopower es 15 años, probablemente insuficiente para futuros negocios.

3.2.18. Aspectos legales: La institucionalización de los Programas de Energía renovable, en particular con biomasa, no debe subestimarse porque, entre otros elementos, crea condiciones favorables para hacer más transparentes las inversiones, nacionales o extranjeras, como menciona Montesinos (2013). Esto se refiere, por ejemplo, a la obligación contractual de los distribuidores de electricidad (el SEN en el caso de Cuba) en comprarla al precio pactado en cualquier cantidad y momento del día, a la voluntad del país de incrementar su proporción en la matriz energética nacional expresada en los planes estratégicos de la economía, a un tratamiento fiscal diferenciado, a la definición de las fabricas de azúcar que formaran parte de la estrategia, al otorgamiento de incentivos por el desarrollo vinculado de la producción de azúcar y la rehabilitación de tierras infestadas con marabú y la existencia de instancias oficiales, como un Grupo Gubernamental de Energías Renovables o Biomasa, con el que se pueda discutir expeditamente cualquier dificultad que surgiese.

3.2.19. Estandarización: Sin lugar a dudas que, teóricamente, se favorece desarrollar un plan ambicioso de instalación de Bioeléctricas para una misma corporación, cuando los equipos y parámetros fundamentales de las mismas se estandarizan. Esto es válido no solo para Bioeléctricas sino también para destilerías y otras plantas de derivados, pues permite hacer compras casi mayoristas, simplifica el mantenimiento y reduce el inventario de piezas de repuesto, por ejemplo. Sin embargo, simultáneamente, favorece también a la creación de suministradores exclusivos y la reducción de la capacidad potencial de las plantas. En buena práctica, la estandarización debería de comenzar por las fábricas de azúcar que deberían de crecer, progresivamente, hasta que todas se agruparan en dos o tres categorías solamente de capacidades, situación bien diferente de la actual. Todo lo estandarizable, como pueden ser las presiones y temperaturas, los materiales, algunos equipos auxiliares y los rangos de consumo y generación, pudiera ser estandarizado, aun cuando cada caso lleve un análisis individualizado.

4. CONCLUSIONES.

Que el cambio climático y el "efecto invernadero" obliguen a sustituir la energía proveniente de combustibles fósiles por energía de combustibles renovables es retorico, por lo que el resultado de la Bioeléctrica tiene que ser no solo ecológico sino también económico.

Hay que maximizar la producción de electricidad para lo cual la Bioeléctrica debe licitarse, por el momento, en forma abierta sin excesivas restricciones técnicas, operando a mas de 80 Bar y a la temperatura correspondiente, con turbogeneradores de extracción-condensación calculados para fuera de zafra, y la tecnología a utilizar tiene que ser ciencia constituida.

Decide la disponibilidad de biomasa, que regula la capacidad, la economía de escala, la duración de la operación y la rentabilidad de la Bioeléctrica. Hay que evaluar urgentemente procesar caña integral pues depender excesivamente del RAC es peligroso. Hay que darle gran atención al almacenamiento del combustible complementario, su trasiego, mezclado, combustión y, eventualmente, briqueteo.

Es conveniente estandarizar la capacidad de las fábricas de azúcar asociadas a Bioeléctricas, que tienen que reducir el consumo de vapor de proceso a los alrededores del 40%, sin grandes inversiones en sustitución de equipos o tecnologías, y extender la zafra a no menos de 150 días de duración

El SEN puede y tiene que asimilar el biokWh en cualquier momento del día y en cualquier lugar de Cuba que se produzca y pagar, al menos, 0.15 USD/por el mismo, siempre menos que su costo evitado en divisas en cada momento.

5. REFERENCIAS.

- Aguilar, A; Rodríguez, M; Leal, D; Pérez, F. (1996), Cane agricultural waste fuel potencial and available technology. Proceeding of XXII Congress of International Society of Sugar Cane Technology. Cartagena de Indias. Colombia.
- Appleyard, D. (2012), Chief Editor, Renewable Energy World magazine October 3.
- ARBRE (2002), The ARable Biomass Renewable Energy. Biomass gasification - combined cycle plant Energy Globe 2002 Awards.

- Biopower (2012), Ciro Redondo Biomass Power Generation Project. Volume 1: Instructions to Tenderers EPC Contract Package; Volume 2: Engineering Procurement & Construction Contract:; Volume 3: EPC Contract Package Technical and Functional Specification. BioPower S.A.
- Deepchand, K. (1986), Economics of Electricity Production from Sugar Cane Tops and Leaves, a preliminary study. International Sugar Journal. 88 (1055):210-216.
- Deepchand, K. (2005), Cane Bagasse Energy Cogeneration – Lessons from Mauritius, Parliamentarian Forum on Energy Legislation and Sustainable Development, Cape Town, South Africa (5-7 October).
- Font, G; Hernández, J. (2000), Informe de la misión a Italia para el Proyecto de Cogeneración del CAI Melanio Hernandez con la firma ALSTOM POWER.
- Héctor Molina (2003), Proyecto de Cogeneración con Biomasa Cañera "Hector Molina", Memorando de Información, Octubre.
- Hernández, B. (2012), Generación de electricidad en zafra. Sucroenergía, mayo.
- Herrero Mastrapa, R. (2001), Informe del viaje a la Isla de la Reunión, noviembre.
- Jesús Rabí (2012). Estudio de Oportunidad Planta Bioeléctrica 20 MW UEB Central Azucarero Jesús Rabí, IPROYAZ, mayo.
- Lodos, J. (2001), Informe de la visita a Bioeléctricas del Reino Unido, diciembre.
- Lodos, J. (1993), Los efectos del uso de descogolladores. International Sugar Journal. Vol. 95, No. 1135, págs. 255-260.
- López, P. (2002), 12ª Conferencia y Exhibición de Tecnología para Biomasas y Energía, Ámsterdam, Holanda, julio.
- MECAS (2009), Cogeneración: Oportunidades en la industria mundial del azúcar. MECAS (09)05 OIA.
- MECAS (2007), Políticas gubernamentales sobre biocombustibles y cosechas azucareras: Perspectivas hasta 2015. MECAS (07)17 OIA.
- Montesinos, L; Moreno, C; Montesinos, A. (2013), The lack of a renewable energy policy mechanism specific for Cuba. World Wind Conference, Havana, Cuba, June 3-5.
- Pla, M; Oliva, D; Aponte, A. (2013), Simulation of the pyrolisis and gasification of the husk of rice with employment of CFD program, World Wind Conference, Havana, Cuba, June 3-5.
- Rubio, A; Pérez, F. (1996). "Availavility and alternatives for the process of sugar cane residues with energetic purposes". II Conferencia de Termoenergética Industrial. Santa Clara. Cuba.
- Seminario sobre el desarrollo de las Energías Renovables Brasil-Cuba (2012). Cuba: Importante potencial de Fuentes Renovables de Energía. Marzo.
- Seminario internacional OIA (2008), Londres, 17 al 21 de noviembre.
- Solantaustas, Y; Beckman, D. (2000), Utilization Of Bagasse Residues In Power Production IEA Bioenergy Task 22, Techno-Economic Assessments for Bioenergy Applications 2000 .
- Wade (2004), Bagasse Cogeneration –Global Review and Potential. Alianza Mundial por la Energía Descentralizada (WADE), junio.
- Waldheim, L. et al., (2000), Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash, in proc. Progress in Thermochemical Biomass Conversion, September.

Hydrogen and Syngas production via steam gasification of bagasse in a dual bed reactor

Morteza Shoja[b], Ahmad Tavasoli[1a] , Javad Mohebi[c]

[a] School of Chemistry, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

[b] Department of Energy Engineering, Science and Research branch of Islamic Azad University, Tehran, Iran

[c] Department of Chemistry, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Steam gasification of bagasse followed by thermal cracking of tar was carried out at atmospheric pressure using a dual bed reactor. The first bed was used for the steam gasification and the second bed was used for thermal cracking of tar. Iron fillings were used as the packed bed material in the second bed. The effects of reaction temperature (600 to 900°C), packed bed height (40-100 mm) and steam/bagasse ratio on the product (char, tar and gas) yield and gas (H_2, CO, CO_2, CH_4, C_nH_m) composition were studied. Over the ranges of the experimental conditions used, the operating conditions were optimized for gasification temperature around 850°C, a steam/bagasse ratio of 0.6 and packed bed height of 100 mm, because a gas richer in hydrogen and carbon monoxide and poorer in carbon dioxide and hydrocarbons. It was observed that the steam gasification of bagasse in a dual bed process increased the gas yield from 0.622 to 0.762 (m^3/kg) and decreased the tar yield from 0.53 to 0.39 (g/g) compared to single bed process while the heating value of the product gas remained almost constant (10-11MJ/m^3). H_2 and CO yields increased to 18.02 and 49.3 vol.%, respectively and CO_2 yields shifted down to 27.06 vol.%. Methane and heavier hydrocarbon gases yields decreased to 5.34 and 0.262 vol.%. These variations are attributed to reforming of tar compounds with steam and/or CO_2 and water gas shift reactions.

Keywords: *Steam gasification, Bagasse, Dual bed reactor, Syngas production, Hydrogen production;*

[1]Corresponding author; Email: tavassolia@khayam.ut.ac.ir; Tel.: 982161112726; Fax: 982166495291

1. INTRODUCTION

Recently, the global warming undesirable outcomes and energy supply issues have been drawn more and more attentions around the world. The anomaly climate is related to greenhouse gas concentration increasing so that how to reduce the greenhouse gas emissions became the major issue. Many scientists indicated that the development of renewable energy can effectively alleviate the current problems. Thus renewable energy should be widely explored to renovate the energy sources structure and keep sustainable development safe with increasing populations and economic development [1]. Bioenergy is the most widely used form of renewable energy in the world. It has been used by many countries for centuries and currently provides over 15% of the world's energy supply [2]. Biomass, in contrast to water, wind and sun, is the only renewable energy source that does not depend on the weather and guarantees a continuous energy generation.

Annually, more than six hundred thousand tons of bagasse is burned in Haft Tappe Industries Company in Iran, which creates serious environmental problems and wastes huge amounts of energy. There are several methods of utilizing this valuable biomass to generate energy and fuels, however, gasification processes, technologically offer more attractive option for large scale applications and is a more friendly way for using bagasse for energy purposes, given that due to the presence of non-oxidation conditions, the pollutant emissions are greatly low [3-10]. Theoretical calculations show that about 100 grams of hydrogen can be produced by one kilogram of bagasse. The hydrogen-rich gas produced from bagasse gasification, not only can be considered as an alternative energy source but also, hydrogen and synthesis gas produced in this process can be used in Oil, Gas and Petrochemical industries.

Substantial research on biomass gasification has been carried out during the past two decades, employing different gasifier configurations, oxidants, and modes of heating [1-18]. However, most of the biomass gasification studies conducted to date have been focused on the production of direct-combustion gases, not on the production of hydrogen and synthesis gas (H_2 and CO) for subsequent use as an attractive feedstock for super-clean liquid fuels and chemical synthesis. It has been shown that, the steam gasification of biomass favors hydrogen and syngas yields [3, 4, 8-10]. The optimum conditions obtained by different researchers are quiet different and strongly are dependent to the type of biomass. In our previous work [13], we studied the production

hydrogen and synthesis gas via bagasse pyrolysis in a dual bed reactor. In this study, we planned to increase the hydrogen and synthesis gas yields by introducing the steam as a gasifying agent to the dual bed reactor system and enhance the gasification efficiency. Particular emphasis is given to measure the total gas, hydrogen and carbon monoxide yields and the low heating value (LHV) of the dry product gas.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials

The biomass particles used for the experiments were obtained as shavings, from Haft-Tappe Industries located at Haft-Tappe, Khuzestan province, Iran. The biomass was dried in atmospheric conditions for two days, and ground to a particle size $\leq$ 1 mm diameter. The elemental composition of the whole biomass sample was analyzed using a CHNS analyzer.

2.2. System description

Experiments were performed in a dual-bed reactor system at atmospheric pressure. The scheme of the reactor is shown in figure 1. Reactor was made up of quartz tubing with 10 mm internal diameter and 700 mm length, and placed inside a tubular furnace with 20 mm internal diameter and 200 mm outside diameter with total heating length of 700 mm and two temperature controlling zones. Two separate K-type thermocouples were placed inside the reactor via two thermo-wells to maintain and monitor the temperatures of two reactor zones via two separate PID temperature controllers (Model: Autonics-TZN4S, 0-1000°C). Nitrogen was used as an inert carrier gas and supplied at the desired flow rate from a cylinder through a mass flow controller (Brooks's 5850 model). Water was injected into the reactor by a syringe pump (HX-901A Guangzhou Huaxi Medical Science Technology co,Ltd) at the desired flow rate. One glass condenser in series below the reactor was applied to condense the tar and cool down the product gases. The product gases were collected in the saturated brine solution column to prevent CO_2 dissolution. The brine solution column was further connected to the overhead surge tank to receive the displaced brine solution.

2.3. Experimental Procedure

Steam gasification was carried out in the first bed while the second bed was used for further cracking of tar. Iron fillings (Shape: Spherical, Particle size: 200–1300µm, Surface area: 38

m^2/g, Density: 4.81 g/cm^3) were used as the packed bed material in the second bed. It was placed on the plug of quartz wool supported on the supporting mesh. The packed bed containing section of the reactor (second bed) was positioned in the second zone of the furnace. Bagasse was 1 g for all experiments, while the packed-bed height of filings varied from zero (single bed) to 100 mm. The N_2 flow rate was maintained at 40 ml/min. Water injection was started when the first-bed temperature reached to 100 ^{0}C. It took approximately 20–30 min to reach the final reaction temperature of 600–900^{0}C in the case of single bed experiments. In the case of dual bed experiments, the second zone of reactor was heated to the desired temperature (600–900 ^{0}C) with a nitrogen flow rate of 40 ml/min before the first zoon heating initiation. The reaction was allowed to be continued for the next 30 min after attaining the final desired temperature. In our previous work we found that the reaction time of 30 min is the best for this process [13]. Subsequently, the heating was stopped and the reactor was allowed to cool down. The experiments were performed 3 times under the same experimental conditions and the data reported here are averages of repetitive runs. Table 1 shows the design of experimental (DOE) runs and the testing conditions. The reactor and glass condensers were cleaned using acetone and then dried with compressed air before next run.

3. Product gas analysis

The volume of the collected product gas was measured on the basis of the displacement of the saturated brine solution. The product gas composition was measured using two gas chromatographs: Varian 3400 and Teyfgostar-Compact. The volume percentage of each constituent compound in the gas product was calculated on the basis of the total volume of the N_2-free gas collected at the end of each run. The amount of condensed liquid (tar + water) in the glass condensers and the char left inside the reactor were measured by a weight difference before and after the reaction.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The biomass CHNS analysis is given in Table 2. As indicated, the C and H content in the sample is 64.55%. The balance is mostly oxygen.

4.1. Effect of first bed temperature

Numerous studies have been carried out on steam gasification of biomass at the temperature range of 600–1000^{0}C [14–17]. Considering the literature range and limitations of the operation, the temperature range of the first bed for the present study was chosen to be 600–900 ^{0}C with steps of 50 ^{0}C while maintaining a steam/bagasse (wt./wt.) ratio of 0.6, N_2 flow rate of 40 ml/min and packed bed height of zero. The final temperature effects on the products (char, liquid and gas) yield and gas composition have been presented in Figures 2 and 3, respectively. As expected, with increasing in temperature from 600 to 900 ^{0}C, the char and liquid (tar + water) yields decreased from 6.4 to 3.8 wt% and from 75 to 55 wt%, respectively, whereas gas yield increased from 0.222 to 0.571 m^3/kg. This could be explained by higher char conversion with steam and the thermal cracking/steam reforming of tar at higher temperatures.

It is generally referred by different authors that the process of biomass gasification occurs in three steps. First, a large amount of gas is produced in the initial pyrolysis at high bed temperatures. Second, the high temperature favors the tar cracking reactions, producing more light hydrocarbons and other gas phase products (CO, CO_2 and H_2). Third, char gasification is enhanced by the Boudouard reaction. The gasification mechanism of bagasse particles in the first bed may be described by the following reactions:

Bagasse → Gas + Tar+ Char (1)

Tar → Light and heavy hydrocarbons + CO + CO_2 + H_2 (2)

Heavy hydrocarbons → Light hydrocarbons + H_2 (3)

Char → CO + CO_2 + H_2 + Solid residual (4)

The final product gas composition of the biomass gasification process in the first bed of the reactor system is the result of combination of the above mentioned series of complex and competing reactions. The formation of H_2, CO and CO_2 through the final step of the gasification (Equation 4) can be studied by the reactions that govern biomass steam gasification, are the steam reforming reaction

$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ (5)

$\Delta H = +131.3$ kJ/mol,

and the Boudouard reaction

$C + CO_2 \rightarrow 2CO$ (6)

$\Delta H = +172.5$ kJ/mol,

in addition to the pyrolytic cleavage and condensation reactions that break down the biomass lattice structure, the decomposition reactions of the oxygenated minerals releasing O_2, the oxidation of the char

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ (7)

ΔH = -393.5 kJ kJ/mol,

$C + ½ O_2$ (from biomass structure) $\rightarrow CO$ (8)

ΔH = -110.5 kJ/mol,

and the water gas shift (WGS) and reverse water gas shift reactions (RWGS)

$H_2 + CO_2 \leftrightarrow CO + H_2O$ (9)

$\Delta H = \pm 41.2$ kJ/mol,

to release CO and CO_2 as the char degrades from a hydrocarbon skeleton to a mineral ash residue. Similar trends were obtained by other researchers [12,14,18]. The product gas was mainly composed of H_2, CO, CO_2, CH_4, and other heavier hydrocarbon gases. The H_2 and CO yields increased from 11.69 to 15.1 and 25.04 to 46.03 vol% (N_2 free basis), respectively, while that of CO_2 decreased sharply from 53.23 to 31.91 vol% with an increase in temperature from 600 to 900 ^{0}C. Increased carbon conversion as well as the Boudard reaction (equation 6) is partially responsible for the observed increase in CO and the corresponding decrease in CO_2 content at higher temperatures. Also, by increasing the temperature, methane and other heavier hydrocarbons volume percentages showed a marginal decrease from 9.76 to 6.41 and from 2.7 to 2.3, respectively. This could be explained by the likelihood of some secondary reactions of CO_2 as well as the steam-reforming reaction of hydrocarbons that produce CO and H_2. The low heating value of produced gases [13] showed a slight increase from 8.09-9.91 MJ/m^3. The gas compositions showed significant variation over the temperature range from 600 to 850°C. However, by increasing the temperature from 850 to 900°C, the variation of the gas compositions was not significant. The results obtained so far seem to suggest that the optimized steam gasification temperature for bagasse could be 850°C or above, because the gas obtained has greater content of hydrogen, fewer hydrocarbons and more importantly greater CO/CO_2 ratios. This temperature would also favor energy and carbon conversions, as well as gas yield.

Table 3 compares the steam gasification results with those of bagasse pyrolysis (without steam) in our last work [13] at 850°C, reaction time of 30 min and bed height of zero. This table shows that using steam as second gasifying agent increases the amount of produced gas by a factor of 1.4.

Also the contents of H_2 and CO are significantly higher than that using pyrolysis process in the absence of steam. In addition the amount of CO_2 is significantly lower in the case of steam gasification. Higher rates of carbon conversion and boudard reactions are responsible for the observed increases in total gas, H_2, CO and the corresponding decrease in CO_2 content at steam gasification in comparison to pyrolysis in the absence of steam.

4.2. Effect of packed-bed height

The packed-bed height of the second stage was varied from 40 to 100 mm with steps of 20 mm while keeping the final temperatures of the first and second bed at 850 ^{0}C, N_2 flow rate at 40 ml/min, and steam/bagasse (wt./wt.) at 0.6. Figures 4 and 5 shows the effect of the packed-bed height on the product yields and gas compositions. By increasing in the packed-bed height, the liquid yield decreased from 53 to 39 wt%, while the gas yield increased from 0.622 to 0.762 m^3/kg. H_2 yield increased from 15.13 to 18.02 vol.% and CO and CO_2 yields shifted up and down in the range of 46.76–49.3 and 31.71–27.06 vol.%, respectively. Methane yield showed a slight decrease from 6.12 to 5.34 vol.%. A while no significant variation was observed for other hydrocarbon yields (Their yields were constant in the range of 0.271–0.262 vol%). These variations can be attributed to reforming of CH_4 and tar compounds (Equation 3) with steam and/or CO_2 and water gas shift reactions (equations 7 and 9).

4.3. Effect of steam to bagasse ratio

The steam/bagasse ratio (wt./wt.) supplied in the reactor was varied from 0.4 to 1 while keeping the final temperature of the first and second bed at 850^{0}C, N_2 flow rate at 40 ml/min, and packed-bed height at 100 mm. The effects of steam/bagasse on products yield and gas composition are presented in figures 6 and 7. As shown, by increasing in steam/bagasse weight ratio from 0.4 to 1, the char content decreased from 7 to 5.5 wt%, while liquid (tar + water) increased from 36 to 45 wt%. Also, by increasing in steam/bagasse weight ratio, the gas yield increased, reached the maximum of 0.762 m^3/kg at steam/bagasse ratio of 0.6 and then decreased slightly to 0.748 m^3/kg. It seems that the shorter residence time of steam in higher input steam velocities caused the results observed. It can be concluded that, steam participating in gasification process is less and this nonreactive steam appears as water in liquid (Tar + water) output. Hydrogen increased from 16.5 to 20. 3 vol%, while CH_4 (8.29 to 4.82 vol%) and other hydrocarbons (0.306 to 0.197 vol%) decreased gradually with increasing the steam/bagasse ratio. By increasing the

steam/bagasse ratio from 0.4 to 0.6, the CO increased to 49.3 vol% and then dropped slightly to 46.7 vol% with further increase in steam/bagasse. At the same time, CO_2 increased slightly from 26.9 to 28.05 vol% by increasing in steam/bagasse ratio from 0.4 to 1. The char gasification and reforming reactions are enhanced with an increase in steam/bagasse ratio, which can be witnessed from the decrease in char, CH_4, and other heavier hydrocarbons. It can be concluded that, the optimal steam/bagasse ratio for gas yield is 0.6. However, steam/bagasse ratio of 1, was considered to be suitable for H_2 production.

5. CONCLUSIONS

Steam was found to be an effective gasifying agent in comparison to pyrolysis process to increase the hydrogen and syngas yields in the product gases. The dual bed process was found to be effective to reduce the liquid yield and increase gas yield. Temperature of 850 ^{0}C was found to be favorable for higher gas yield and hydrogen production within the temperature range studied. It was observed that an increase in the steam/bagasse (wt./wt.) ratio caused significant increase in hydrogen (20.3 vol.%) and total gas (0.762 m^3/kg of bagasse). Total gas, hydrogen and syngas yields increased with increase in the packed-bed height from 40 to 100 mm. For bagasse the operating conditions were optimized for a gasification temperature around 850 ^{0}C, a height packed-bed of 100mm and a steam to bagasse ratio of 0.6, in order to produce of a gas richer in hydrogen and carbon monoxide and poorer in carbon dioxide and hydrocarbons.

6. REFRENCES

[1] Alex C.C. Chang, Hsin-Fu Chang, Fon-Jou Lin, Kuo-Hsin Lin, Chi-Hung Chen. Int. J. Hydrogen Energy, 36, (2011) 1.

[2]. http://www.bioenergy.net/bioenergy.html

[3]. Ball M, Weitschel M. Int. J. Hydrogen Energy, 34, (2009) 615.

[4]. Ball M, Weitschel M. Political. Int. J. Hydrogen Energy, 34, (2009) 3589.

[5]. Wang Y, Kinoshita CM. Sol Energy, 49(3), (1992) 153.

[6]. Turn S, Kinoshita C, Zhang Z, Ishimura D, Zhou J. *Int. J. Hydrogen Energy*, 23(8), (1998) 641.

[7]. Ferdous D, Dalai AK, Bej SK, Thring RW, Bakhshi NN. *Fuel Process Tec.*, 70(1), (2001) 9.

[8]. Soni CG, Dalai AK, Pugsley T, Fonstad T. *Asia-Pacific J. Chem. Engin.*, 6(1), (2011) 71.

[9]. Nimit Nipattummakul, Islam I. Ahmed, Somrat Kerdsuwan , Ashwani K. Gupta. *Int. J.* Hydrogen Energy, 35, (2010) 11738.

[10]. Ningbo Gao, Aimin Li, Cui Quan, Fan Gao. *Int. J.* Hydrogen Energy, 33, (2008) 5430.

[11]. Franco C, Pinto F, Gulyurtlu I, Cabrita I. *Fuel*, 82(7), (2003) 835

[12] Gil J, Aznar MP, Caballero MA, Frances E, Corella J. Energy Fuels, 11(6), (1997) 1109.

[13] Shoja M., Tavasoli A., Barati M., Babatabar M., J. of Natural Gas Chemistry, Accepted and will be published in 2013.

[14]. Ferdous D, Dalai AK, Bej SK, Thring RW. *Canadian J. Chem. Engin.*, 79(6), (2001) 913.

[15]. A.K. Dalai, N. Batta, I. Eswaramoorthi, G.J. Schoenau. Waste Manag., 29, (2009) 252.

[16]. T. Hanaoka, S. Inoue, S. Uno, T. Ogi, T. Minowa. Biomass Bioenergy, 28, (2005) 69.

[17]. Lv PM, Xiong ZH, Chang J, Wu CZ, Chen Y, Zhu JX. *Bioresource Tec.*, 95(1), (2004) 95.

[18]. L. Wei, S. Xu, L. Zhang, C. Liu, H. Zhu, S. Liu. Int. J. Hydrogen Energy, 32, (2007) 24.

Figure Captions:

Fig 1: The scheme of the experimental setup

Fig 2: Effect of final temperature of first bed on products yield (g/g of bagasse) at steam/bagasse ratio (wt./wt.) of 0.6

Fig 3: Effect of final temperature of first bed on gas composition (vol.%) at steam/bagasse (wt./wt.) of 0.6

Fig 4: Effect of packed-bed height on the product yield (g/g of bagasse) at steam/bagasse (wt./wt.) of 0.6, final temperature of first bed and second bed at 850 ^{0}C

Fig 5: Effect of packed-bed height on gas composition (vol.%) and Low heating value at steam/bagasse (wt./wt.) of 0.6, final temperature of first bed and second bed at 850 ^{0}C

Fig 6: Effect of steam/bagasse (wt./wt.) on the product yield (g/g of bagasse) at final temperature of first bed and second bed 850 ^{0}C, and packed-bed height of 100 mm

Fig 7: Effect of steam/bagasse (wt./wt.) on gas composition (vol.%) at final temperature of first bed and second bed 850 ^{0}C and packed-bed height of 100 mm

Tables

Table1: Design of experimental runs

Run	Reaction Time (min)	First bed temperature (^{0}C)	packed-bed height (mm)	Steam/Bagasse	second bed temperature (^{0}C)
1	**30**	**600**	**0**	**0.6**	**850**
2	**30**	**650**	**0**	**0.6**	**850**
3	**30**	**700**	**0**	**0.6**	**850**
4	**30**	**800**	**0**	**0.6**	**850**
5	**30**	**850**	**0**	**0.6**	**850**
6	**30**	**900**	**0**	**0.6**	**850**
7	**30**	**850**	**40**	**0.6**	**850**
8	**30**	**850**	**60**	**0.6**	**850**
9	**30**	**850**	**80**	**0.6**	**850**
10	**30**	**850**	**100**	**0.6**	**850**
11	**30**	**850**	**100**	**0.4**	**850**
12	**30**	**850**	**100**	**0.6**	**850**
13	**30**	**850**	**100**	**0.8**	**850**
14	**30**	**850**	**100**	**1**	**850**

Table 2: CHNS analysis of biomass species

N	0.69
C	58.1
H	6.45
S	0.19
O	34.57

Table 3: Comparing the results of the steam gasification process and pyrolysis process [13]

(T=850^{0}C, Reaction time=30min and Steam ratio=0.6)

	Steam gasification process	pyrolysis process
GY (m^3/kg)	0.555	0.396
Tar	0.565(Tar + Water)	0.445
LHV (Mj/Nm^3)	9.955	11.06
CH_4	6.660	10.11
C_nH_m	0.240	0.45
H_2	14.96	13.70
CO	46.03	44.95
CO_2	32.11	30.65

Figures

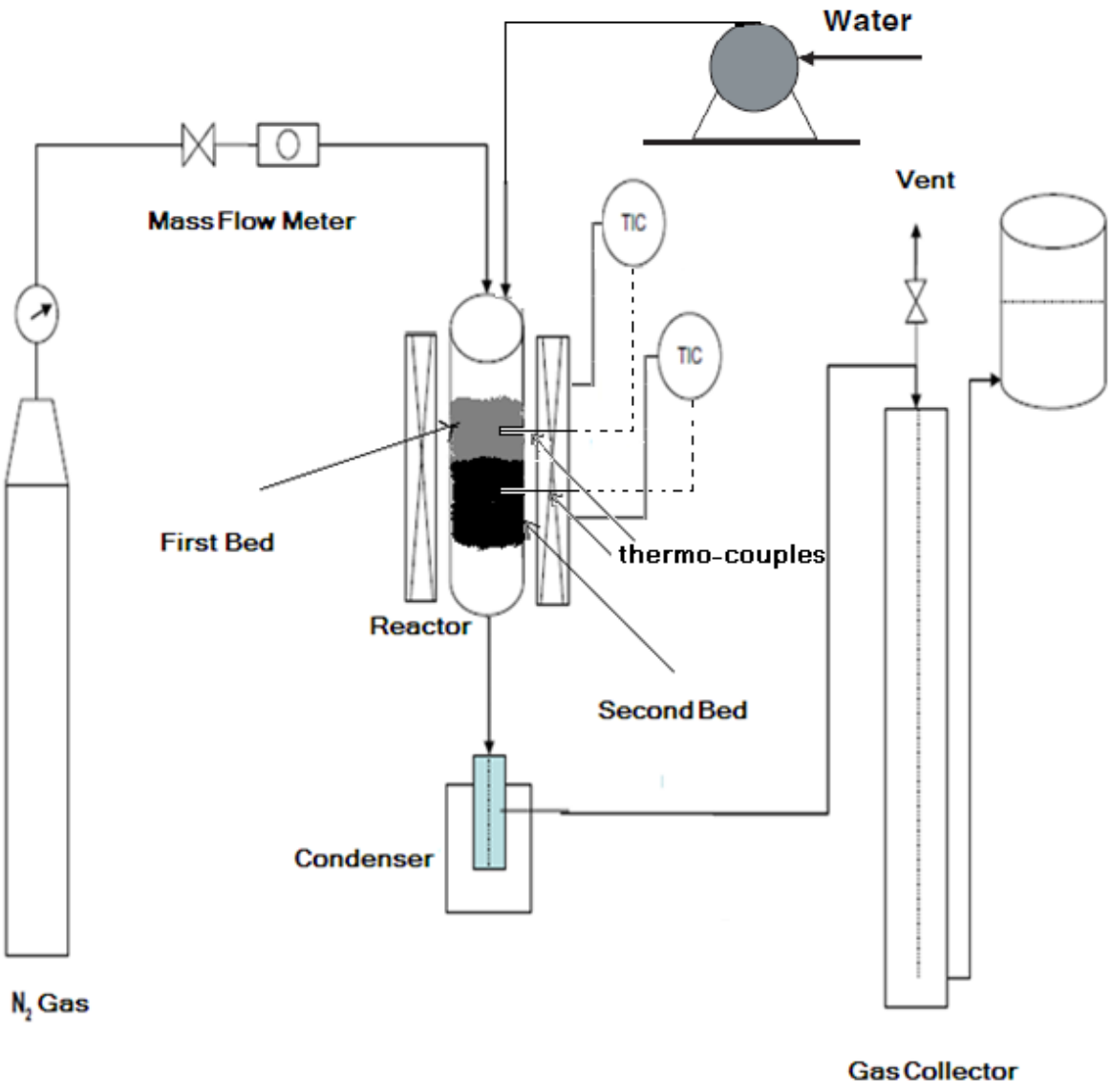


Figure 1: The scheme of the experimental setup

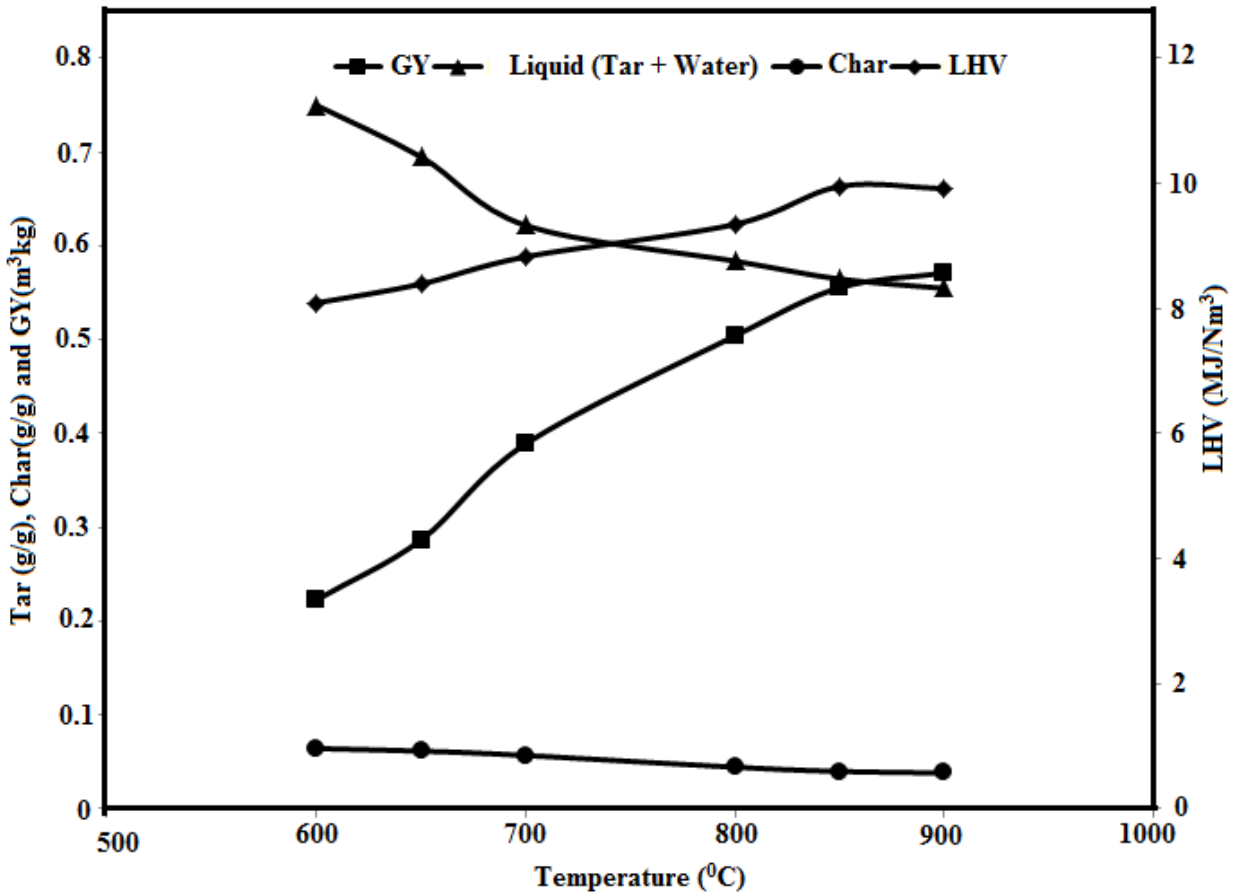


Figure 2: Effect of final temperature of first bed on products yield (g/g of bagasse) at steam/bagasse ratio (wt./wt.) of 0.6

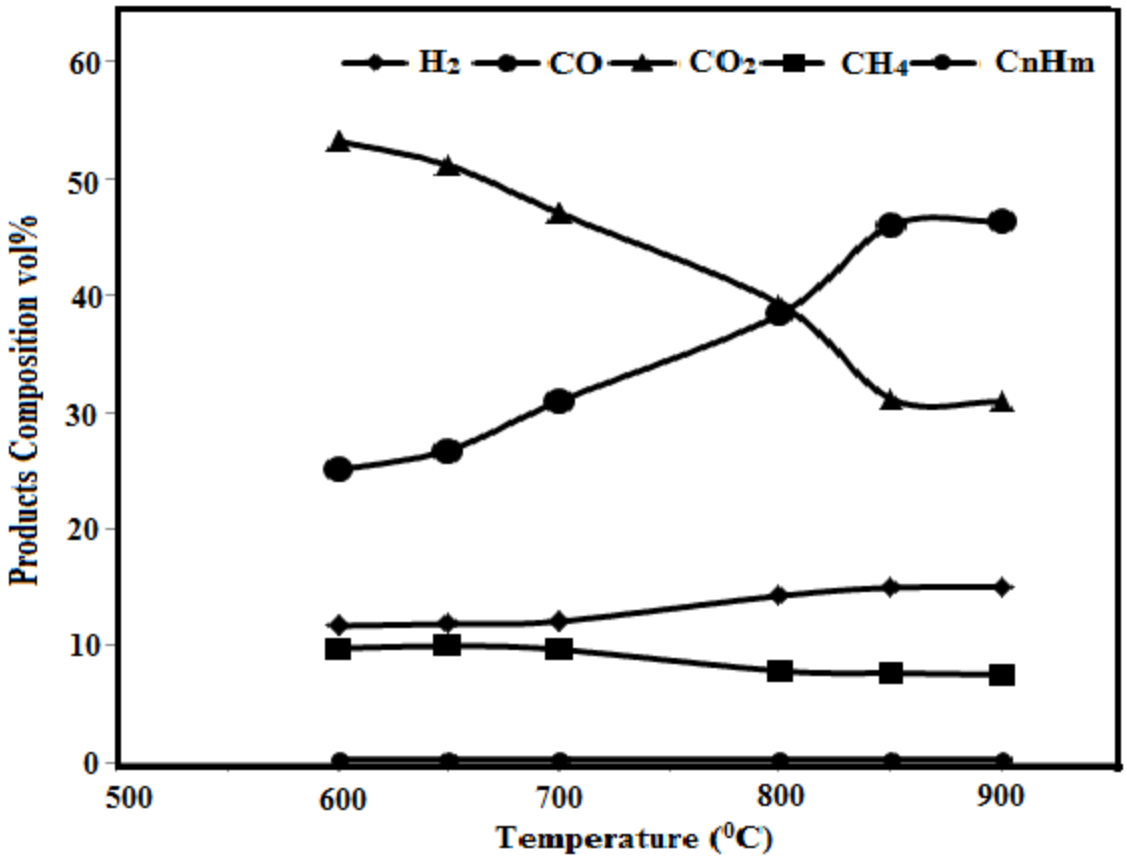


Figure 3: Effect of final temperature of first bed on gas composition (vol.%) at steam/bagasse (wt./wt.) of 0.6

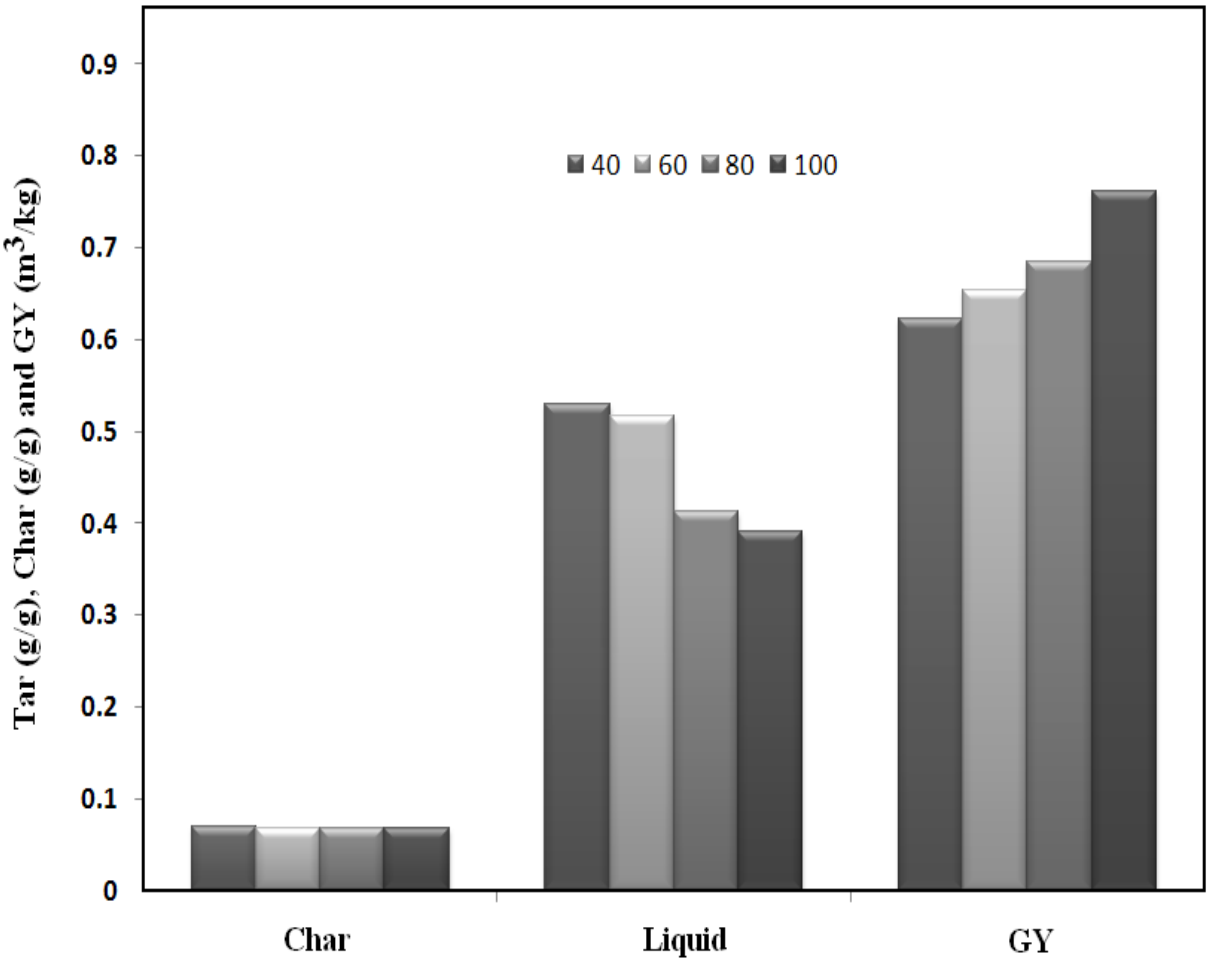


Figure 4: Effect of packed-bed height on the product yield (g/g of bagasse) at steam/bagasse (wt./wt.) of 0.6, final temperature of first bed and second bed at 850 ^{0}C

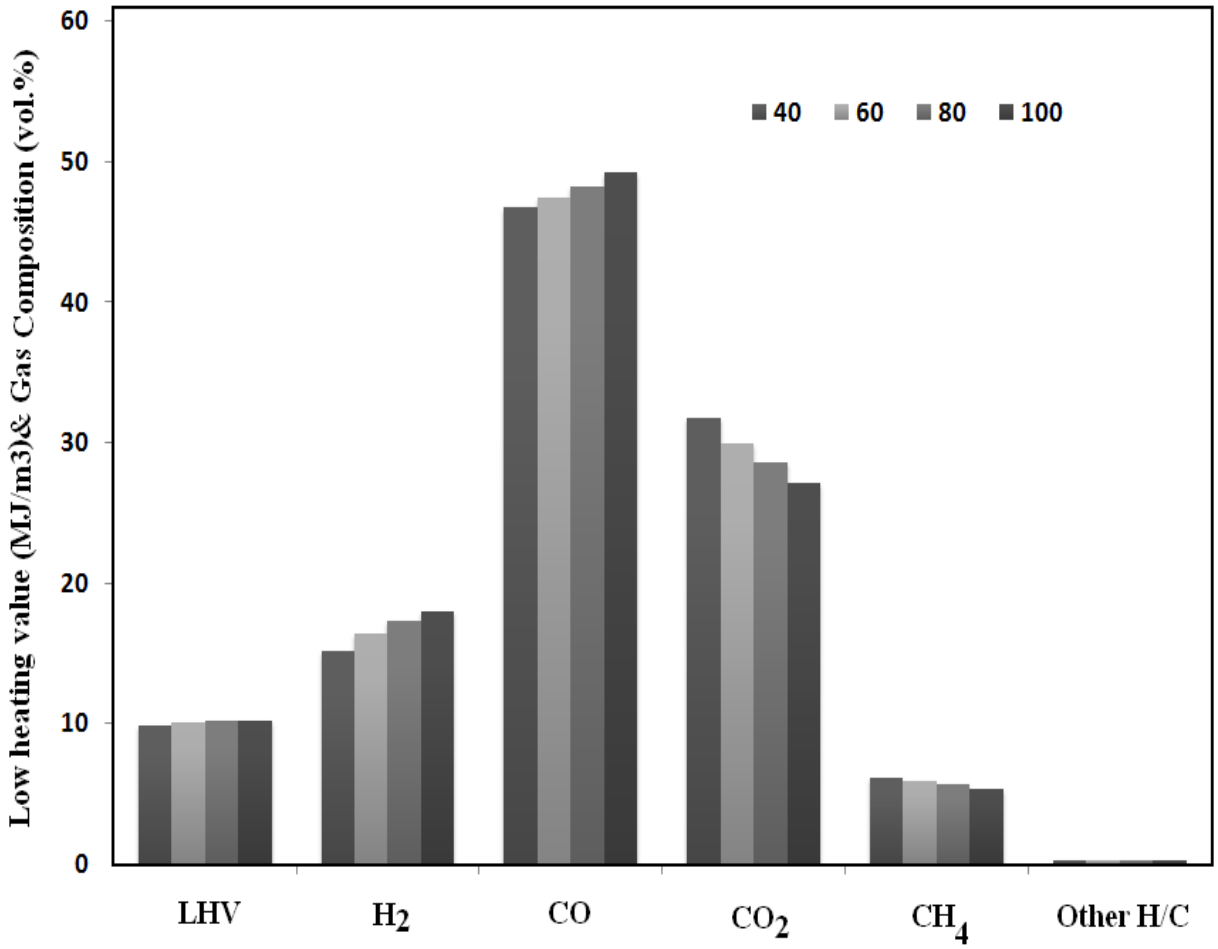


Figure 5: Effect of packed-bed height on gas composition (vol.%) and Low heating value at steam/bagasse (wt./wt.) of 0.6, final temperature of first bed and second bed at 850 ^{0}C

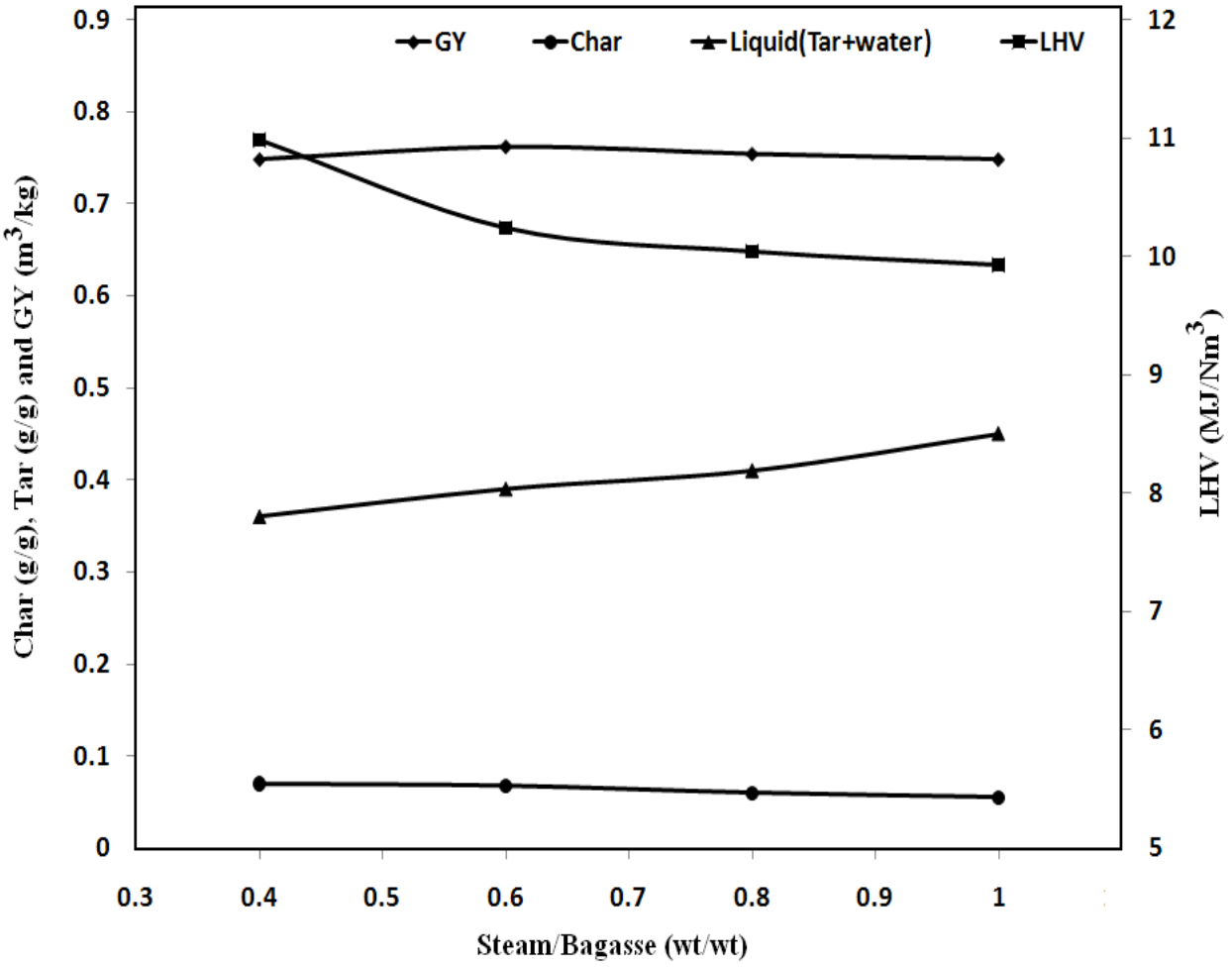


Fig 6: Effect of steam/bagasse (wt./wt.) on the product yield (g/g of bagasse) at final temperature of first bed and second bed 850 ^{0}C, and packed-bed height of 100 mm

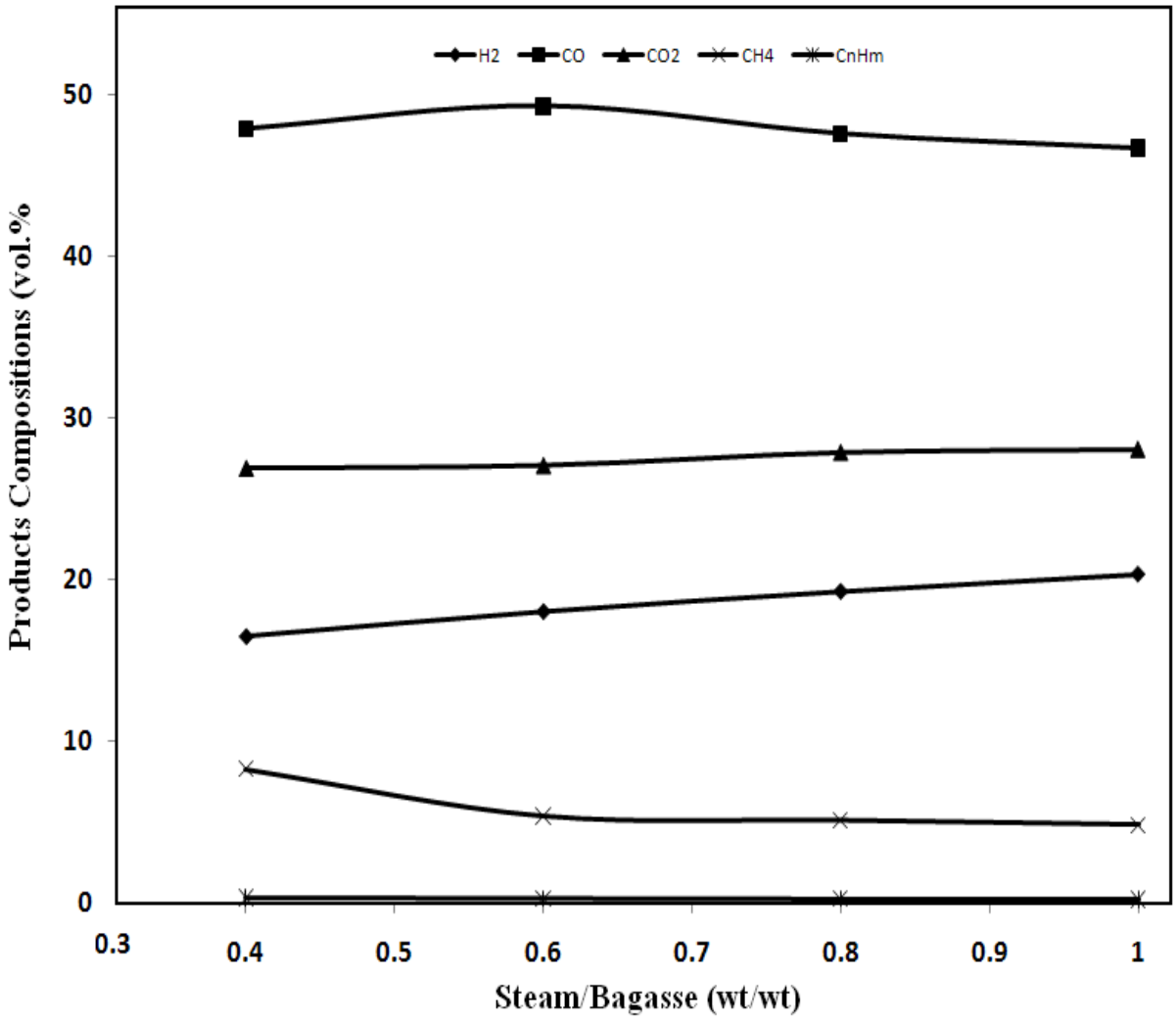


Fig 7: Effect of steam/bagasse (wt./wt.) on gas composition (vol.%) at final temperature of first bed and second bed 850 ^{0}C and packed-bed height of 100 mm

¨BIOMASA¨

GENERACIÓN DE VAPOR Y ELCTRICIDAD EN FÁBRICAS DE AZÚCAR A ALTOS PARÁMETROS

Autores:

Lic. Francisco José Hernández Bilbao[1], Ing. Francisco Diez Torres[1].

[1] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca 804 esq. Carretera Central.

francisco.bilbao@icidca.edu.cu
francisco.diez@icidca.edu.cu

Resumen

Energía, economía y ecología están íntimamente relacionadas y a su vez tienen una gran influencia sobre el ser humano. Esta influencia viene definida por el tipo de tecnología empleada, entendiendo por tecnología la aplicación del conocimiento a la satisfacción de las necesidades de la población. No tiene sentido alguno tratar de analizar cada factor por separado, olvidándose de los otros dos.

La crisis energética actual está impulsando a la industria azucarera local a transformarse en un complejo agroindustrial de producción diversificada (azúcar, bioetanol y energía). Lo mismo sucedió en países vecinos, donde la producción de bioelectricidad para venta a la red es un negocio de constante y rápido crecimiento (Oliverio and Ferreira 2010).

Este desafío exige modificaciones en el sector de generación de vapor para lograr a mayor niveles de presión de trabajo en colectores (mínimo 43 bar) y turbo-generadores de energía eléctrica más eficientes, para un mejor aprovechamiento del vapor utilizado (Walter, 1994; Lozano, 1998).

El objetivo de este trabajo es presentar la actual tendencia mundial en el diseño energético para la adecuación en Cuba de algunas fábricas de azúcar en Bioeléctricas, las que operaran a mayores parámetros de temperatura y presión logrando un aumento en la generación de vapor y electricidad con alta eficiencia.

En este texto citaremos elementos sobre cogeneración, que facilitaran de forma positiva el incremento en la venta de energía al SEN y el consumo propio para la generación en nuestra industria azucarera mediante tablas, esquemas y gráficos que facilitaran la comprensión de nuestros planteamientos.

Abstract

SITUACION ENERGÉTICA INTERNACIONAL.

Las actividades energéticas están muy íntimamente relacionadas al cambio climático. Los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón, el gas, etc., representan el 87% de la energía mundial y contribuyen de manera muy importante al calentamiento del planeta, constituyendo un riesgo múltiple para la vida. Además, los expertos afirman que las reservas de combustibles fósiles sólo durarán otros 40 o 50 años aproximadamente. Estos hechos, hacen más apremiante las actividades de I+D en materia de fuentes sustitutivas de energía y el uso de combustibles renovables.

A nivel mundial, la disponibilidad de energía se ha convertido en uno de los problemas más importantes. La gran mayoría de los países, tanto en desarrollo como industrializados, se ven afectados por demandas crecientes de energía para satisfacer sus metas de desarrollo económico y social y la necesidad de complementar las fuentes comerciales con fuentes no convencionales, se ha vuelto imperativa para la mayoría de ellos. de modo que se ha reconocido como inevitable una transición desde su actual dependencia de los combustibles fósiles hacia otras combinaciones energéticas más diversificadas. (Best G. 1998, Ginds A. 2001).

¨Cuba¨, país tradicionalmente azucarero y dependiente del uso de combustibles fósiles para usos industriales y en menor cuantía en la industria azucarera, presenta una organizada estructura de su ¨Sistema Electroenergético Nacional¨, (SEN), el que trabaja sincronizado con las Unidades Básicas de Producciones Azucareras,(UBPC), las que aportan energía eléctrica durante la campaña de zafra.

De la estructura o sistema general del SEN podemos decir que esta diseñada por una cadena compuesta por los siguientes eslabones que a la vez constituyen los subsistemas:

- Generación= Compuesto fundamentalmente por las Termoeléctricas
- Transmisión= 220 – 110 v
- Subtransmisión= 33,5 Kv oscila hasta 34,5 Kv
- Distribución= 2,4 – 4,16 – 7,6 y 13,8 Kv
- Consumo= 480 – 220 – 110 v.

El sistema cubano de demanda eléctrica posee dos picos en diferentes momentos del día los que plantearemos a continuación:

Pico No1
Se produce entre las 11:00 AM y la 1:00 PM producto al aumento de la carga industrial.

Pico No 2
Se produce entre 6:00 PM y 10:00 PM donde el sector residencial se encuentra en labores domesticas y otras variando esta demanda según las épocas del año, sea invierno o verano fundamentalmente.
Precisamente en estos picos es donde se pretende que juegue un papel decisivo la cogeneración en el sector azucarero, viéndose de forma más puntual en la prestación del servicio eléctrico durante toda la época de zafra incluyendo los días programados al concluir esta y a toda capacidad de generación.

Esto trae como ventaja:

- Disminución de los picos antes mencionados.
- Garantía de la estabilidad en el servicio prestado por el SEN por el apoyo en el tiempo de cogeneración en el sector azucarero.
- Ahorro considerable de combustible.

- Disminución de la contaminación ambiental por el tipo o los tipos de combustible empleados en esta industria para cogenerar.
- Utilización de combustibles renovables.

(Prado W, 2010)

LOS RESIDUOS AGRICOLAS DE LA CAÑA (RAC).

Posibilidades Energéticas de la Agroindustria Azucarera.

La agroindustria azucarera dispone de una producción agrícola de múltiples aplicaciones que permiten disminuir los costos de producción actual del azúcar y de los derivados, si se emplea racionalmente su potencialidad energética, mediante el uso integral de toda la biomasa creada por la energía solar durante el cultivo de la caña.

En particular, la caña de azúcar exhibe índices más ventajosos que otros cultivos en cuanto al almacenamiento de energía proveniente de la radiación solar, como se aprecia en los aspectos siguientes:

- Es capaz de almacenar el 1.7% de la energía existente en la radiación incidente en cultivos con irrigación y en condiciones experimentales y 1.1% en campos bien atendidos con regadío.
- Tiene un rendimiento potencial genético que se encuentra entre 200-300 t/ha con un máximo teórico de 233 Kg. que compara ventajosamente con otros cultivos.
- Para un valor calórico de 17476 MJ/Kg. de materia seca (MS), con un contenido de MS del 30% y un rendimiento de 100 toneladas de caña integral por ha, la producción energética de la caña es 20 veces mayor que la energía que se utiliza para producirla, cosecharla y trasladarla en el ingenio.
- Cuatro toneladas de paja equivalen a una tonelada de petróleo (calor de combustión de la paja con el 30% de humedad: 11.7 MJ/Kg.).
- El valor calórico del bagazo (50% de humedad) es de 7.64 Mj/Kg., semejante al de la madera: 7.9 MJ/Kg. (*Best 1998, Grinds 2001, Llanes 1994, Magassiner 1994, Mesa 2003, Sinclair 1997*).

De modo que, entre la cosecha y la molienda de la caña se producen **39 toneladas de biomasa por cada hectárea**, cultivada con un rendimiento agrícola moderado (80 t/ha), considerando el bagazo y los residuos agrícolas de la caña (RAC). Esto **representa el 47% de la caña molible**, lo cual constituye una valiosa fuente de energía primaria.

LA PREPARACION DE LOS RAC.

Es preciso puntualizar que los residuos agrícolas de la caña de azúcar (RAC) representan un valioso potencial de biomasa equivalente al 30% de toda la materia seca aprovechable en la cosecha de la caña, con un valor calórico que fluctúa entre 1700- 4500 kcal/Kg. en dependencia del contenido de humedad como mencionamos anteriormente.

En Cuba, actualmente se emplean RAC con características físico-mecánicas y energéticas similares a la del bagazo (tamaño de partículas y valor calórico) en todas las provincias durante la zafra azucarera, con resultados satisfactorios. En las Empresas Azucareras que emplean los RAC esporádicamente (arrancada, liquidaciones u otras causas); esta biomasa es transportada y preparada generalmente mediante el mismo sistema empleado para la caña, lo cual implica mayor costo de operación, pero la inversión inicial es mínima.

Analizando el potencial que presenta la caña de azúcar citaremos los siguientes datos:

Potencialidad de la caña de azúcar

Componente de la caña	**%**
Caña en la fábrica	75
Tallo verde	10
Hojas verdes y secas	15
Caña en el campo	100

Por tanto tenemos que cada 100 % de caña en la fábrica se obtiene:
11 % azúcar, 28 % de bagazo, 27 % de RAC (7% paja) para un 55% de Biomasa, (bagazo + paja), por lo que pudiéramos decir que ½ de la caña en la fábrica es biomasa potencial y ⅓ es biomasa industrial

DEFINICIÓN DE LA BIOMASA
La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; esa energía la podemos recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles.

METODOS DE CONVERSIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA.

Métodos termoquímicos:
Estos métodos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están bien adaptados al caso de la biomasa seca, y, en particular, a los de la paja y de la madera.

- La combustión, oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire, libera simplemente agua y gas carbónico, y puede servir para la calefacción doméstica y para la producción de calor industrial.
- La pirólisis, combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxigeno, a unos 500 grados centígrados, se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Aparte de este, la pirólisis lleva a la liberación de un gas pobre, mezcla de monóxido y dióxido de carbono, de hidrógeno y de hidrocarburos ligeros. Este gas, de débil poder calórico, puede servir para accionar motores diesel, o para producir electricidad, o para mover vehículos. Una variante de la pirólisis, llamada pirólisis flash, llevada a 1000 grados centígrados en menos de un segundo, tiene la ventaja de asegurar una gasificación casi total de la biomasa. De todas formas, la gasificación total puede obtenerse mediante una oxidación parcial de los productos no gaseosos de la pirólisis. Las instalaciones en la que se realizan la pirólisis y la gasificación de la biomasa reciben el nombre de gasógenos. El gas pobre producido puede utilizarse directamente como se indica antes, o bien servir la base para la síntesis de un alcohol muy importante, el metanol, que podría sustituir las gasolinas para la alimentación de los motores de explosión (carburo).

Métodos biológicos:
- La fermentación alcohólica es una técnica empleada desde muy antiguo con los azúcares, que puede utilizase también con la celulosa y el almidón, a condición de realizar una hidrólisis previa (en medio ácido) de estas dos sustancias. Pero la destilación, que permite obtener alcohol etílico prácticamente anhidro, es una operación muy costosa en energía. En estas condiciones la transformación de la biomasa en etanol y después la utilización de este alcohol en motores de explosión, tienen un balance energético global dudoso. A pesar de esta reserva, ciertos países (Brasil, E.U.A.) tienen importantes proyectos de producción de etanol a partir de biomasa con un objetivo energético (propulsión de vehículos; cuando el alcohol es puro o mezclado con gasolina, el carburante recibe el nombre de gasohol).
- La fermentación metánica es la digestión anaerobia de la biomasa por bacteria. Es idónea para la transformación de la biomasa húmeda (mas del 75% de humedad relativa).En los fermentadores, o digestiones, la celulosa es esencialmente la sustancia que se degrada en un gas, que contiene alrededor de 60% de metano y 40% de gas carbónico. El problema principal consiste en la necesidad de calentar el equipo, para mantenerlo en la temperatura óptima de 30-35 grados centígrados. No obstante, el empleo de

digestores es un camino prometedor hacia la autonomía energética de las explotaciones agrícolas, por recuperación de las deyecciones y camas del ganado. Además, es una técnica de gran interés para los países en vías de desarrollo. Así, millones de digestores ya son utilizados por familias campesinas chinas.

En nuestra industria azucarera el principal combustible es el bagazo de caña que a la vez es una biomasa de gran poder calórico y fácil obtención al ser residuo de la molienda cañera. Esta se debe preparar y manipulas con condiciones técnicas para su uso logrando eficiencias en su empleo.

Manipulación y almacenamiento de bagazo.

El almacenamiento de bagazo se realiza en casas techadas con capacidades limitadas en el caso de Cuba mientras que en Brasil y otros países además de esto el sobrante se almacena a la intemperie de un año a otro, con el empleo para la retroalimentación y acomodo de un equipo frontal procurando un 5% sobre la demanda de la carga para lograr una capacitancia en conductores y en otros mediante la utilización de silos calculados adecuadamente según el sistema donde preste servicios.

¿QUE ES COGENERAR?

Es la producción simultánea de electricidad usando un solo combustible. Podemos decir que también es la utilización de un motor de energía para generar electricidad simultáneamente y calor útil

Una de las metas a alcanzar en la cogeneración es generar y exportar el máximo posible de energía eléctrica a alta presión y temperatura con incremento de agua del proceso garantizando los vapores de condensado y disminuyendo los consumos de estos en el proceso fabril y por consiguiente la disminución del consumo eléctrico en la fabrica azucarera.

Precisiones:

- La Industria necesita calentar jugos
- Se calienta condensando vapor de baja presión
- La caldera genera vapor a alta presión la que tiene una caída en el turbogenerador, que cogenera electricidad a muy bajo costo.

¿Hasta qué “alta” presión generar?	Hasta que:	electricidad producida = consumida
¿Hasta cuánto vapor producir?	Hasta que:	vapor producido = consumido
¿Por qué no más eficiencia?	No más eficiencia ya que:	Cuando se cogenera con biomasa, la fábrica clásica se llena de Bagazo y es limitado su almacenamiento

OBJETIVOS DEL PROYECTO.

TECNICOS:
Presentar esquemas básicos con tecnología existente, que permitan abastecer de electricidad y vapor a la fábrica de azúcar y vender excedentes de energía
ECONOMICOS:
Establecer un precio para el kWh que permita pagar deudas, ofrecer un retorno a los accionistas, y a la vez, ser atractivo para Cuba, para el MINAZ y para la UNE, en términos y plazos aceptables por todos

LAS VENTAJAS DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN:

- Cogenerar:
  Es compatible con el incremento de eficiencia y modernización de la Industria de azúcar.

- Económico:
  Costo de Biomasa es menor que el costo del Petróleo equivalente y otros combustibles fósiles.

- Inversiones:
  Sustituye 2 inversiones independientes: Azucarera y Termoenergética.

- Detalles energéticos:
  La energía no depende de precios ni de suministros externos al país.

- Impacto ambiental:
  Disminuye contaminación ambiental.

- Interacción con el SEN:
  Reduce pérdidas de trasmisión y mejora el Sistema electroenergético al que este sincronizado.

De lo anteriormente planteado, podemos realizar un rápido análisis económico sobre el aumento de los parámetros de temperatura y presión reflejados en la siguiente tabla:

GRUPO DE EXPERTOS DE AZCUBA PARA LAS BIOÉCTRICAS (julio 2013)				
ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO DE DOS NIVELES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA				
VARIABLES	PRESIÓN (bar)	TEMPERATURA (°C)		
A	67	520		
B	100	535		
Días de operación	230	Aumento de la generación (%)	5,50	
Presión, US/KWh	0,15			
Inversión, MMUS/MW	1,80	Aumento de la Inversión (%)	15,00	
		Variante A	Variante B	Diferencia (B-A)
Potencia total. (MW)		40,00	42,20	2,20
Potencia para venta, (MW)		30,00	31,65	1,65
Venta de Energía, GWh/año		165,60	174,71	9,71
Ingresos anuales, MM$/año		24,84	26,21	1,37
Valor de la Inversión adicional, años		7,9		

PLANTAS EXISTENTES DE BIOMASA A MEDIA Y ALTA PRESION DE VAPOR

No	Nombre (Refer. Biblio..)	País	Año	Potencia (MW) P y t (bar y °C)	Combustible. Cap. de molida (tc/d)	Costo Total (MM USD)	Costo Invers. Especif.(USD/kWe)
1	Bois Rouge (9, 10)	Isla de la Reunión	1992	60 (82 y 520)	Bagazo y carbón. (caña integral) 8500	100	1660
2	Le Gol (10)	Isla de la Reunión	1995	64 (82 y 520)	Bagazo y carbón. (caña integral 9600	110	1700
3	Santa Adelia (11)	Brasil	2003	34 (63 y -)	Bagazo 12000	17	500
4	Godavari (12)	India	2002	24 (66 y 495)	Bagazo (almacena) 8500	26	1083
5	Mysore (13)	India	2003	28 (--)	Bagazo --	18,18	641
6	Jeypore (13)	India	2003	16,3 (--)	Bagazo --	6,45	396
7	Davangere (14 y 15)	India	2004	24 (87 y 515)	Bagazo y otras biomasas 3500	18,29	762
8	M/s Sugar (15)	India	2004	26 (67 y 495)	Bagazo, otras biomasas y carbón 3500	18,9	762
9	Shree (15)	India	2004	20 (87 y 515)	Bagazo y residuos agrícolas cañeros 3500	13,8	690
10	El Viejo (16)	Costa Rica	1991	12,5 (28 y -)	Bagazo 3500	1,748	139,9
11	Rocky Point (17)	Australia	2001	30 (--)	Bagazo y residuos forestales 3100	25	833
12	Belle-vue (18 Y 19)	Mauricio	2000	70 (80 y -)	Bagazo y carbón 8500	101	1443
13	Le Moule (20)	Guadalupe	1998	64 (--)	Bagazo y carbón 8000	--	--
14	Barral-cool (21)	Brasil	--	15 (21 y -)	Bagazo --	--	--
15	Santa Candida (22)	Brasil	2003	27 (42 y -)	Bagazo --	--	--
16	Rana Sugars (12 y 24)	India	2005	40 (62 y 480)	Bagazo y otras biomasas 5000	32	800
17	Sagar Sugars (12 y 24)	India	2003	16 (66 y 485)	Bagazo y residuos madereros 2500	12	750
18	Sonai (26)	India	2006	16 (--)	Bagazo 4000	11,38	711
19	Reatar Niyamit (13)	India	2003	12,3 (--)	Bagazo --	5,94	483
20	Vasant Dada (13)	India	2003	12,5 (--)	Bagazo --	9,56	763
21	Kukkuwada (13)	India	2003	24 (--)	Bagazo --	19,42	810
22	Bellad (13)	India	2003	14 (--)	Bagazo --	9,40	671
23	Chikodi (13)	India	2003	20 (--)	Bagazo --	13,24	661
24	Okeelanta (23)	EEUU	1997	74,9 (105, 512)	Bagazo, residuos de madera y carbón 21768	194,5	2600
25	La Unión (14)	Guate-mala	1997	63,5 (60, 482) Pot Tot 68,5	Bagazo y fuel oíl 11160	--	400
26	Belcogen	Belice	2008	60, 450	Bagazo u diesel	50	2000

(Hernández, B. 2012).

Niveles de presión y temperatura a utilizar en calderas.

Analizando la tabla anterior, es indudable el aumento de la temperatura y la presión de trabajo del vapor ya que esto trae consigo un potencial mayor de energía disponible, la cuestión radica en el análisis técnico - económico correspondiente en cada inversión como un caso específico y único.

Basándonos en lo dicho anteriormente, podemos citar que en las calderas modificadas, diseñadas y construidas en Cuba se emplea acero A-210 que puede ser sometido a trabajos con temperaturas de hasta 426,7 0C, teniendo la tonelada de este metal un costo aproximado sobre los 1350 euros. Comparándolo con el acero A-213-T11 el que se emplea a temperaturas de hasta 510 0C con costo aproximado de la tonelada de 2153 euros y teniendo en cuenta que en los sobrecalentadores diseñados actualmente en Cuba se emplea de 10 a 12 toneladas de acero, la diferencia monetaria en la construcción de una unidad ensamblada de este tipo, estaría entre 7850 y 9420 euros mas si utilizamos acero A-213-T11 y no A-210.

Para citar un ejemplo digamos que en Brasil se destacan como el más empleado de los casos los parámetros de trabajo a 67 bar/520 °C con una proyección a un aumento de estos parámetros hasta 120 bar/530 °C, con incrementos de la energía disponible de más del 2%. No es viable el uso de parámetros intermedios como por ejemplo de 80 bar/520 °C pues el incremento de energía disponible no ocasiona incrementos energéticos significativos que puedan cubrir los consumos propios de energía.

Sí observamos los siguientes análisis sobre el aprovechamiento de la energía calórica en turbinas de vapor, pudiéramos notar con claridad las diferencias en % del aprovechamiento del calor a diferentes presiones, temperaturas y consumos específicos.

(Curso de Calderas de vapor y energía, junio 3013, Parte VIII, Geraldo Homem, Renuka)

3 - Turbinas de vapor:
3 - APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL VAPOR

3.1 - Calderas de 21 Kgf/cm^2 (300 ^{o}C)

Consumo especifico de bagazo:
2,25Kg de vapor / Kg de bagazo
21,62 Kcal/Kg.

11,51 %

3.2 - Calderas de 65 Kgf/cm^2 (480 ^{o}C)

Consumo especifico de bagazo:
2,15Kg de vapor / Kg de bagazo
804,68 Kcal/Kg.

14,25 %

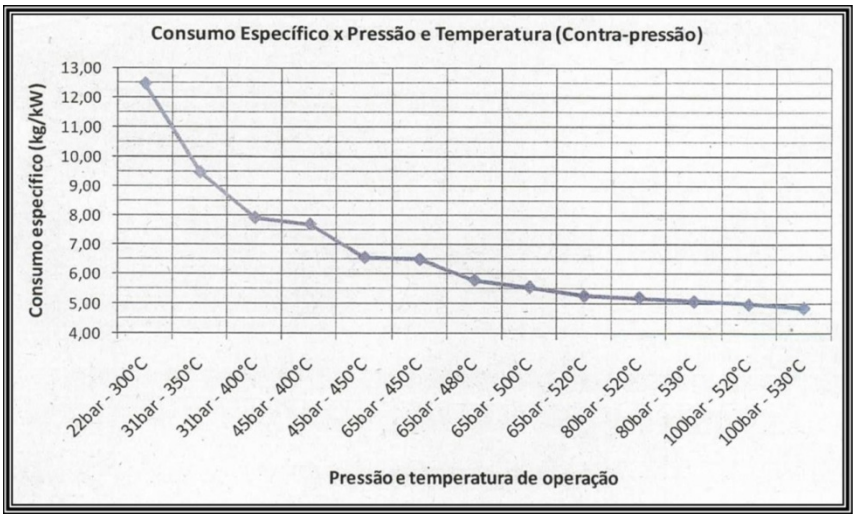
2,48 %

3 3 - Calderas de 65 Kgf/cm^2 (480 ^{o}C)

Consumo especifico de bagazo:
2,15Kg de vapor / Kg de bagazo
804,68 Kcal/Kg.

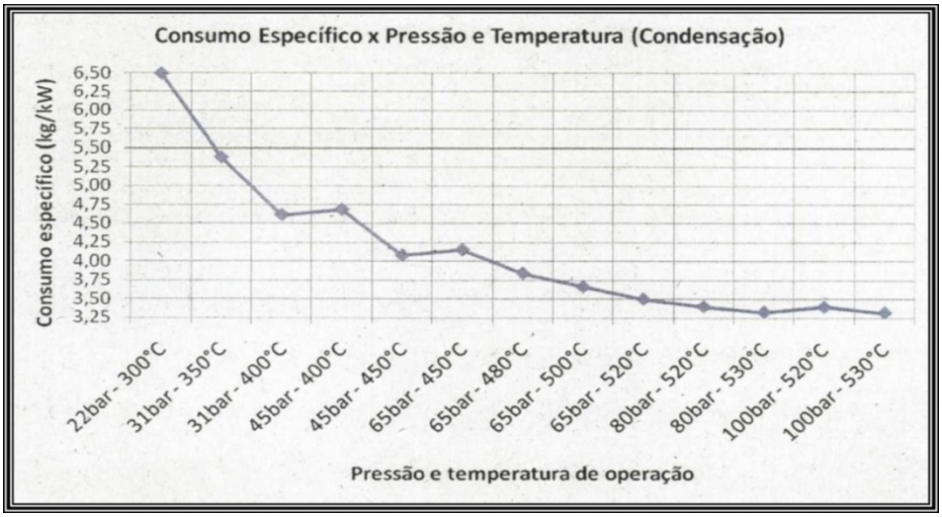
(extraido de Guilherme 2013)

CALDEIRA DE LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE
CONSUMO ESPECÍFICO DE VAPOR A DIVERSAS PRESSÕES E TEMPERATURAS
TURBINA A CONTRA-PRESSÃO



CALDEIRA DE LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE

CONSUMO ESPECÍFICO DE VAPOR A DIVERSAS
PRESSÓES E TEMPERATURAS
TURBINA A CONDENSAQÁO



Sistemas de combustión a emplear para el uso de la biomasa cañera.

Las características de calidad y tipo del combustible disponible definirán las tecnologías de combustión a utilizar en la caldera, destacándose para nuestro caso las siguientes:

- Parrilla pin-hole:

Es utilizado cuando se posee en lo fundamental el bagazo con humedades inferiores al 54% e impurezas por debajo del 5% (tierra).

- Parrilla viajera:

Se utiliza para cuando se pretende utilizar bagazo y otros combustibles con impurezas iguales o superiores al 5%.

- Parrilla de Lecho Fluidizado burbujeante:

Se utiliza para cuando se dispone de varios combustibles con humedades posibles de hasta el 65% con diferentes granulometrías y altas impurezas superiores al 5%.

Según la experiencia en Brasil el porciento de aprovechamiento es similar en los tres sistemas superiores al 98%, no destacándose tiempos perdidos significativos ni repetitivos en su operación, el costo de mantenimiento es equivalente en los tres.

Determinación de la cantidad y tipos de turbogeneradores a emplear.

El empleo de uno o más tipos de turbogeneradores estará en función de la capacidad de producción y duración de la zafra, del esquema energético y los resultados que se pretendan alcanzar en función de las prioridades de los objetivos específicos de cada planta (azúcar, alcohol y energía eléctrica).

En el caso de Brasil hay una tendencia de la utilización de más de un turbo con combinaciones de contrapresión y condensación como estrategia de priorizar el objetivo de producir azúcar y alcohol por encima de la entrega de energía eléctrica, por la no demanda de esta y preservar los objetivos principales de esta industria que es la producción de azúcar y alcohol según la planificación de los compromisos y la demanda.

Nuestra industria azucarera se encuentra en estos momentos en un punto crítico producto a la crisis energética - económica mundial, por lo que se debe dar un salto en el desarrollo industrial y para eso se deben trazar solidas y firmes estrategias que complementen aumentos en la eficiencia de nuestras producciones y en la nueva forma de cogeneración.

Estrategias del aumento de entrega de energía eléctrica en la industria azucarera.

- Disminuir los consumos propios de vapor para la producción de azúcar y alcohol a valores inferiores a 400 Kg/tcaña.
- Aumento de los parámetros del vapor generado (temperatura y presión), y en correspondencia aumentar la eficiencia de los equipos del bloque energético.
- Utilización de ciclos regenerativos y recalentamientos.
- Utilización de la paja como combustible complementario.
- Uso de otros combustibles alternativos.

Dentro de las estrategias para el aumento de la eficiencia y la entrega de energía dentro del sector azucarero podemos decir que se han desarrollado diferentes tipos de tecnologías que por su importancia pasan a ser novedades y de estas citaremos algunas:

Tecnologías novedosas utilizadas en la actualidad.

- Sistemas de combustión de lecho fluidizado burbujeante.
- Condensadores evapórativos.
- Producción de alcohol de segunda generación.

Todo lo planteado hasta aquí se debe analizar conjuntamente con la fábrica de azúcar anexa a la Bioeléctrica, ya que como conjunto industrial se tiene una marcada influencia de los parámetros de temperatura y presión del vapor en el balance energético.

La influencia que ejercen los parámetros del vapor directo en el consumo de las turbinas, es bien conocido por los técnicos y especialistas del sector industrial azucarero: "a medida que se eleva la presión, o la temperatura, o ambos parámetros en el vapor directo, se reduce su consumo para una misma generación de potencia".

Este comportamiento permite:

- Generar mas electricidad si se mantiene el consumo de vapor del proceso constante y existe reserva en los turbogeneradores de la planta eléctrica, o
- Lograr mayor sobrante de bagazo, si se mantiene constante la generación eléctrica y se implementa un esquema de evaporación mas eficiente que reduzca el consumo de vapor del proceso y en ambos casos manteniendo el balance de vapor que evita el sobrante de escape y por ende su expulsión a la atmósfera.

Los niveles de presión y temperatura del vapor directo con los que se trabaja en nuestra industria azucarera, tradicionalmente han sido los siguientes:

PRESION		**TEMPERATURA**
kg/cm^2	**psig**	**^{0} C**
11	**150**	**240**
18	**250**	**320**
28	**400**	**400**

Teniendo en cuenta estos parámetros tradicionales de nuestra industria, debemos encaminar nuestro análisis sobre cogeneración sin dejar pasar por alto los puntos metodológicos que intervienen para el aumento de Presión y Temperatura por la influencia y repercusión con la fábrica, por lo que presentamos la siguiente guía metodológica:

Guía metodológica:

1- Tipo de caldera y sistema para la combustión.
2- Parámetros de diseño de los nuevos turbos y sus configuraciones físicas que deben tener en cuenta las posibles extracciones en las etapas, tipo de turbos, etc.
3- La situación del balance actual del ingenio y el nuevo balance que se establece a partir del incremento de la presión y temperatura.

4- Resultado que se pretende: incremento de electricidad generada y sobrante de bagazo.
5- Posibilidades de implementar:
    5.1- Capacidad y cantidad adecuada de turbos.
    5.2- Posibilidades de entrega al SEN (capacidad de la subestación de enlace), etc., así como capacidad del almacén de bagazo, posibilidades de manipulación, etc.
6- Nuevos parámetros del vapor de escape y necesidad de su nuevos y adecuados sistemas de atemperamiento
7- Según el nuevo balance del sistema, utilizar a mayor escala y adecuaciones la aplicación de los sistemas regenerativos.
8- Comprobar las válvulas, cheques, trampas y otros accesorios de las líneas en el sistema fabril.
9- Comprobar el aislamiento térmico de la línea de vapor y la caída de temperatura en el sistema fabril.
10- Realizar un análisis económico que compare la inversión a ejecutar y los resultados a obtener.
(Pérez L, 1999)

Bibliografía.

1. Barreto, Guilherme, São Martinho Um case de sucesso na utilização de Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante e de Condensador Evaporativo na Turbina de Condensação, Curso de Caldeiras, Vapor e Energia, Riberao Preto, Brasil, Junio 2013.
2. Best, G. (1998). Los combustibles de la biomasa y el futuro. Departamento de desarrollo sostenible de la ONU para la agricultura y la alimentación (FAO).
3. De Oliveira,G. Projetos de Cogeração no Grupo Renuka – Unidade Revati - Um Case de Sucesso, Curso de Caldeiras, Vapor e Energia, Riberao Preto, Brasil, Junio 2013.
4. Ginds, A. (2001).Una fuente de energía no contaminante. Aldea educativa, Venezuela.
5. Kasputes, João, Influencia de temperatura e pressão de vapor em centrais termoelétricas integradas com otimizações no consumo de vapor no processo produtivo, Curso de Caldeiras, Vapor e Energia, Riberao Preto, Brasil, Junio 2013.
6. Llanes, J. (1994). "Caña de azúcar, ¿azúcar o energía? Hacia un sistema energético sustentable", Taller Económico ambiental, Kingston, Jamaica, pp.:415-447.
7. Magassiner, N. (1994). "El diseño de calderas bagaceras con referencia específica para la cogeneración", Seminario Internacional de Generación Comercial de Energía Eléctrica en la Agricultura Cañera, pp.:179-199.
8. Mesa, J, González P. (2003) Balance de CO2 en la obtención de energía renovable a partir de la caña de azúcar. jmesa@cimex.com.cu.
9. Sinclair, T, Anderson, DNL. (1997). "Factores limitantes de la producción de caña de azúcar (III). Potencial teórico de producción". Sugar Journal, Vol. 59, #10, pp. :8-9.
10. Hernández, B. (2012). Tabla adjunta a informe para Directores Técnicos y Energéticos de AZCUBA.
11. Lic. Wilfredo Prado Medina, (2010). Curso de habilitación para Operadores de Grupos Electrógenos de Emergencia. ENUNE.
12. Ing Luis Pérez Garay, 1999. Mejoramiento del Balance Energético del Ingenio elevando la temperatura del vapor de entrada a las turbinas.

MAYOR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD O MENOR CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

BIGGER ELECTRICITY GENERATION OR SMALLER FUEL CONSUMPTION IN THE SUGAR INDUSTRY

Autores: Francisco Diez Torres[1], Francisco Hernández Bilbao[1], Jesús Mosquera Castro[2]

[1] Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca 804 esq. Carretera Central. San Miguel del Padrón. Ciudad Habana.
[2] UEB Jesús Rabí, Empresa Azucarera Matanzas.

Email: francisco.diez@icidca.edu.cu
francisco.bilbao@icidca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas a ser resueltos en la actualidad es la reducción del consumo de combustibles fósiles, debido tanto al agotamiento predecible de sus reservas por los altos niveles de consumo, como por la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero que afectan el medio ambiente. Por esta razón es que en los últimos años se han estudiado nuevas fuentes de energía, renovables y limpias, que ayuden a reducir el consumo de estos y la emisión de gases contaminantes.

No obstante esta búsqueda, sigue siendo la energía obtenida por la combustión de la biomasa la más eficiente y la que parece tener potencialidades para sustituir al menos una gran parte de la que se produce hoy por medio de hidrocarburos. Sobre sus procesos de combustión y los ciclos a utilizar se realizan estudios de optimización para alcanzar mayores rendimientos y eficiencias.

Entre las plantas utilizadas para fines bioenergéticos se destacan las gramíneas, como la caña de azúcar, cuya eficiencia fotosintética es de las más altas entre todos los vegetales, razón por la cual la agroindustria azucarera es considerada una gran fuente de producción de energía (*BNDES 2008*). Como resultado de la molida de la caña se obtiene bagazo que es utilizado para autoabastecer a la industria energéticamente (potencia y calor en sistemas de cogeneración) y como derivado tradicional, el etanol, que normalmente se obtiene de las mieles finales, pero que también puede obtenerse de mezclas de jugo y miel y de jugo de caña directamente.

En el presente trabajo se realiza un análisis de la evolución técnica que ha sufrido la cogeneración en la industria azucarera debido a los cambios de filosofía en cuanto a la disponibilidad de bagazo y su uso como fuente de energía renovable y limpia para la generación de electricidad. Se analiza hasta que presiones se debe alcanzar en la generación de vapor, así como nuevos esquemas energéticos, o la utilización en la industria azucarera de esquemas y ciclos utilizados en la generación de electricidad en termoeléctricas, de manera que propicien mayor producción de electricidad o menor consumo de combustible, lo que produciría

a la vez mayor cantidad de bagazo sobrante y por tanto menores volúmenes de biomasa a transportar en aquellos ingenios dónde para generar en tiempo inactivo, no alcance el bagazo sobrante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Evolución Técnica de la Cogeneración en la Industria Azucarera.

Si se realiza un análisis de la evolución técnica que ha sufrido la cogeneración en la industria azucarera debido a los cambios de filosofía en cuanto a la disponibilidad de bagazo y su uso como fuente de energía renovable y limpia para la generación de electricidad, observamos que (*Costa 2008*):

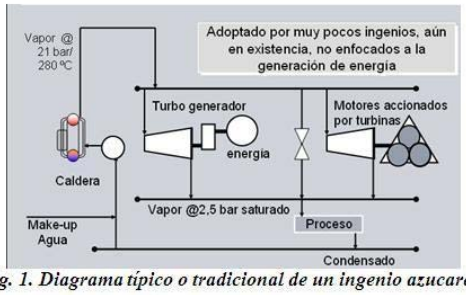


Fig. 1. Diagrama típico o tradicional de un ingenio azucarero

1. Antiguamente el bagazo era considerado como un residual que ocasionaba un problema ambiental, por lo que debía ser quemado para resolver la situación y solo se producía con él la electricidad y el vapor necesario para el proceso. Las calderas utilizadas eran de baja presión y temperatura (18-21 bar, 280 ºC) con una eficiencia pobre al igual que las unidades de cogeneración que en muchas ocasiones no suministraban todas las necesidades del ingenio. Por lo general los motores mecánicos eran accionados con pequeñas turbinas de vapor y solo las bombas y otros equipos como las centrífugas, eran accionados por motores eléctricos (Fig. 1, *Costa 2008*).

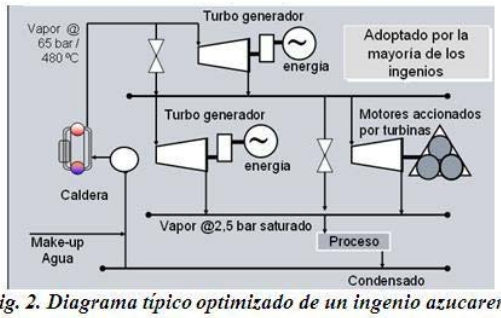


Fig. 2. Diagrama típico optimizado de un ingenio azucarero

2. Posteriormente se optimiza el esquema anterior, produciéndose una generación de energía más eficiente con una mejor relación presión/temperatura (42-65 bar, 480ºC), pero sin embargo aún no bien optimizada y por debajo de las posibilidades reales. Las calderas de nueva generación tenían todavía una eficiencia media y subsistían aún demasiados motores mecánicos accionados con turbinas pequeñas de vapor y baja eficiencia. No existía todavía un concepto definido de planta de generación de vapor y energía, pues la generación de electricidad no era todavía una necesidad (Fig. 2, *Costa 2008*).

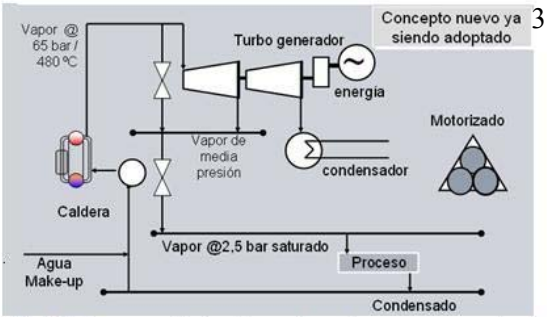


Fig. 3 Diagrama típico de un ingenio azucarero actual

3. Actualmente la filosofía energética de la industria azucarera y de los derivados, ha cambiado debido al alza de los precios del petróleo y la necesidad de evitar o disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. Por esta razón, la mayoría de los ingenios actuales presentan esquemas más eficientes de cogeneración, con mayores presiones, mayores eficiencias y con aporte de electricidad a la red. La producción de energía ha pasado a ser uno de los principales productos del ingenio (Fig. 3, *Costa 2008*).

Según algunos autores como Costa 2008, en la actualidad la tendencia es a utilizar esquemas que se caracterizan por:

- Parámetros de alta presión y temperatura, con calderas de alta eficiencia
- Reemplazo de turbinas de vapor pequeñas (como accionamientos) por motores eléctricos con convertidor de frecuencia por lo que se incrementa la eficiencia global de la planta.
- La eficiencia es un objetivo fundamental en todo el ingenio. En algunos países se utiliza la paja y el cogollo o punta de la caña como combustibles adicionales al bagazo.
- Se utilizan equipos de alto comportamiento, rendimiento y eficiencia.
- Se realiza una evaluación técnica de los procesos de gasificación de la paja de la caña y el bagazo para producir una migración a ciclo combinado.

En la actualidad, dada la potencialidad de la industria azucarera, las plantas de azúcar y derivados se están convirtiendo en productores de energía, es decir, la energía pasa a ser un producto principal y deja de contemplarse como un subproducto, sobre todo en aquellos países que no poseen yacimientos de hidrocarburos, pero son productores de azúcar. En los nuevos ingenios o aquellos que se remodelan sobre todo desde el punto de vista energético, se tienen en consideración para el diseño de la planta de cogeneración los siguientes factores (*Costa 2008, Herrera 2010, Diez, Garrido 2012)*:

- Utilización del bagazo sólo o bagazo + paja de la caña como combustible.
- Parámetros de vapor. Atas presiones y temperaturas con bajo consumo de vapor por KW de electricidad producido.
- Reducción de consumos internos de vapor de proceso en todo el ingenio.
- Electrificación de los accionadores.
- Conexión a la red pública.
- Operación del ingenio sólo en zafra o en no zafra para producción de electricidad con el bagazo sobrante.
- Uso de nuevas tecnologías.

Otra tendencia actual es la de aumentar la eficiencia de todos los equipos que intervienen en la producción y utilización de la energía, fundamentalmente la caldera y los turbogeneradores y se pueden resumir según (*Costa 2008*):

- Parámetros de vapor por encima de 85 bares y 500 ºC.
- Producción de energía durante todo el año o la mayor parte de él.
- En cuanto a las turbinas se estimula el uso de una sola turbina de gran tamaño, de extracción condensación, con álabes de reacción, en vez de dos unidades una de contrapresión con extracción y otra de condensación, trabajando a 92 bar y 530 ºC.

La siguiente tabla compara los anteriores esquemas de cogeneración en cuanto a consumo específico de vapor/KW y energía eléctrica generada en MWh/año (*Costa 2008*):

Tabla I. Comparación entre los diferentes esquemas de cogeneración.

P (bar.)	**21**	**42**	**65**	**> 90**
Temp. (º C)	**300**	**400**	**490**	**> 500**
Consumo especifico kg vapor / kW	**12,5**	**7,8**	**5,7**	**4,74**
Energía Generada MW/año	**38'400**	**61'500**	**84'200**	**101'300**
Incremento de generación en %	**X**	**X + 60%**	**X + 200%**	**X + 260%**

No obstante estas últimas afirmaciones en cuanto a la tendencia mundial, todo parece indicar que aunque la tendencia es la de generar a las más altas presiones y temperaturas, las mejores relaciones costo/beneficio las tienen para la industria azucarera las presiones entre (65-67) bar y las temperaturas entre (480 y 520) ºC. En cuanto a la utilización de un solo turbo de extracción condensación, siguen existiendo esquemas con combinaciones de un turbo de contrapresión y uno de condensación. Es decir, existe una tendencia general, pero con soluciones particularizadas según el país, región, necesidades, posibilidades de inversión, así como otros factores influyentes. En otras palabras, la decisión es básicamente económica.

Incremento del Rendimiento del Ciclo de Vapor (ciclo Rankin).

En sentido general, la evolución descrita anteriormente, no ha contado con la introducción de variantes o mejoras al ciclo Rankine clásico, que si han sido ampliamente introducidas en la industria de la generación de electricidad a partir de hidrocarburos, y que están destinadas a incrementar la eficiencia del ciclo y con ello, poder decidir entre potenciar la generación de electricidad con la misma cantidad de combustible o la de obtener ahorros de combustible, manteniendo la misma generación. Es por esto que en la actualidad, firmas diseñadoras y constructoras de plantas termoeléctricas, están introduciendo en sus ofertas estas variantes del ciclo Rankine para plantas de generación a partir de biomasa en sentido general y de biomasa cañera en sentido particular.

Estudiando las posibilidades de incremento de la eficiencia del ciclo Rankine, se llega a la conclusión de que para lograrlo es necesario incrementar el trabajo neto producido (W_{neto}), es decir, incrementando el área encerrada bajo la curva T Vs S (temperatura Vs entropía) con la misma energía proporcionada (Fig. 4, *Costa 2008*), mediante una de las siguientes acciones:

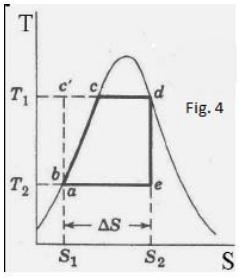


Fig. 4

1. Disminuir la presión de salida de la turbina.
2. Aumentar la temperatura de operación de la caldera (incrementando por supuesto la presión).
3. Utilización de un ciclo regenerativo.

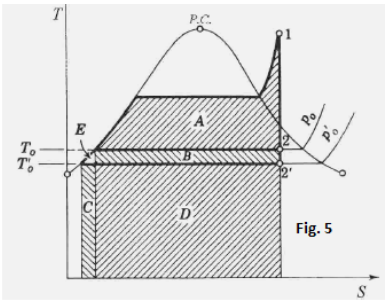


Fig. 5

1. **Disminución de la presión de la turbina**: Cuando e disminuye la presión de vapor en la descarga de la turbina, se incrementa el trabajo producido por el ciclo (superficie B) en una proporción directamente proporcional a la disminución de la temperatura lograda en base a la disminución de presión. El calor consumido en la caldera es el mismo, mientras que el calor entregado en el condensador se incrementa en la proporción dada por la superficie rayada "C" de la Fig. 5 (*Rodríguez, J*).

La limitante se encuentra en la temperatura del agua de enfriamiento, la que de cualesquiera de las fuentes posibles existentes, depende de la temperatura ambiente y puede estar entre (0-30) ºC y que en Cuba es de 30 ºC promedio. La temperatura ambiente y de trabajo del condensador, determina la presión de vacío alcanzable, que en las plantas generadoras de electricidad puede estar entre (0,035-0,04) Kgf/cm^2 abs, pero para nuestras temperaturas ambientes, las presiones alcanzables son algo mayores. Por ejemplo, para 0,03 Kgf/cm^2, la temperatura de equilibrio es de 23,8 ºC y para 0,04 Kgf/cm^2, es de 28,6 ºC.

Los condensadores pueden ser abiertos (de mezcla) o cerrados (de superficie), aunque los sistemas modernos tienden a utilizar ambos tipos. La extracción de los gases incondensables y el vacío previo, se obtiene a partir de un eyector, una bomba de vacío o combinaciones de ambos.

Tabla II. Ahorro de combustible por efecto de la presión del condensador

PRESIÓN DE TRABAJO DEL CONDENSADOR (Kgf/cm^2)	0,1	0,04	0,02
AHORRO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE (%)	1,5	2,4	5,2

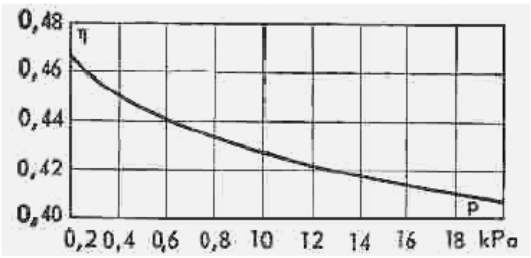


Fig. 6

La Fig. 6 (*Rodríguez, J*), muestra por su parte, la variación de la eficiencia del ciclo de acuerdo a la presión del condensador.

Sin embargo, la disminución de la presión del condensador por debajo de la atmosférica, trae consigo la imposibilidad de evitar en la práctica que penetre aire en el sistema, por las pequeñas grietas que se producen en las tuberías, prensaestopas, otras uniones, que impiden la estanqueidad del sistema, razón por la que es necesaria la inclusión de un desaireador que se ubica normalmente entre las bombas inyectoras de condensado y la caldera, ya que el desgaste del eje de éstas bombas puede provocar también la entrada de aire.

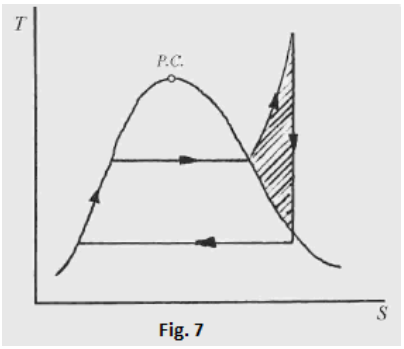


Fig. 7

1.1. **Aumento de la temperatura del vapor (recalentamiento)**: Si en vez de bajar la presión y por tanto la temperatura a la que el sistema entrega el calor, se incrementa la temperatura del vapor hasta llegar a la zona de vapor sobrecalentado se incrementa la eficiencia del ciclo, de acuerdo al incremento de la zona rayada según la Fig. 7 (*Rodríguez, J*). La justificación se encuentra en que al aumentar la temperatura del vapor, será menor la diferencia entre la temperatura de este y la del horno y por lo tanto será menos irreversible el proceso. El límite de sobrecalentamiento viene fijado por la resistencia de los materiales y se encuentra normalmente alrededor de los 580 ºC.

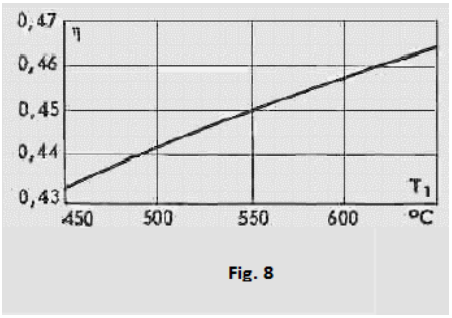


Fig. 8

La Fig. 8 (*Rodríguez, J*), muestra el incremento de la eficiencia de un ciclo Rankine con recalentamiento. El gráfico pertenece a un ciclo en el que la presión máxima es de 170 Kgf/cm^2, la presión del condensador de 0,04 Kgf/cm^2 y la temperatura del vapor sobrecalentado se mueve por el eje de las abscisas.

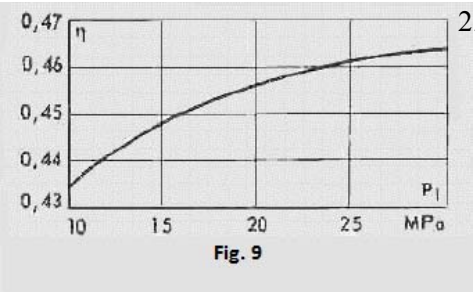


Fig. 9

2. **Empleo de altas presiones**: Si incrementamos la temperatura de operación por incremento de la presión de trabajo de la caldera, se eleva el límite superior del ciclo, aumenta el área encerrada bajo la curva y con ello la eficiencia. La máxima presión de trabajo, aún para las calderas supercríticas, que son aquellas que trabajan por encima de la presión crítica que es de 218 atm, no superan actualmente las 240 atm. La Fig. 9 (*Rodríguez, J*), muestra el efecto de la presión de trabajo sobre la eficiencia del ciclo Rankine para las mismas condiciones de la figura anterior.

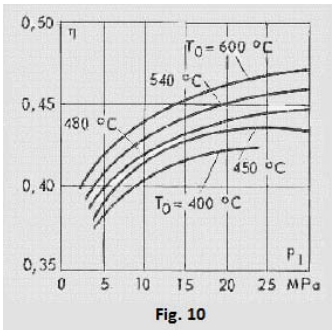


Fig. 10

2.1. **Uso de altas presiones con recalentamiento**: De lo anteriormente estudiado, se desprende que si utilizamos altas presiones, también podemos y debemos llevar el vapor a vapor sobrecalentado, con lo que obtendremos mayor eficiencia en el ciclo. Si para las mismas condiciones que las dos gráficas anteriores, se utilizan varias temperaturas de recalentamiento, se obtienen las isotermas de la Fig. 10 (*Rodríguez, J*).

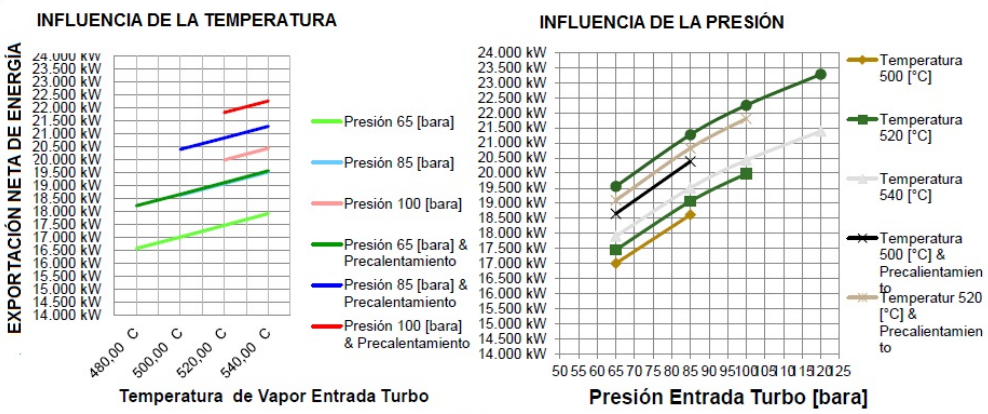


Fig. 11

Fig. 12

La Fig.11 (*Kasputes J*), muestra la influencia directa de la temperatura y de la presión en la exportación neta de energía. En el caso de la temperatura, esta ganancia de potencia se debe lógicamente al incremento de la entalpía del vapor, pero en el caso del incremento de la presión manteniendo la misma temperatura, la ganancia en generación, aunque menor, se debe al incremento del rendimiento de las turbinas accionadas por este vapor (*Barreto, G*). La Fig. 12 (*Buranello, L*) por su parte, muestra mediante los saltos entálpicos, la ganancia energética que se produce en las turbinas de contrapresión y de condensación, debido al incremento combinado de la temperatura y la presión.

2.2. Existe una medida que si bien no tiene efecto directo sobre el rendimiento o eficiencia del ciclo, implica un ahorro de energía y es el aprovechamiento del calor de los gases de escape de la caldera o gases de chimenea, energía que de otra manera se perdería y que sin embargo, de esta manera, incrementa el calor total entregado por el combustible y con ello la eficiencia. Esta es una medida que se utiliza ya generalizadamente en cualquier caldera, calentando el agua de alimentar (y el aire primario) después de la bomba inyectora y antes de llegar al domo, mediante el uso de economizadores que no son más que

intercambiadores de calor del tipo de superficie que se interponen en el camino de los gases hacia la chimenea.

2.3. Otra medida que fue ampliamente utilizada en muchos países, que si tiene influencia directa en la eficiencia del ciclo y que por cálculo, es la que con mayor eficiencia recupera el calor o energía de los gases de chimenea (*Arrascaeta, A 198)*, es la de secar el bagazo antes de entrar a la caldera. El secado del bagazo dejó de aplicarse en Cuba por varias razones, entre las que se puede mencionar como fundamental, los problemas de altas temperaturas por incremento del Poder Calórico del bagazo, lo que pudo haber sido causado por disminución drástica de la humedad del bagazo (20%-25%) y la no adaptación de la caldera (tiros de aire primario y secundario, etc.) para el nuevo combustible. El secado del bagazo puede realizarse con secadores horizontales y verticales, de contacto directo o indirecto y a contracorriente o a corriente. De acuerdo a la bibliografía revisada, las mejores opciones son los secadores verticales de contacto directo a contracorriente.

También pueden utilizarse los gases de chimenea antes o después de los equipos de recuperación antes de la salida definitiva de la caldera. En la primera opción (T_{gases} ~ 380ºC), se utilizaría solo una parte de los gases y de acuerdo a *Cruz, C et al 2013*, las ganancias energéticas a partir del secado del bagazo serían las mayores y si se utiliza la segunda opción (T_{gases} ~ 130-150ºC en calderas modernas de alta eficiencia ~ 85%), se utilizarían todos los gases de escape y no se reducirían las ventajas del uso de los economizadores en el incremento de la temperatura del agua de alimentar y del aire para la combustión.

En la actualidad existen algunas opiniones respecto a la no factibilidad del secado del bagazo en calderas modernas de alta presión, gran altura y alta eficiencia (85%), en las que la temperatura de los gases de escape está entre (130-150) ºC, entre otras razones debido a la cercanía de la temperatura de los gases de chimenea a la de rocío. Desde los años ( ) *Arrascaeta y Fredman1984 y 1987* en su estado del arte sobre secado del bagazo y con sus trabajos, demostraron que este problema puede ser resuelto.

En la actualidad se ha vuelto a considerar el secado del bagazo como una opción para incrementar la eficiencia en la combustión y con ello la eficiencia del ciclo y lograr un incremento del bagazo sobrante o de la energía a producir con la misma cantidad de combustible. Cuando se seca el bagazo aún en calderas actuales con alta eficiencia y baja temperatura de los gases de chimenea, se disminuye el tiempo y sobre todo la energía consumida para secar el combustible como primera etapa en el proceso de combustión (*Federico, J 2010, Sosa-Arnao, J 2004, Batstone, D.2013*, *Chauhan, M 2013y Kasputes*, *J 2013*)

De acuerdo a *Kasputes, J 2013* si secamos el bagazo de 50% MS a 70% MS, es decir, de 50% de humedad a 30% de humedad, se remueven 0,286 kg agua /kg bagazo lo que significa 0,286 kg (2777,6 kJ/kg-188 kJ/kg) = 736,5 kJ/kg bagazo de energía menos a consumir en la caldera para secar el bagazo. Esto significa que para un bagazo con PCI de 7350 kJ/kg y una eficiencia de la caldera de 85% se obtiene una ganancia de energía en la de 736,5 / (0,85*7350) = 11,7% porque se evapora menos agua en el interior de la caldera.

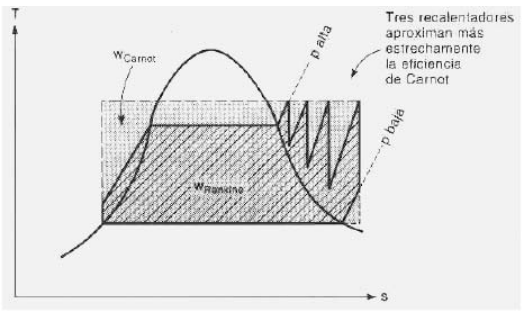


Fig. 13

2.4. **Expansión en varias etapas con recalentamiento intermedio:** Consiste en extraer el vapor antes de su expansión total en la turbina y hacerlo recircular por la caldera, incrementando nuevamente su presión, temperatura y por tanto, entalpía y volverlo a introducir a la turbina. Si se analiza la Fig. 13 (*Rodríguez, J*), es obvio que mientras mayor sea el número de etapas de recalentamiento, mayor será la aproximación del ciclo Rankine al Carnot, que es el de mayor eficiencia posible, pero en la práctica, esto sería muy complejo y costoso, por lo que por lo general se utiliza una sola etapa o dos.

Otra razón por la que se utiliza el recalentamiento intermedio en varias etapas, es la de evitar (al igual que con la del sobrecalentamiento del vapor en la caldera) la existencia de dos fases (vapor con pequeñas gotas de agua) en la turbina, lo que erosiona los álabes de la turbina y disminuye la eficiencia de la misma.

3. **Ciclo regenerativo:** todo esfuerzo realizado para mejorar la eficiencia del ciclo Rankine, está encaminada a su vez en atenuar las irreversibilidades del ciclo, que hacen que la eficiencia total de una planta de producción de energía, no sobrepase jamás el 50%, lo que implica un bajo aprovechamiento de la energía. La irreversibilidad del ciclo Rankine y que lo aleja del Ciclo Carnot, está dada fundamentalmente en lo irreversible que resultan los procesos de transferencia de calor debido fundamentalmente a su espontaneidad.

Siguiendo este razonamiento, al igual que con el recalentamiento en etapas del vapor en la turbina, se utilizan múltiples extracciones o "sangrías" en la turbina, para precalentar el agua de alimentar la caldera fundamentalmente y el aire primario utilizado para la combustión. Usualmente se emplean tres regeneradores o más (en las plantas de alta eficiencia se utilizan de 5 a 10). La cantidad de regeneraciones y la cantidad de vapor extraído en cada etapa se hacen mediante balances térmicos que se realizan de mutuo acuerdo entre el fabricante de la turbina y el de la caldera, comenzando siempre de mayor a menor presión.

Los regeneradores son intercambiadores de calor que pueden ser abiertos, es decir, de contacto directo entre el vapor y el agua o de superficies también conocidos como cerrados. Los regeneradores abiertos presentan como ventajas, su menor costo debido a su simplicidad y que mejoran el rendimiento dado que existe una interacción directa entre el vapor y el agua, pero tienen la desventaja de poseer mayores problemas de operación y necesitar dos bombas para trabajar. Por su parte, los regeneradores (o intercambiadores) cerrados o de superficie, de carcaza y tubos, Presentan como ventajas que al tener diferentes presiones en las purgas de vapor y de agua, las trampas de vapor trabajan mucho más aliviadas, mejoran también el rendimiento y son más dósiles en la operación pero tienen las desventajas de utilizar mayor cantidad de vapor y la de ser algo más caros. Los regeneradores pueden, de acuerdo a las presiones de trabajo, pueden ser de alta presión, que se encuentran situados entre la bomba de alimentación y la caldera y utilizan vapor de extracciones de la turbina en los estados de alta y media presión, o de baja presión, situados entre el condensador de la turbina y la bomba de alimentación y utilizan vapor de extracciones del estado de baja presión de la turbina (*Buranello, L*).

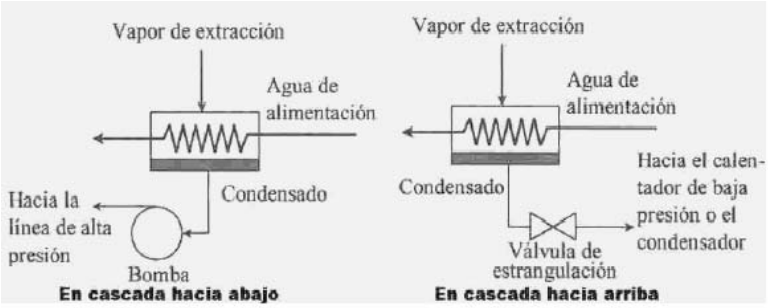


Fig. 14

La Fig. 14 (*Rodríguez, J*), muestra que la regeneración puede realizarse en cascada hacia abajo, cuando el condensado y el vapor de extracción tienen el mismo sentido o en cascada hacia arriba, cuando el condensado del vapor de extracción va en sentido contrario al agua a calentar, es decir, hacia la línea de alta presión, o en cascada hacia arriba, cuando el condensado del vapor de extracción va hacia el calentador de menor presión o hacia el condensador. En cascada hacia arriba, como el condensado sale a mayor presión que el destino, debe reducirse mediante una válvula reductora.

La Fig. 15 (*Rodríguez, J*), muestra un ciclo regenerativo con una sola extracción de vapor y un regenerador cerrado cascada arriba. ¿Cómo influye el ciclo regenerativo en el rendimiento o eficiencia del ciclo?.
De acuerdo a la nomenclatura del gráfico de la Fig. 16 (*Rodríguez, J*), la eficiencia del ciclo Rankine no regenerativo se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

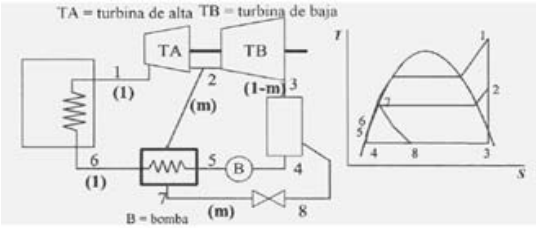


Fig. 15

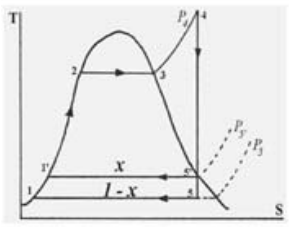


Fig. 16

$$\eta = \frac{h_4 - h_3}{h_4 - h_1}$$

La eficiencia del ciclo Rankine regenerativo por su parte, después de un balance entálpico, se puede calcular según (*Rodríguez, J*):

$$\eta_R = \frac{A - \sum_{i=1}^{n} \alpha_i B_i}{C} = \frac{A - \sum_{i=1}^{n} \alpha_i (h_i - h_e)}{C}$$

Dónde:

A= Diferencia del entalpías del vapor que entra a la turbina (o sale de la caldera) y del vapor que sale de la turbina hacia el condensador.
B_i= Diferencia de entalpía entre el vapor de cada extracción y del vapor que sale de la turbina al condensador.
α_i= Fracción de vapor que sale de cada extracción.
C= Diferencia de entalpías del vapor que sale de la caldera y del condensado que entra a la caldera.

Con el ciclo regenerativo, se logra (*Buranello, L 2013*):

- Una economía de combustible entre 10% y 15%, si se mantiene la misma generación de vapor.
- Un incremento en la generación de vapor de 8% al 15%, si se mantiene la misma cantidad de combustible.
- Una ganancia de energía de 3% al 10%, incrementando la capacidad de generación.
- Una eficiencia total (no solo térmica) del ciclo de 25%-35%.

Durante las licitaciones para la bioeléctrica que se construirá en el ingenio azucarero Ciro Redondo, varias firmas, ofertaron ciclos con regeneración. La firma BWSC, propuso el ciclo que se muestra en la Fig. 17, que consta de 5 extracciones, tres en las etapas de altas y medias presiones y dos en la etapa de bajas presiones, utilizando 4 regeneradores de superficie, cerrados y 1 abierto con desaireador. Los regeneradores cerrados se encuentran trabajando todos en cascada hacia arriba, de modo que solo se necesita la utilización de una bomba en el regenerador abierto.

La firma SACYR de España por su parte, presentó un esquema de ciclo regenerativo de tres extracciones con una etapa de recalentamiento. Con el uso de esta combinación, se logra un incremento de los rendimientos bruto y neto del ciclo regenerativo con recalentamiento, respecto al ciclo sin recalentamiento de 4,0% y 3,68% respectivamente.

Aprovechando los datos que presenta el esquema de BWSC, haremos una comparación del ciclo regenerativo propuesto con el ciclo sin regeneración, utilizando las expresiones de cálculo de eficiencia del ciclo Rankine normal y del ciclo Rankine regenerativo:

$$\eta = \frac{h_4 - h_3}{h_4 - h_1} \qquad \eta_R = \frac{A - \sum_{i=1}^{n} \alpha_i B_i}{C} = \frac{A - \sum_{i=1}^{n} \alpha_i (h_i - h_e)}{C}$$

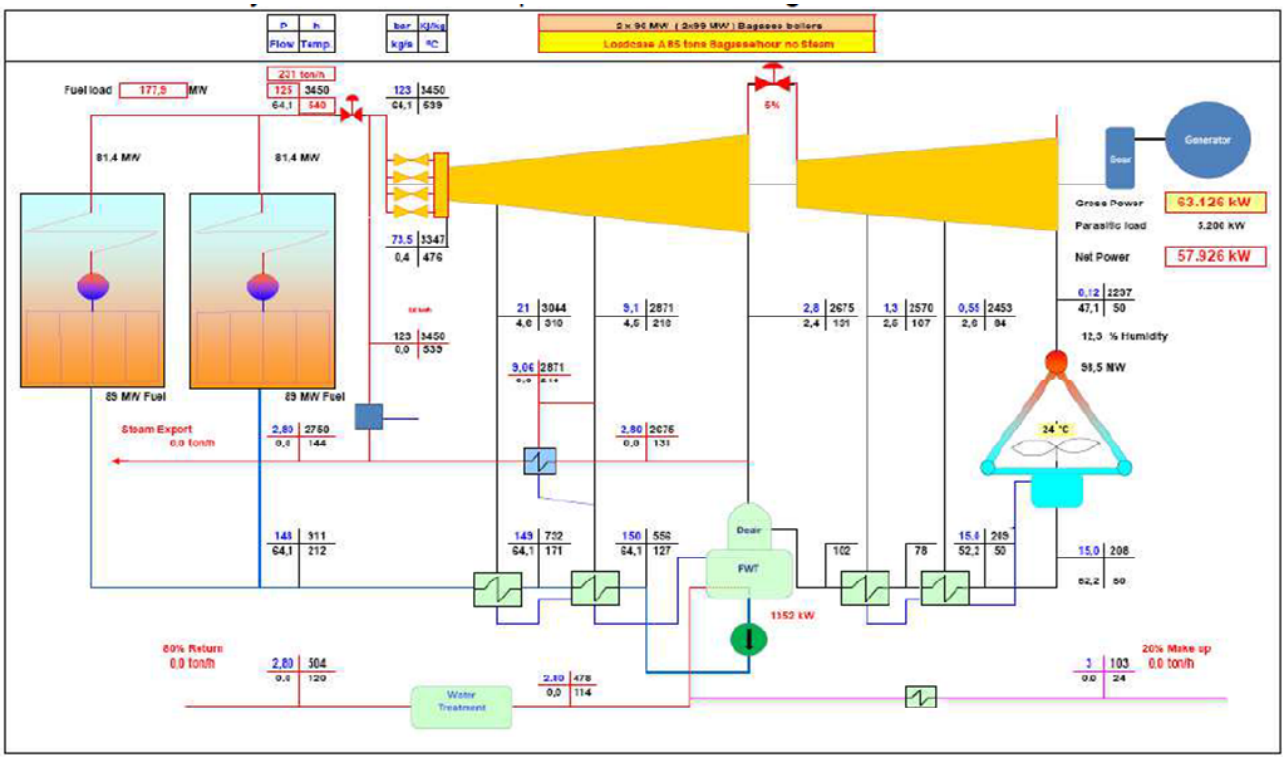
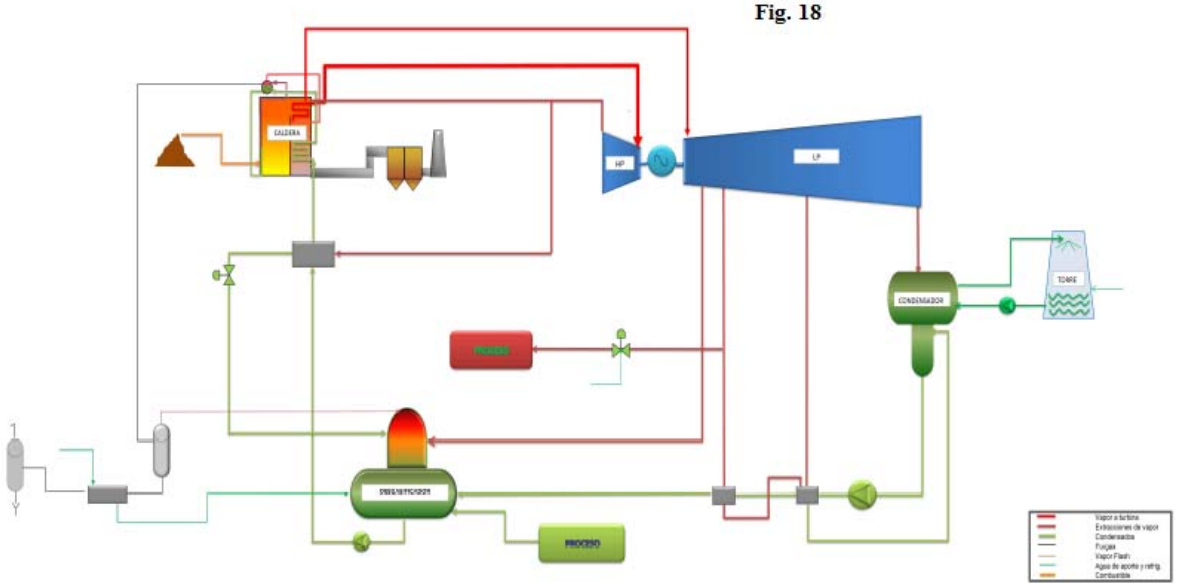


Fig. 17

Fig. 18



La secuencia de cálculo se muestra a continuación, para el ciclo regenerativo:

A=1153 Kj/Kg
C=2539 Kj/Kg

Cálculo de los α_i y los B_i

α_i	B_i	$\alpha_i B_i$
0,072	747	53,78
0,070	574	40,18
0,037	378	13,99
0,039	273	10,65
0,041	156	6,40
TOTAL		**125,01**

η_R = 1153-125,01/2539=0,4048≈0,41

η_R = 0,41

Para el cálculo de la eficiencia del ciclo sin regeneración, se toma como presión de vacío de la turbina (por condensación) 25" Hg, pero 25" Hg = - 0,8466 bar, que es la presión manométrica por lo que al trabajar con la absoluta, le sumamos 1 atm, que es igual a 1,01 bar, lo que implica que 1,01 – 0,8466 = 0,1634 ≈ 0,16 bar.

Esto en Kg/cm^2 => 1 atm = 1,03 Kg/cm^2 y 25" = 0,8633 Kg/cm^2 => 1,03 – 0,8633 = 0,1667 ≈ 0,17 Kg/cm^2.

No obstante, usaremos el complemento "Water Steam", con las presiones en bar, las temperaturas en ºK y entalpía en Kj/Kg.
De acuerdo al complemento, la entalpía para el vapor saturado a 0,1635 bar, es: 2601,45 Kj/Kg y la del líquido a esa misma presión, es: 233,449 ≈ 233,45 Kj/kg.

Para el ciclo no regenerativo:

η = 3450 – 2601,45/ 2539 – 233,45 = 0,368 ≈ 0,37
η = 0,37 < 0,41, que es el rendimiento del ciclo regenerativo con 5 extracciones.

La diferencia entre los rendimientos de ambos ciclos es de 0,41 – 0,37 = 0,04, lo que implica, si mantenemos todo el vapor a generar electricidad durante 180 días, que:

1. Para generar con el ciclo no regenerativo los 56 MWh que se generan con el ciclo regenerativo sería necesario combustionar 88,4 ton/h, es decir, 3,4 ton/h más, que representarían 12960 ton/a que habría que garantizar de más. En otras palabras, se ahorrarán manteniendo la misma producción de vapor y electricidad, 12960 ton/a. ***El ciclo regenerativo propuesto ahorra 12960 ton de bagazo al año generando 56 MWh***.
2. De igual manera, si se mantienen las 85 ton/h que se combustionan con el ciclo regenerativo, con el no regenerativo se dejarían de generar 2,24 MWh, es decir, 53,76 MW/d y aproximadamente 9677 MW en 180 días, que representarían una pérdida de 8064 USD diarios y 1 451 520 USD con el pago de 0,15 USD el KWh (150 USD el MWh). ***Con el ciclo regenerativo se generan 53,76 MW/d más, manteniendo el mismo consumo de combustible que con el ciclo no regenerativo e incrementando la generación horaria de vapor y electricidad.***
3. Aunque para nuestro país, la prioridad debe ser la de producir más electricidad, con la utilización de estas variantes de ciclo Rankine mejorado, se podría en vez de potenciar la producción de electricidad ahorrar biomasa en aquellos ingenios en los que ésta no alcance para producir durante el tiempo planificado y sea imposible encontrar ingenios suministradores en las cercanías lógicas a ser trasladada.

4. Podría incrementarse el rendimiento de este ciclo si se introdujera además de las extracciones de regeneración, al menos una etapa de recalentamiento como en el ciclo propuesto por SACYR.

CONCLUSIONES:

1. Indudablemente, la caña de azúcar puede llegar a representar, por medio de la generación de electricidad a partir de la biomasa que se genera en la producción del azúcar y con el bioetanol, la segunda fuente primaria y la principal forma de energía renovable en la matriz energética de los países productores de azúcar y etanol de caña.
2. Existe una gran necesidad de buscar cada vez mayor eficiencia energética para aprovechar al máximo la energía disponible, disminuyendo las pérdidas en los procesos de generación y uso de la energía. En este sentido, se incorporan a la matriz energética de los ingenios azucareros en Cuba, el concepto de Bioeléctrica, en las que se deben tener en cuenta los aspectos planteados en el presente trabajo y la optimización de los procesos dentro del ingenio para disminuir el consumo de energía.
3. El incremento de las presiones y temperaturas siempre incrementa la eficiencia y la producción de energía. Deberá analizarse en nuestro caso los niveles óptimos de presión y temperatura teniendo en cuenta el costo de los materiales, las facilidades de mantenimiento en el futuro, etc.
4. Con el uso de ciclos regenerativos, y de recalentamientos en etapas intermedias, se puede incrementar considerablemente la eficiencia del ciclo Rankine, resumiéndose en:
    - Una economía de combustible entre 10% y 15%, si se mantiene la misma generación de vapor.
    - Un incremento en la generación de vapor de 8% al 15%, si se mantiene la misma cantidad de combustible.
    - Una ganancia de energía de 3% al 10%, incrementando la capacidad de generación.
    - Una eficiencia total (no solo térmica) del ciclo de 25%-35%.
    - En el ciclo propuesto por BWSC, se logra una eficiencia de 041 contra 0,37 del ciclo sin regeneración.
5. La eficiencia anterior, puede incrementarse si se incorpora el secado de bagazo aunque sea a humedades de hasta 30%-35%. Para un bagazo con PCI de 7350 kJ/kg y una eficiencia de la caldera de 85% se obtiene una ganancia de energía de 11,7% por concepto de un 20% de agua que no se evapora en el interior de la caldera.
6. Es necesario analizar en cada caso específico, la incorporación definitiva del RAC en el combustible a utilizar, estudiando la forma óptima de incorporarlos.
7. No existe una fórmula ni esquema energético único que pueda ser extrapolado a cualquier ingenio, sino que cada caso lleva un estudio de Factibilidad Técnico Económica, dónde deben analizarse todos los aspectos que incrementen la eficiencia en la generación de electricidad y el uso de esta y del vapor dentro del ingenio. En cada se decidirá si maximizar la producción de energía, el ahorro de combustible o llegar a niveles de producciones y tiempos de producción lógicos para las necesidades de nuestro país.

RECOMENDACIONES:

1. Se recomienda se estudien las causas que produjeron que se dejara de secar el bagazo en Cuba, los esquemas y sistemas de secado utilizados en la actualidad para calderas modernas de alta eficiencia y bajas temperaturas de los gases de chimenea.
2. Debe decidirse si se maximiza la producción de electricidad durante zafra con la biomasa disponible y el uso de esquemas eficientes o si estos se utilizan para ampliar el tiempo de generación.

3. Se recomienda en todos los casos de estudios para la construcción de Bioeléctricas en Cuba, se incluya el análisis de la incorporación de ciclos regenerativos con recalentamiento intermedio y del secado del bagazo entre otras medidas de las analizadas en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Arnao-Sosa, J, et.al (2004), Sugar Cane Bagasse Drying, a Review, Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004), São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004, vol. B, pp. 990-997.
2. Arrascaeta, A., Friedman, P. (1984), Bagasse drying: past, present and future, International Sugar Journal Vol.86, no. 1021, pp. 3-6
3. Arrascaeta, A., Friedman, P. (1987), Bagasse drying, International Sugar Journal, Vol. 89, no.1060, pp. 68-70
4. Barreto, G (2013), São Martinho, Un Caso de Estudio en la Utilización de una Caldera de Lecho Fluidizado Burbujeante y de Condensador Evaporativo para la Turbina de Condensación.
5. Buranello, L (2013), Tecnologías y Soluciones para mayor Eficiencia en la Generación de Energía, Curso de Calderas, Vapor y Energía, Riberón Prieto, Brasil.
6. Costa, P. (2008), XIV Seminario de Ahorro de Energía, Cogeneración y Energías Renovables, Méxixco.
7. Diez, F, Garrido, N (2012), Bagazo de Caña de Azúcar; ¿Energía o Etanol Carburante?. Dos Casos de Estudio. Revista Española ded Ingeniería Química.
8. Federico, J, et.al (2010), Monitoreo de un Sistema de secado de Bagazo Acoplado a una Caldera de un ingenio en México.
9. Herrera, O. (2010), I Seminario Internacional Universidad -Estado- Sociedad. http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6408/8/CogeneracionBrasilSIEMENS.ppT.
10. Kasputes, J (1013, Influencia de la Temperatura y la Presión de Vapor en Centrales termoeléctrica integradas con Optimizaciones en el Proceso Productivo, Curso de Calderas, Vapor y Energía, Riberón Prieto, Brasil.
11. Rodríguez, J S/F, Introducción a la Termodinámica, Cap. 9, Ciclos de Vapor.

Bioproductos

ACTUALIDAD DE LOS BIOPRODUCTOS DE USO AGRICOLA. SITUACION EN CUBA
CURRENT TRENDS OF THE BIOPRODUCTS FOR AGRICULTURAL USE. CUBAN SITUATION

Orietta Fernández-Larrea*, Grizel Delgado**
*Grupo Empresarial LABIOFAM, Cuba oriettafl@infomed.sld.cu
**Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA, Cuba
grizel.delgado@icidca.edu.cu

Resumen

El empleo de microorganismos y/o sus metabolítos en la agricultura va ganando terreno principalmente por el impacto beneficioso que tiene sobre el medio ambiente.

Se expone una breve reseña de las principales tendencias en el desarrollo de los bioproductos a nivel mundial, que buscan lograr productos más novedosos y estables, que además resulten económicos con una efectividad competitiva con cualquier agroquímico en condiciones de campo, protegiendo el medio ambiente y favoreciendo el mantenimiento del equilibrio biológico.

Se refiere la situación en Cuba, donde la producción de bioproductos tiende a convertirse en una industria que le permitirá al país contar con recursos propios para el desarrollo agrícola.

Palabras claves: bioproductos, bioestimulantes, bioplaguicidas, biofertilizantes

Abstract

The employment of microorganisms and/or their metabolites in the agriculture go gaining ground mainly for the beneficial impact that has on the environment.

A brief review of the main tendencies is exposed in the development of the bioproducts to world level in order to achieve more novel and stable products that are also economic with a competitive effectiveness with any agrochemical under field conditions, protecting the environment and favoring the maintenance of the biological balance.

The situation in Cuba it's referred, where the bioproducts production spreads to transform into an industry that will allow to the country to have own resources for the agricultural development.

Key words: bioproducts, biostimulants, biopesticides, biofertilizers

Introducción

El empleo de microorganismos y/o sus metabolítos en la agricultura va ganando terreno principalmente por el impacto beneficioso que tiene sobre el medio ambiente, algo similar ocurre con la utilización de extractos naturales de plantas para iguales fines.

Esto lo demuestra el hecho que cada vez son más las grandes firmas tradicionalmente productoras de agroquímicos que se ocupan del desarrollo y producción de estos bioproductos, a pesar de que las ventas anuales de plaguicidas químicos ascienden a 23,000 millones de USD y por primera vez en el año 2011 hubo un incremento relativo superior de los bioproductos agrícolas con relación a los agroquímicos. Solamente el mercado de bioplaguicidas está creciendo en el orden del 16 % en relación al de pesticidas químicos, que esta creciendo el 3%, con tendencia a seguir disminuyendo (Fernández Larrea, 2012).

A escala comercial existen en la actualidad cientos de productos, bioplaguicidas, bioestimulantes y biofertilizantes de origen biológico, los cuales se comercializan a muy buenos precios y tienen gran aceptación en especial por la creciente conciencia ecologista y de saneamiento del medio ambiente que cada vez cuenta con más adeptos.

Para alcanzar los nuevos retos, en el mundo es cada vez mayor el número de investigadores e instituciones científicas que dedican sus esfuerzos a estos fines y aplican tecnologías aún más novedosas como puede ser la nanotecnología, para blancos y nichos más específicos y mejores dosificaciones, entre otras posibles aplicaciones.

En Cuba la producción de bioproductos se ha convertido en una industria productiva, que permite al país contar con recursos propios para garantizar los agroinsumos de forma sostenible .Actualmente varias decenas de bioproductos forman parte de los paquetes tecnológicos de los principales cultivos agrícolas. Más de 20 instituciones científicas y numerosos investigadores han venido trabajando durante más de 40 años para garantizar el desarrollo de los bioproductos, mucho se ha avanzado. Sin embargo, aún son muchos los retos, por lo que resulta necesario trabajar para sentar las bases de un desarrollo sólido y sostenido de esta industria en nuestro país.

El objetivo de este trabajo es exponer una breve reseña de las principales tendencias en el desarrollo de los bioproductos a nivel mundial, que buscan lograr productos más novedosos y estables, que además resulten económicos con una efectividad competitiva con cualquier agroquímico en condiciones de campo, protegiendo el medio ambiente y favoreciendo el mantenimiento del equilibrio biológico.

Desarrollo

Es considerado como primer objetivo del uso agrícola de productos de origen biológico, la disminución de la carga química a que hoy están sometidos los campos y cultivos. Sin embargo, se presentan barreras al comparar a los bioproductos bajo el mismo paradigma de los químicos y/o considerarlos como simples sustitutos.

Los bioproductos además de por su naturaleza, difieren de los químicos en su forma de aplicación y su impacto en los resultados agronómicos, por lo general, puede parecer mas lento pero sin embargo es mas persistente y a mediano y largo plazo sus costos son inferiores.

Las tendencias mas actuales en el uso de productos químicos en la agricultura se encaminan a una disminución de productos de amplio espectro y un aumento de productos más seguros buscando menor nivel de aplicación, dosis más bajas, mayor especificidad y compatibilidad con el medio ambiente. Lo anterior permite un crecimiento modesto pero continuo de su presencia en el mercado.

Varios de los nuevos productos químicos de uso agrícola, logran similares impactos y beneficios a los cultivos que los que se atribuyen a los biológicos. Sin embargo, favorece a estos últimos, la preocupación de la población mundial por el incremento de plaguicidas y fertilizantes químicos, la cual es alentada por los

grupos ecologistas, por lo que cada vez se hacen mas severas las políticas ambientales y aumenta la conciencia de uso de productos naturales, lográndose mejores precios de venta de las producciones agrícolas e incrementándose cada vez mas el mercado de productos orgánicos.

No obstantes existen limitaciones para el uso de los bioproductos en la agricultura como son los problemas tecnológicos que existen para desarrollar algunas producciones, como por ejemplo las fermentaciones en fase sólida, también hay algunas tecnologías que requieren equipamiento de alto costo; en ocasiones algunos bioproductos son muy específicos, es decir con un espectro de uso muy limitado e inclusive en muchos de ellos su efectividad esta vinculada a las condiciones ambientales, las cuales en ocasiones influyen en su baja persistencia en el campo y en general aun es insuficiente la cultura para su uso y las regulaciones existentes no son las mas adecuadas.

En la actualidad, las tendencias para el desarrollo de bioproductos a partir de microorganismos y de extractos vegetales para uso en la agricultura, encaminan las investigaciones hacía enfrentar los nuevos retos que plantea el empleo de microorganismos y sus metabolitos, estableciendose las siguientes líneas de trabajo.

Entre los principales retos a que se enfrenta hoy la producción de bioproductos se encuentra la implementación de tecnologías a escalas comerciales, lo cual en la actualidad tiene limitaciones para tecnologías que involucren virus y hongos como pueden ser los procesos de fermentación en estado sólido. Son evaluadas también tecnologías de lote incrementado, lecho fluidizado, etc. Se hace necesario encontrar métodos de reproducción principalmente para hongos y nematodos, que permitan incrementar la eficiencia y disminuir el costo de estos procesos. Tecnologías para la propagación de cultivos mixtos son de las mas complejas ya que dependen en gran medida de la dinámica poblacional que se establezca, ejemplo de ello son las tecnologías de obtención de microrganismos eficientes o EM.

El aislamiento y estudio de metabolitos microbianos para el control fitosanitario y para la nutrición vegetal, tales como antibióticos, enzimas y toxinas, abre una nueva vía de utilización. Se conoce que muchos de estos metabolitos son los principales responsables de la actividad de estos microorganismos. Los antagonistas para el control de enfermedades y los que se utilizan para el control de malezas basan su mecanismo de acción principalmente en los metabolitos que producen, por lo que se hace necesario realizar más estudios sobre la naturaleza bioquímica de los bioproductos para poder explotar sus potencialidades.

Se continúa en la búsqueda de nuevos aislamientos, considerando la fuente prácticamente inagotable de la naturaleza y se evalúa el impacto sobre el equilibrio ecológico y la residualidad o huella que pueda dejar el uso sistemático de cada bioproducto que se desarrolla.

La obtención de nuevas cepas, mediante programas de prospección se lleva a cabo con la finalidad de seleccionar las de mejores potencialidades para su producción y mejor eficacia en campo. Se persigue el aislamiento de cepas con espectro de acción más amplio, de forma tal que puedan cubrirse un grupo de plagas, enfermedades y malezas no incluidas actualmente y/o cepas multiefecto con acción insecticida y estimuladora del crecimiento vegetal.

Cada vez más se trabaja en la obtención de cepas recombinantes con incrementos en su espectro y potencialidades así como se busca que lleguen a nuevos nichos ecológicos. Ejemplo de ello son los programas de mejoramiento de *Bacillus thuringiensis* (BT) incluyen la obtención de recombinantes de BT con otras especies bacterianas como *E. coli* o *Pseudomonas spp,* a fín de obtener producción de las toxinas en tiempos más cortos o para llegar a nichos ecológicos a los cuales no llega el BT. Se emplean técnicas de recombinación por electroporación , electrofusión , etc.

El uso de marcadores moleculares y de DNA que permitan la identificación exacta de las cepas garantiza su protección en el caso de cepas industriales. Los métodos moleculares para la detección en tiempo real de la presencia de los microorganismos en el ambiente, permite conocer su permanencia, caracterización y evaluación en condiciones de campo (pcr-tr).

En la actualidad las características taxonómicas de las cepas son establecidas con confiabilidad cuando son determinadas mediante caracterización molecular y es exigencia de la mayoría de las colecciones de cepas, que también trabajan en el desarrollo de nuevos métodos de almacenamiento y conservación, para garantizar su guarda y custodia.

Se requieren aun más estudios del genoma de las plagas y enfermedades y de sus biocontroles, por lo que se hace imprescindible el uso de la biología molecular para reconstruir la evolución de los enemigos naturales microbianos y las bases moleculares de su patogenicidad. Debe observarse con nuevos enfoques la interacción ecológica entre las plagas y los biopesticidas teniendo en cuenta los comportamientos y variaciones de la microflora y la entomofauna natural, así como la resistencia en las plagas**.**

Las grandes firmas productoras consideran que la obtención de nuevas cepas y mejores formulaciones son los dos aspectos clave en una mayor aceptación de estos productos. El desarrollo de formulaciones que contribuyan a la estabilidad de los bioproductos, es de suma importancia, mas teniendo en cuenta que en muchos casos estos productos están constituidos por microrganismos vivos cuya acción biológica depende de su viabilidad.

Formulaciones más estable, eficaces y persistentes en las condiciones ambientales garantizan el empleo de estos productos, ya que los resultados de efectividad en campo son los que determinan su producción y aplicación. Mayor persistencia foliar (> de 21 días).

Se trabaja en el desarrollo y perfeccionamiento de formulaciones líquidas o sólidas en las que se incluyen atrayentes, feromonas y protectores a la luz solar, desecación y temperatura, se encuentran en desarrollo para hacer más atractivos y eficaces estos productos. Para algunos hongos se preparan formulaciones a partir de micropellets miceliares, que una vez en el suelo completan su ciclo hasta producir conidios.

La estabilidad de las formulaciones de los bioproductos microbianos pasa por lograr la estabilidad del microorganismo a los adyuvantes de la formulación, manteniendo su virulencia y viabilidad durante el proceso de formulación y que el formulado obtenido garantice estabilidad y persistencia en campo.

La comercialización de bioproductos requiere garantizar la estabilidad en el almacenamiento de 6-12 meses para exportar y de 3 a 6 meses por demanda, para lo cual también es necesario controlar las condiciones de humedad y temperatura a la que son almacenados estos productos.

Las condiciones de almacenamiento en específico para hongos son favorables a temperaturas bajas para el almacenamiento por períodos largos. En la práctica el almacenamiento es de por lo menos 3 meses, con una mínima perdida de viabilidad (80%), si se requiere de 12 meses el almacenaje será a Tº más bajas.

Como ejemplos de formulaciones de conidias secas y su estabilidad en el almacenamiento se pueden mencionar formulaciones de *M. anisopliae* (con o sin silica gel), que mantiene 50-70% viable la población almacenada bajo congelamiento profundo durante 1-2 años, sin embargo la formulación en silica gel y caolinita resulta poco estable. Una formulación de *B.bassiana* seca almacenada a 4°C en atapulguita y bentonita perdió 98% viabilidad en 2 años. Formulaciones secas (5% humedad) de *M. flavoviride mantuvieron el* 70% de viabilidad a 28-32ºC por 3 meses; este mismo microorganismo produce conidias en

medio líquido poco estables, sin embargo el micelio seco puede ser procesado y almacenado y producir conidias con la rehidratación después de la aplicación.

También son usadas las formulaciones en aceite presentando los aceites botánicos los mejores resultados comparados con los aceites de petróleo. La *B. bassiana* y el *Metarhizium* spp. producen conidias lipofílicas y permite su cosecha como polvo seco o en aceites. Ácidos grasos de cadena larga aumentan la virulencia de algunos micoorganismos. Aumento de virulencia se obtuvo con formulaciones thixcin r (diluente de aceite seco de castor) con *M. anisopliae.*

Encapsulamiento con formulaciones de alginato, proveen protección intrínsica y permiten la incorporación de protectantes a micelio seco de *B. bassiana* y *M. anisopliae* los hacen más resistentes a la radiación solar y al calor que las formulaciones de micelio en almidón/aceite o de micelio puro.

La formulación depende del proceso de producción (operaciones del proceso) y se busca obtener formulados, baratos de producir, específicos, inócuos sobre especies benéficas, compatibles con tecnologías de aplicación y que provoquen un mínimo impacto ambiental de la utilización de bioproductos.

También son objeto de estudio las tecnologías y métodos de aplicación. Se trabaja en la obtención de formas encapsuladas en polímeros y almidones, las cuales resultan degradables bajo determinadas condiciones, lo que protege al producto biológico, hasta su empleo. Los nematodos también se formulan en formas encapsuladas lo que permite mantener las condiciones de humedad necesaria para evitar su degradación.
El tratamiento cada vez más generalizado de semillas y en post-cosecha con bioplaguicidas, requiere también del desarrollo de nuevas formulaciones.

Formulaciones empleando la liberación controlada de los principios activos son evaluadas con vistas a incrementar la residualidad y persistencia en suelo, cuando es requerido obtener efectos a mediano y largo plazo.

Se trabaja fuertemente sobre el impacto que tiene la introducción de estos bioproductos sobre los organismos no blancos, así como en un mejor conocimiento de los mecanismos de acción, lo que permite establecer mas adecuadas regulaciones de su empleo, que aseguren la protección del medio

Son los paquetes tecnológicos y los bioproductos de composición mixta las tendencias mas actual para el manejo de cultivo solamente con bioproductos, lo que garantiza una atención mas eficaz al cultivo en su nutrición y salud, favoreciendo la posterior comercialización en el mercado, cada vez mas creciente de los llamados productos orgánicos.

A nivel mundial se hacen cada vez más estrictas las regulaciones para obtener los registros que permitan la comercialización de estos productos; sin embargo es necesario trabajar en la armonización de dichas regulaciones de forma razonable, sobre todo en aquellos países en desarrollo, cuyos recursos son limitados, debe trabajarse en elaborar regulaciones más adaptadas a los bioproductos y no tratar de homologar con las utilizadas en los agroquímicos.

Se reclama por los productores emergentes y locales de bioproductos considerar aspectos en las regulaciones para bioproductos microbiológicos de uso agrícola, como posibilidades reales del efecto bajo formas de uso y exigir pruebas toxicológicas coherentes con las dosis, entorno de aplicación, protocolos de riesgos útiles, reconocer antecedentes de uso de productos similares por parte de las autoridades regulatorias, etc.

No obstante ya se observan algunos resultados, por ejemplo se han aceptados un número considerable de bioplaguicidas y biofertilizantes; hay mayor tendencia a considerar a los bioproductos con menos riesgos que los químicos y se comprende que deben analizarse con diferentes criterios a los químicos.

Cada vez son mas exigentes las normas de calidad exigidas a cumplir por los productores de bioproductos, sin embargo es necesario establecer controles adecuados de calidad para los productores artesanales y apoyar este tipo de minindustria con los servicios de análisis técnicos que requieren estas biotecnologías, para evitar riesgos biológicos.

Es necesario incrementar la capacitación de investigadores, productores tanto de sectores estatales como privados, comercializadores y usuarios, lo que contribuirá a la concientización del problema. Mas divulgación y entrenamiento sobre el uso de bioproductos, logrará crear la cultura necesaria.

Situación actual de los bioproductos para la agricultura en Cuba

En Cuba, desde la década de los 80, se comenzó a trabajar con el objetivo de asimilar las técnicas biotecnológicas. En la década del 90 se crearon las condiciones para favorecer la producción de bioproductos, con el surgimiento del Frente Biológico. Posteriormente el Programa Nacional Científico-Técnico "Biotecnología Agrícola" incluyó entre sus propósitos la obtención de bioproductos y tecnologías, las investigaciones básicas necesarias, así como la asimilación de tecnologías foráneas según Pérez, (2001).

Se construyeron dos centros especializados: el Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP), en Villa Clara y el Centro de Bioplantas en Ciego de Ávila. Al Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología y a sus filiales, se les asignó la misión de trabajar en esta esfera y simultáneamente se fortalecieron los grupos afines en varios centros del país como el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC), Centro Nacional de Sanidad Animal (CENSA), Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical (INIFAT), Instituto Nacional de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV) y el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar(ICIDCA), entre otros. Otra parte importante de las actividades de investigación-desarrollo se realiza en los centros de Educación Superior por parte de los profesores de los mismos, y con participación de los estudiantes, según Castillo, (2007).

A dos décadas de los inicios de estos desarrollos, el empleo de bioplaguicidas, biofertilizantes y bioestimuladores vegetales obtenidos con tecnologías diseñadas en Cuba, ha resultado una opción importante para la agricultura cubana, a pesar de que aun no han podido ser introducidos en su totalidad en la practica agrícola por diferentes motivos.

A partir del año 2011 surge el Programa para la Recuperación de los Biofertilizantes, Bioestimulantes y Bioplaguicidas para sustituir Importaciones en la Producción Agroalimentaria y Generar Importaciones, donde se establece prioridades y se define la necesidad de impulsar la transferencia tecnológica desde los centros de investigación hasta empresas productoras que logren establecer los procesos productivos de los nuevos bioproductos cubanos y su comercialización (Tabla 1), siendo designado para ello el grupo empresarial LABIOFAM, que entonces, asume la producción y comercialización de las 4 plantas de bioplaguicidas y la comercialización de productos desarrollados por otras instituciones (INISAV, ICIDCA, INCA ,CENSA, etc).

LABIOFAM crea un grupo de trabajo para la organización de la producción y comercialización y se establecen relaciones con las instituciones de investigación para las transferencias tecnológicas, con vistas a implementar dichas tecnologías en tres nuevas plantas que se están construyendo en el Occidente, el centro y el oriente del país . Se comienza la promoción de los bioproductos hacia el exterior y se establece una

estrategia para el Registro e imagen de los bioproductos de mayor demanda en el mercado interno y externo, según Fernández-Larrea (2012).

Tabla I: Bioproductos desarrollados en Cuba y priorizados por el Programa para la Recuperación de los Biofertilizantes, Bioestimulantes y Bioplaguicidas

BIOPLAGUICIDAS	BIOFERTILIZANTES	BIOESTIMULANTES
KLAMIC	DIMARGON	FITOMAS
THURISAVE 3,13,24,25,26	FOSFORINA	BIOBRAS
VERTISAVE	BIOFER	BIOJAS
METASAVE	ECOMIC	BIOENRAIZ
BASISAVE	AZOFERT	
NEMACID	BIOENRAIZ	
VERTICID		

Hoy el país cuenta con 4 plantas para la producción de bioplaguicidas y biofertilizantes 176 biolaboratorios en centros de reproducción de entomófagos y entomopatógenos para bioplaguicidas, 14 biolaboratorios para biofertilizantes distribuidos en todo el país, plantas e instalaciones pilotos en los centros de investigación. han sido también impulsadas por el grupo AZCUBA un conjunto de inversiones que han dado lugar a una planta productora de 2 millones de litros anuales del bioestimulante FITOMAS y otra de una capacidad de 1 200 000 litros anuales del biofertilizante NITROFIX, asi como están en etapas de construcción y montaje una planta de fitomas en el centro del país en la provincia de Ciego de Avila y en el oriente cubano en la provincia de Santiago de Cuba.

Cuba se inserta en las tendencias mundiales de investigación, tecnológicas y culturales, relativas a los bioproductos, considerando entre sus líneas fundamentales el estudio de la biodiversidad no explotada, al acometer el asilamiento, selección y evaluación de nuevas cepas, se llevan a cabo estudios moleculares para la identificación y caracterización de microbios y metabolitos, el perfeccionamiento de los procesos tecnológicos y su escalado, así como el desarrollo de nuevas formulaciones , métodos de aplicación y la validación agronómica de nuevos productos en nuevos cultivos. La necesidad de abordar el impacto ambiental y de realizar estudios de mercados tanto internos como externos es también una prioridad de los investigadores, técnicos y especialista que apostaron y continúan confiando en que el desarrollo y uso de bioproductos puede permitir dar un salto de calidad a la Agricultura cubana.

Conclusiones

Son múltiples los aspectos, que se deben acometer para el desarrollo de un producto de origen biológico y para su empleo eficaz en la agricultura, los cuales se enfrentan en la actualidad con enfoques nuevos y técnicas más eficaces a nivel mundial. Los técnicos e investigadores cubanos están inmersos en el enfrentamiento de similares retos, con la convicción de que para nuestra agricultura, serán nuestros bioproductos, los que mejores beneficios le proporcione.

Con el desarrollo de la línea de bioproductos, se han dado pasos de avance, en la interrelación entre los diferentes actores involucrados en la producción del conocimiento (sistema educativo, empresas,

investigadores, productores, financistas, etc.) y se trabaja en la mejor coordinación y preparación para acometer las transferencias tecnológicas, que permitan llevar el conocimiento a la practica industrial y agrícola del país.

Referencias

Castillo, G. y col. (2007). Bioproductos para la Agricultura. Surgimiento y desarrollo en el ICIDCA. Revista ICIDCA, No 3, pag 42-50.

Fernández Larrea, O. (2012). Bioplaguicidas para uso agrícola. Tendencias actuales, situación en Cuba. Revista Labiofam, vol 3, no 1, pag 80-85.

Pérez, María C. (2001).Formación de recursos humanos en biotecnología en Cuba. <http://www.redbio.org/portal/encuentros /e n c _ 2 0 0 1 / mesaredond a / M ar%EDa %20Cristina %20P%E9rez/M-06.pdf>.

ÉSTERES POR VÍA QUÍMICA Y POR VÍA ENZIMÁTICA. EXPERIENCIAS EN OBTENCIÓN Y APLICACIONES

ESTERS BY CHEMICAL AND ENZYMATIC VIA EXPERIENCES IN OBTAINING AND APPLICATIONS

Albarracin Patricia. M.*, Barnes Norma**, Octaviano Mario**, Borkosky Daniel**, Paz Dora**

Departamento de Ciencias Básicas, Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional.** Departamento Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. pmariaalb@yahoo.com.ar

Abstract

Fatty acid esters of high molecular weight are molecules with dual behavior: hydrophobic and hydrophilic. Because of this, they have many industrial applications such as non-ionic surfactants and emulsifiers.

The aim of this paper is to show the methods of production and the applications developed in sucrose esters and acylglycerols. Sucrose esters were obtained by chemical means, in a medium without solvent at temperatures above 100 ° C and glycerol esters by esterification using a lipase enzyme in non-aqueous medium. With both products were studied several applications in the laboratory and in an industry. The sucrose esters were applied in the sugar industry processes such as surfactants, filtration aids in clarification of molasses and as defoamers, and its activity was tested as detergents and postharvest covering of fruits and vegetables. The acylglycerols obtained were analyzed and applied as postharvest coverage strawberries. This work concludes that sucrose esters are effective in reducing surface tension and viscosity, which promotes the processes involved in the sugar industry. They have a detergent effect and are effective in covering post-harvest fruits and vegetables. Results shared with acylglycerols.

Key words: Sucrose esters, acylglycerols, industrial applications

Resumen

Los ésteres de ácidos grasos de alto peso molecular, son moléculas de comportamiento dual hidrofóbico e hidrofílicas. Esto hace que presenten numerosas aplicaciones industriales, como surfactantes no-iónicos y emulsificantes.
El objetivo de este trabajo es mostrar los métodos de obtención y las aplicaciones desarrolladas en ésteres de sacarosa y acilgliceroles. Los ésteres de sacarosa fueron obtenidos por vía química, en un medio sin solventes a temperaturas mayores a 100 ºC y los ésteres de glicerol por esterificacion enzimática usando una lipasa en medio no acuoso. Con ambos productos se estudiaron aplicaciones a nivel laboratorio e industrial. Los ésteres de sacarosa se aplicaron en procesos de la industria azucarera como surfactantes, ayudantes de filtración, en clarificación de melado y como antiespumantes, además se probó su actividad como detergentes y como recubrimiento postcosecha de frutas y hortalizas. En el caso de los acilgliceroles obtenidos fueron analizados y aplicados como cobertura postcosecha de frutillas. De los trabajos realizados se concluyó que los ésteres de sacarosa son efectivos en la reducción de la tensión superficial y la viscosidad, lo que favorece los procesos de la industria azucarera analizados. Poseen un efecto de detergencia y son efectivos en el recubrimiento de frutas y hortalizas en postcosecha. Resultado que comparten con los acilgliceroles.

Palabras Claves: esteres de sacarosa, acilgliceroles, aplicaciones industriales,

Introducción

En los últimos años, la industria de los surfactantes ha comenzado a remplazar las materias primas derivadas de la industria petroquímica por compuestos más amigables con el medio ambiente.
Con esta premisa, se han desarrollado familias de surfactantes como los ésteres de ácidos grasos de alto peso molecular que son moléculas de comportamiento dual hidrofóbico e hidrofílicas. Estas moléculas presentan numerosas aplicaciones industriales, como surfactantes no-iónicos y emulsificantes.
La síntesis de estos ésteres se realiza por vía química y por vía enzimática. En la mayoría de las veces por procesos de transesterificacion con ácidos grasos provenientes de aceites vegetales.
La actividad de estos productos se muestra como humectificación de un sólido, formación de espumas, dispersión de un reactivo en un medio líquido, disminución de la viscosidad y emulsificación, fenómenos bien conocidos que pueden afectar favorablemente el funcionamiento de un proceso (Kouloheris, 1987).
Los ésteres de sacarosa, por ejemplo, poseen propiedades que los convierten en surfactantes de gran aplicación en la industria azucarera. Ellos son emulsionantes y agentes de superficie lo que los hace efectivos en la reducción de la tensión superficial, la viscosidad de productos y en la inhibición de la formación de espumas. Poseen excelentes propiedades de penetración y dispersión por lo que contribuyen al aumento de la fluidez y circulación de las masas cocidas (Maag, 1984; Kouloheris,1989; Chen *et al.*, 1981, 1991). Son compuestos no iónicos, no tóxicos y no contaminantes, por lo que pueden usarse como cobertura en postcosecha de frutas y hortalizas y como aditivos en alimentos procesados por lo que en algunos países como Japón fueron rápidamente aprobados en 1959.
Otros ésteres como los acilglicéridos también presentan numerosas aplicaciones en la industria alimenticia; en productos agroquímicos, farmacéuticos y cosméticos que provienen de la versatilidad e inocuidad de la mayoría de estos productos que esencialmente son de origen natural.
Se usan también como espesantes y antiespumantes, siendo posible reemplazar a otras fuentes de materia grasa de mayor contenido calórico, como se aplican en otros países los ésteres de polioles, mono y diglicéridos, (Maag, 1984). También pueden usarse como cobertura de frutas postcosecha a fin de prolongar la vida útil de las mismas.
La obtención de acilgliceroles por esterificación enzimática del glicerol con ácidos grasos en medio no acuoso, es una alternativa biotecnológica factible de realizar. El producto final, puede utilizarse como

cubierta protectora de distintos cultivos de importancia agrícola como la frutilla, permitiendo minimizar la pérdida de calidad de estas frutas durante el almacenamiento y comercialización.

El objetivo de este trabajo es mostrar los métodos de obtención y las aplicaciones desarrolladas en ésteres de sacarosa y acilgliceroles por un grupo de investigación desde hace 15 años.

Materiales y Métodos

La obtención de ésteres de sacarosa se realizó en un proceso de interesterificación, en ausencia de solventes, entre sacarosa, ésteres naturales (aceite de maíz), glicerina y oleato de metilo como catalizador en un reactor con agitación a 120 ªC. Los productos de la reacción son una mezcla formada por mono y diésteres de sacarosa de los ácidos esteárico, palmítico y oleico, mono y di glicéridos y jabones de potasio (Bartolucci et al, 1989).

Estos productos se aplicaron en la industria azucarera en filtros de cachaza, clarificación de melado, cocimientos y cubas de fermentación de melaza. En todos los casos se utilizo soluciones acuosas de ésteres de sacarosa en concentraciones de 20 a 70 ppm en el proceso de filtración y del 20% en los otros procesos.

La etapa de filtración es una operación unitaria posterior a la clarificación de jugos de caña de azúcar, donde el jugo es sometido a un proceso de sulfoencalación y luego calentado hasta su punto de ebullición

En las aplicaciones en filtros de vacio para cachaza se agregó el surfactante con una bomba dosificadora en el tanque de mezclado de jugos y bagacillo, realizándose el muestreo luego de un período de estabilización del proceso. Se midió el efecto de las distintas concentraciones de ésteres de sacarosa sobre los parámetros viscosidad, concentración de sacarosa y humedad de la torta.

En los ensayos de clarificación de melado se midieron las variables: viscosidad, color, turbidez, contenido de oxido de calcio y volumen de flóculos

Cada ensayo consistió en dos casos estudiados:

- Testigo: sistema de clarificación con calentamiento y aireación con agregado de floculante con un tiempo de residencia de dos horas antes de la toma de muestras.

-Tratamiento: sistema de clarificación con calentamiento y aireación con agregado de floculante mas soluciones acuosas al 20 % de ésteres de sacarosa en dosificaciones 20 ppm y 70 ppm con un tiempo de residencia de dos horas antes de la toma de muestras.

En la etapa de cocimientos se realizaron los ensayos controlando la homogeneidad de la masa cocida en dos casos:

- Testigo: masas sin agregado de ésteres de sacaraosa.
- Tratamiento: se adicionaron 14 litros de soluciones acuosas del producto al 20% en tachos de 1300 hectolitros

Los tachos usados tienen dos niveles: uno inferior de semillado y uno superior de volumen máximo a que se llevan los cocimientos. Los ésteres en todos los casos se agregaron en el nivel inferior y se midieron pureza, características de los cristales, viscosidad y cenizas, (Honig, 1969; Farolfi, 1993).

La aplicaciones en cubas de fermentación se realizaron comparando el agregado de soluciones acuosas al 20% de ésteres de sacarosa en cubas de fermentación de melaza de una destilería local comparándola con el antiespumante tradicional que es grasa vacuna.

Se utilizaron tanques de 1000 hl, mosto de melaza de 28º Bx y crema de levadura para pie de fermentación.

Se agregaron volúmenes de 500 ml cada 20 minutos de los antiespumantes en dos cubas paralelas

Se controló: temperatura, altura de la espuma, Bx del mosto fermentado cada 15, 20 y 30 min en ensayos de llenado de cubas.

También se estudiaron aplicaciones como cubiertas protectoras de frutas y hortalizas en postcosecha, (Leach, 1964). Las frutas estudiadas fueron limón, naranja, palta, tunas, duraznos, frutilla y las hortalizas berenjena, tomate, rabanitos. Se trabajó en todos los casos con dos lotes:

-Testigo: Frutas o verduras lavadas con agua clorada y secadas por ventilación. Expuestas luego a periodos de 15 días en condiciones de góndola de verdulería refrigeradas a 4ºC

- Con tratamiento: Frutas o verduras lavadas con agua clorada y secadas por ventilación y luego sometidas a inmersión en soluciones de ésteres de sacarosa a 0,5 %, 2% y 5%. Expuestas luego a periodos de 15 días en condiciones de góndola de verdulería refrigeradas a 4ºC.
Se estudió: pérdida de peso, sólidos solubles, acidez, grado de maduración, vitamina C, contenido de antocianinas, (Farolfi,2001)
Para medir la relativa habilidad del surfactante para remover la suciedad se estudió el poder de detergencia de los ésteres de sacarosa, entendiéndose como tal el retorno de una superficie a su apariencia original por remoción de suciedad
La metodología consistió en un test de inmersión comparativo usando: ésteres de sacarosa en soluciones acuosas al 1%, detergente comercial de referencia en solución acuosa al 1% y como testigo agua potable.
Los ensayos se realizaron en telas previamente ensuciadas con polvo pesado a temperatura ambiente y con calentamiento por inmersión durante 30 minutos.
En el caso de los acilgliceridos para su obtención se realizó reacciones de esterificación enzimática.Se usó una síntesis enzimática que se llevó a cabo con glicerol, y como fuente de ácidos grasos aceites de girasol, soja y oliva, en relación molar 2:1. La enzima utilizada fue una lipasa comercial: Lipase Type XIII from pseudomonas * Specie, marca Sigma, en estado liofilizado.Se estudio las condiciones mas favorables de la reacción que permita obtener mayor cantidad de de mono gliceridos (MG) y digliceridos (DG). Para determinar los productos de la reacción y sus concentraciones, las muestras se sometieron a análisis cualitativo por TLC (con eluyente de n-hexano/ etil eter/ ácido acético 75:25:1) y análisis cuantitativo por barrido con Densitómetro Shimadzu CS-9000.
Una vez identificadas las fracciones como aplicación comparativa entre los esteres de sacarosa y los acilgliceridos obtenidos se estudió su efecto como cobertura postcosecha en frutillas (fragaria x ananassa Duch, variedad Camarosa). Los frutos fueron seleccionados por grado de madurez comercial, sobre la base de un color y tamaño uniformes, ausencia de daños mecánicos y/o signos visibles de ataque fúngico. Se lavó con agua clorada (250 ppm de cloro) durante 30 segundos y se secaron al aire. La fruta se separo en lotes de 100 gramos.
Los lotes de frutas fueron sometidos a los siguientes tratamientos:
-Testigos: frutillas lavadas y secadas al aire.
-Tratamiento1: frutas sumergidas en solución acuosa al 2 % de ésteres de sacarosa y secadas por convección natural a temperatura ambiente durante una hora.
-Tratamiento2: frutas sumergidas en solución acuosa al 2 % de acilgliceridos y secadas por convección natural a temperatura ambiente durante una hora.
Simulando las condiciones de la cadena de frío comercial, las muestras colocadas en bandeja de propileno sin cobertura plástica y refrigerada a 4ºC durante 15 días. Se analizaron las siguientes variables: pérdida de peso, Sólidos Solubles Totales (SST), acidez titulable, índice de madurez, número de frutas perdidas y aspecto general, (seguimiento fotográfico).

Resultados y Discusión

En la etapa de filtración los valores obtenidos de viscosidad en la mezcla lodos-bagacillo que alimenta los filtros fueron significativamente inferiores al testigo, correspondiendo una disminución de 28,5% en promedio para las dosificaciones estudiadas. Con esto, se comprobó la actividad como antiviscosos producida por los ésteres de sacarosa. En cuanto a la humedad de la torta se observaron disminuciones entre 4,2% con el tratamiento respecto a las muestras testigo, para espesores de torta entre 0,8 cm y 1,0 cm, poniéndose de manifiesto de esta forma el efecto deshidratante producido con la adición de surfactantes.
Los resultados más satisfactorios se encontraron en las concentraciones de sacarosa residual en la torta de filtros expresadas como Pol%, que registraron disminuciones promedio entre 8,2% y 12,9% según la dosificación empleada, 20 y 70ppm, respectivamente. Al mismo tiempo estos datos se correlacionan con un

aumento de Pol% del jugo filtrado comparados con el testigo sin agregado de producto, obteniéndose un 4,6% de aumento para 20 ppm de surfactante y 9,2% para 70 ppm.
En la etapa de clarificación de melado la viscosidad disminuyó 30 % en el tratamiento con floculante + ester y solo 17 % en el testigo con floculante solamente. Se evidenció también una disminución de color y turbidez de 36% favorable al tratamiento en los melados considerados. Estos datos se correlacionaron con un 23% más de remoción de flóculos y un 5% de disminución de oxido de calcio favorable al melado con tratamiento comparado con el testigo.
En la etapa de cocimientos con el agregado de las soluciones de ésteres de sacarosa se observo una disminución promedio de la viscosidad de 15% con lo que disminuyó 20% el tiempo de cocción de los tachos produciendo una mejor circulación de las masas cocidas. Se obtuvo una mejor calidad de azúcar pues en pol% las masas testigo tenían 99,8%, mientras que las que estaban tratadas reportaron 99,9%. En forma concordante con esto se encontró 0,021% de humedad y 0,036% de cenizas para el testigo y 0,015% y 0,020% respectivamente para las muestras tratadas.
En cubas de fermentación se observó que los ésteres de sacarosa son efectivos en el control de espuma en forma similar al tensioactivo tradicional desde su incorporación y durante 20 minutos midiendo como parámetro fundamental la altura de la espuma, pero a partir de este tiempo la espuma comenzó nuevamente a subir en el caso de la aplicación de nuestro producto y no así en las cubas testigo.
En el caso de aplicaciones de coberturas de ésteres de sacarosa en frutas y hortalizas , se observó que las perdidas de peso de las frutas tratadas fueron inferiores en todas las concentraciones estudiadas, (Albarracin et al, 1997,2001,2004).
Los sólidos solubles aumentaron en el transcurso de los días pero mostraron valores inferiores en las muestras tratadas que en los testigos.
Los testigos se deterioraron más rápidamente que las muestras tratadas en cuanto a número de unidades perdidas por pudrición o mal estado organoléptico.
Las concentraciones adecuadas para la cobertura postcosecha fueron de 0,5% a 5% pues en concentraciones mayores se observan alteraciones en el metabolismo de las frutas evidenciadas por la relación azucares/acidez y un mayor grado de maduración
Dese el punto de vista sensorial resultaron adecuadas las concentraciones de 0,5% a 2%
En las pruebas de detergencia los resultados mostraron que a temperatura ambiente el poder de detergencia de los ésteres de sacarosa es de 79% comparado con 65% del detergente comercial y 23% del agua como testigo.
En el caso de calentamiento a 50ºC el comportamiento respecto al poder de detergencia fue inferior 54% en el caso de telas tratadas con ésteres de sacarosa y 70% en las tratadas con el detergente comercial
Para acilgliceridos, se encontró las condiciones de reacción para la obtención de MG y DG.
Se desarrollaron en erlenmeyer cerrado, a 37ºC y pH 7.0 en un shaker durante 90 minutos a 200 rpm.
El *n*-hexano (como solvente) resultó adecuado para la obtención de mono y diglicéridos a partir de aceite de oliva como sustrato, por este método.
Se extrajeron muestras de 100 µl al inicio de la reacción y a los 30, 60 y 90 minutos posteriores. A continuación se separaron las fases enzima – sustrato con vortex. De estas fracciones sometidas a análisis cualitativo por TLC y análisis cuantitativo con Densitómetro se encontró que el aceite de oliva presentaba mayor cantidad de MG y DG según las condiciones de la reacción, seguido por el de girasol y por ultimo el de soja. La conversión de MG y DG fue de 14% y 8% respectivamente para el aceite de oliva.
En la aplicación posterior con las fracciones de MG y DG de aceite de oliva y los esteres de sacarosa en la cobertura postcosecha se encontró que hasta el dia nueve no había diferencias entre ambos tratamientos. A partir de allí y hasta el dia 15 del ensayo reportaron un mejor comportamiento los esteres de sacarosa como recubrimiento postcosecha por menor perdida de peso, menor cantidad de sólidos solubles, menor acidez y en consecuencia menor índice de madurez.
También se encontró que los dos tratamientos lograron prolongar la vida útil como frutas frescas de las frutillas comparados con el testigo sin cobertura.

Conclusiones

Los ésteres de sacarosa, mejoraron significativamente la filtrabilidad de la mezcla lodos-bagacillo, originando una torta más seca y una mayor recuperación de los jugos azucarados. La disminución de viscosidad se comprobó también en la etapa de cocimiento.

En la etapa de Clarificación de melado se evidenció también una disminución la viscosidad, del color y turbidez. Además, aumentó remoción de flóculos y disminuyó la cantidad de oxido de calcio necesaria de incorporar al melado.

En cuanto a las propiedades tensioactivas se observó que los ésteres de sacarosa son efectivos en el control de espuma en forma similar al tensioactivo tradicional.

En el caso de aplicaciones de coberturas de ésteres de sacarosa en frutas y hortalizas se observó que las pérdidas de peso de las frutas tratadas fueron inferiores en todas las concentraciones estudiadas

Como conclusión los datos obtenidos de limpieza a temperatura ambiente poseen un poder de detergencia superior al detergente comercial usado como testigo en frio, por lo que el producto podría constituir la base activa de formulados para limpieza.

En acilgliceridos el aceite de oliva resultó ser el sustrato conveniente para la obtención de mono y diglicéridos en la esterificación enzimática del glicerol en medio no acuoso

Con los ésteres obtenidos vía enzimática se consigue retrasar los cambios relacionados al envejecimiento de las frutillas y por lo tanto prolongar su vida útil como fruta fresca

La comparación del comportamiento de los ésteres obtenidos por vía química y por vía enzimática como cubierta protectora de frutillas en poscosecha resulto favorable a los esteres de sacarosa usados en concentraciones de 2% de soluciones acuosas.

Referencias

-Albarracín, Patricia; Balella, Alberto y Hilda Farolfi. (1997). Almacenamiento derabanitos con ésteres de sacarosa. La Alimentación Latinoamericana, 220, 32-34.

-Albarracín, P.M.; Balella, A.; Mele F. and H. Farolfi. (2001). Variation of vitamin C and anthocyanins content during strawberries storage using saccharose esters covering. En: Eighth International Congress on Engineering and Food, Puebla, 1, pp 1047-1052.

- Albarracín, P.M.; Zelarayán, M.A. y A. Balella. (2004). Berenjenas recubiertas con ésteres de sacarosa. Revista CET, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, 24, 11-15.

- Bartolucci, Farolfi, Torres y Guzmàn, (1989). Patente de invención proceso de obtención de esteres de sacarosa Nº 238947.

-Chen, J. C. P.; J. Rauch and B. A. Smith, (1981). Boiling techniques for the evaluation of surfactants. Sugar Journal 44 (7): 9-13.

-Chen, J. C. P. (1991).Manual del azúcar de caña. Editorial Limusa, México D.F.

-Farolfi, Hilda; Albarracín, Patricia y Alberto Balella. (2001). Experiencias con diferentes concentraciones de ésteres de sacarosa en la conservación de frutillas. La Alimentación Latinoamericana, 239, 53-56.

-Farolfi, H. V. de; C. Galindo; R. Paz y C. de Torres. (1993). Aplicación de ésteres de sacarosa en la fabricaciónde azúcares. Tecnozúcar 7 (3): 19-23.

-Honig, P. (1969). Manual de tecnología azucarera. Continental S.A., México.

-Kouloheris, A. P. (1987). Foam: friend and foe. ChemicalEngineering 94 (15): 88-97.

-Kouloheris, A. P. (1989) . Surfactants: important tools inchemical processing. Chemical Engineering 96 (10):130-136.

- Leach M. y M. Mason. (1964). Conservación de frutas y hortalizas. Manual de conservación de frutas y hortalizas. Manual de Tecnología Agropecuaria, Ed. Acribia, Zaragoza.
-Maag, H. (1984).Fatty acid derivatives: important surfactants for household, cosmetics and industrial purposes. JAOCS 61 (2): 259-267.

PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DEL BIOESTIMULANTE AGRÍCOLA FITOMAS E. RESULTADOS EN CAÑA DE AZÚCAR Y CULTIVOS DE ALIMENTOS

PLANT BIOESTIMULANT FITOMAS E ® INDUSTRIAL PRODUCTION. SUGAR CANE AND FOODS CROPS YIELDS

A. García, R. Zuaznábar*, J. Villar, I. Santana*, M. Viñals, J.Carlos Díaz*, R. Gallego*, P. Islen, L. Rodríguez*, T. García, A. Mira*,

ICIDCA, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Vía Blanca 804, 11000 La Habana, Cuba
*INICA, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera Cujae Km. 4, 19390 La Habana, Cuba
alberto.garcia@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se presentan resultados de la producción comercial del estimulante de crecimiento agrícola, Fitomas E en una nueva planta industrial diseñada para 10 000 L/día, cuya ingeniería conceptual se basa en experiencias en la Planta Piloto del ICIDCA en 2003-2008. Se ofrece la caracterización química de la sustancia activa que muestra un contenido de 12 aminoácidos libres. Se presentan los índices de los estudios toxicológicos realizados en mamíferos así como en el medio ambiente lo que demostró que el producto no presenta toxicidad en su uso aun en dosis elevadas. Finalmente se discuten los resultados positivos alcanzados en experimentos diseñados y conducidos por el INICA, como parte de extensiones en condiciones de producción con Fitomas E en el manejo de cepas de retoño, caña nueva y socas en las 13 provincias azucareras del país en mas de 10 000 ha durante las zafras 2005-2011. Se presentan además los resultados del beneficio de 18 cultivos básicos de alimentos con Fitomás E en la provincia Habana en unas 7 000 Ha controladas por la Dirección de Cultivos Varios del MINAGRI en el año 2009.

Palabras claves: Estimulantes de crecimiento agrícola, Bionutrientes, bioestimulantes agrícolas

ABSTRACT

The experiences on the commercial production of a registered Cuban plant growth stimulant, FitoMas-E, in a new industrial plant designed to produce 10 000 L/day from an ICIDCA's Pilot Plant-based technology. The production performance of the commercial plant during 2010 is presented, after the starting up procedure. The chemical characterization of the active agent is offered yielding a content of twelve free amino acids. The indexes from toxicology studies carried out in mammals as well as its environmental impact showed that the product is innocuous even at high doses. Finally the positive results achieved in controlled experiments

and commercial extensions with Fitomas-E in sugar cane and 18th basic food crops in 13 regions are also given.

Key Words: Plant Growth Stimulant, Bionutrient, plant biostimulant

INTRODUCCION

Los Bionutrientes o Estimulantes de Crecimiento Vegetal son productos antiestrés con sustancias naturales propias del metabolismo vegetal, que estimulan y vigorizan los cultivos, desde la germinación hasta la fructificación, disminuyen las daños por salinidad, sequía**,** exceso de humedad**,** fitotoxicidad, enfermedades, plagas, ciclones, granizadas, podas y trasplantes. Frecuentemente reducen los ciclos de los cultivos, potencian la acción de los fertilizantes, agroquímicos y bioproductos propios de la agricultura ecológica lo que en muchos casos contribuyen a reducir las dosis de algunos agroquímicos sintéticos. Resultan eficientes en policultivos de la agricultura de bajos insumos y se expresan en la agricultura intensiva, en cultivos con manejo integrado con fertilización química y plaguicidas, como caña de azúcar, maíz, soja donde el incremento de los rendimientos es la principal manifestación, Liñan (2005).

Fitomas, Montano (2002), es un nuevo agroquímico con efecto bionutriente cuyo ingrediente activo es de origen natural y derivado de la industria azucarera cubana que actúa con influencia antiestrés, desarrollado por el ICIDCA y el INICA, Zuaznábar (2008). En los últimos diez años ha sido evaluado por instituciones científicas nacionales, agrupados principalmente en el grupo AZCUBA, los ministerios de la agricultura, educación superior y salud pública Alvarado (2006), Villar (2005), Baños (2009). Actualmente la producción de estimulantes agrícolas Fitomas se encuentra a nivel comercial en el ICIDCA con un nivel de producción de 2,0 MML anuales, García (2007) y beneficia unas 600 000 ha de plantaciones de caña de azúcar.

El modo de acción de los bionutrientes agrícolas ha sido descrito por otros autores Harbin (1987) y se basa en que en el reino vegetal las vías más utilizadas para promover la defensa y la adaptación al entorno involucran la síntesis bioquímica de sustancias que comportan miles de estructuras químicas. Esto constituye una defensa química, cuyo despliegue se revela por modernas técnicas analíticas. Estas sustancias son elaboradas por las plantas como respuesta a presiones estresantes, tales como sequía o exceso de humedad, temperaturas extremas, daños mecánicos por trasplantes o vientos fuertes y suelos salinizados o contaminados con sustancias químicas o metales pesados, Bright (1978) Leadly (1997), Gliessman (2002), Harborn (1993).

El producto Fitomas E (estimulante antiestrés de crecimiento) es una mezcla de sales minerales y sustancias bioquímicas de alta energía (aminoácidos, bases nitrogenadas, sacáridos y polisacáridos biológicamente activos), formuladas como una suspensión acuosa, Montano (2007).

Sus efectos demostrados van desde aumentar y acelerar la germinación de las semillas, estimular el desarrollo de las raíces, tallos y hojas, hasta mejorar la nutrición, la floración y cuajado de los frutos y han demostrado reducción de ciclos de algunos cultivos. Potencian la acción de los herbicidas y otros plaguicidas lo que permite reducir hasta un 15% sus dosis recomendadas, ayudan a superar los efectos negativos del estrés por salinidad, sequía, exceso de humedad, fitotoxicidad, enfermedades y plagas Montano (2004).

Desde agosto de 2008 que se inició la producción a escala industrial hasta finales de 2012 se han comercializado unos 8.5 Millones de Litros del estimulante agrícola Fitomas E, los cuales se han utilizado principalmente en el beneficio de la caña de azúcar, y además en variadas especies botánicas tanto monocotiledóneas como dicotiledóneas, frutales, gramíneas, granos, leguminosas, cereales, hortícolas, tubérculos y raíces; plantas medicinales, pastos, y otros cultivos industriales tales como maíz, frijoles, tabaco, soja, césped de campos de golf y áreas deportivas, López (2006), Ramos (2006), Bioestimulante cubano (2011), Zuaznábar (2008). En el presente trabajo se reportan los resultados de la producción, caracterización y efectividad agronómica del estimulante de crecimiento agrícola Fitomas E en los últimos 5 años que ha sido entregado a la agricultura desde las instalaciones productivas del ICIDCA.

MATERIALES Y MÉTODOS

La tecnología de producción que utiliza como materia prima básica biomasa vegetal derivada de la agroindustria azucarera fue desarrollada en la Planta Piloto de Síntesis Orgánica del ICIDCA (7), donde se estudió la ingeniería del proceso desde una capacidad de 1200 L/día hasta lograrse un diseño para una planta de nivel comercial capaz de entregar 10 000 L/día (2,0 MML/anuales) de estimulantes de crecimiento agrícolas Fitomas, certificados por los Registros Centrales de Plaguicidas y Fertilizantes de Cuba, Hernández (2009).

Fitomas E se identifica como un formulado acuoso soluble al 30% rico en aminoácidos que guardan una proporción determinada, además contienen bases compuestas nitrogenadas, y sales de K y P según el producto. Para la caracterización del producto terminado se aplicaron diferentes técnicas analíticas:

Determinación de los aminoácidos. Se empleó la técnica "Análisis de aminoácidos por HPLC con derivatización pre-columna con OPA" desarrollada en el ICIDCA, Castillo (2011).

Contenido de K (K_2O) y fósforo (P_2O_5). Se emplearon procedimientos analíticos de absorción atómica y fotometría de llama APHA (1980), Obaya (1985).

Densidad. Fue determinada por picnometría.

Contenido de sólidos. El contenido de sólidos se determinó por secado de la muestra en estufa a 110°C durante 5 horas y pesaje en balanza analítica de 4 cifras Garcia (2010).

Toxicología. Los estudios toxicológicos en mamíferos y de impacto ambiental fueron realizados por instituciones acreditadas (CENSA, CENPALAB y CIDEM), Procedimientos Cenpalab (2003), Guidelines (1997).

La Validación del estimulante agrícola Fitomas E en la producción de caña de azúcar se realizó por el INICA en todo el país en el período 2003-2009 y contó con 28 cosechas, 21 de ellas correspondientes a extensiones y 7 a experimentos, en 5 Agrupamientos de Suelos: (Ferralitizados Cálcicos, Sialitizados Cálcicos, Vertisuelos, Ferritizados y Gleyzados Sialitizados) de 20 Empresas y 9 provincias (Tablas III, IV, V y VI), las dosis empleadas fueron 2 y 4 L/Ha. Se evaluaron también 2 bioestimulantes comerciales importados, Enerplant y Bayfolam

La variable que se tuvo en cuenta para realizar las evaluaciones fue el rendimiento agrícola, expresado en toneladas de caña por hectárea.

Para demostrar la eficacia agrícola del bioestimulante Fitomas-E como promotor del rendimiento agrícola en cultivos alimentarios básicos se destinaron 20 000 litros en extensiones en condiciones de producción en 3000 ha en 6 Cooperativas de Producción Agropecuarias (CPA) en la provincia de Mayabeque, donde se seleccionaron parcelas demostrativas con cultivos testigo (sin tratar) y bloques tratados con diferentes dosis de Fitomas E. Estos experimentos fueron realizados por la Dirección de Cultivos Varios del Ministerio de la Agricultura en 12 cultivos básicos.

El producto se aplicó 3 veces en dosis desde 2,0 a 3,0 L/ha, por vía foliar, siempre disuelto en agua hasta completar de 200 a 250 L/ha de volumen final, en 3 de las fenofases críticas del cultivo (crecimiento, brotación, fructificación).

La aplicación se realizó sobre el área foliar activa de las plantas, mediante mochila de 16 L con toberas de aspersión de 0,2 mm.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Planta de producción industrial fue construida en el 2008 en el ICIDCA, en La Habana y ha demostrado capacidad efectiva de 2,2 MML del producto/año. El proceso se basa en la utilización de biomasa vegetal que procede de materias primas derivadas de la caña y sales minerales que se transforman mediante un proceso de termólisis catalítica y operaciones de separación, en una suspensión líquida estable hasta 1 año.

En la Figura 1 se muestra una imagen del producto terminado en garrafas de polietileno de 20 L.

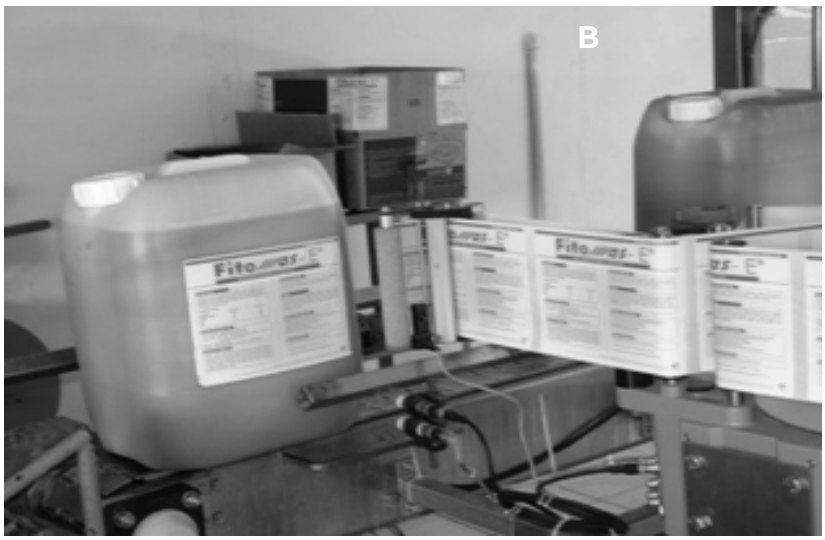


Figura 1. Envasado del Fitomas E en línea semiautomática

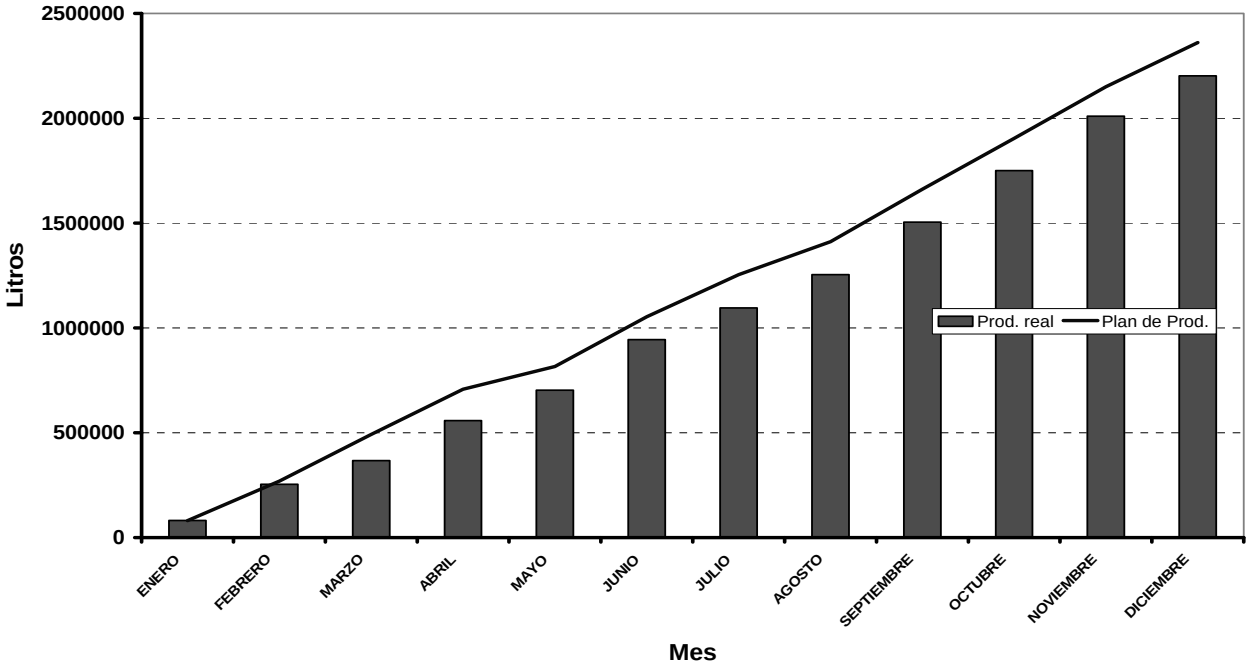


Figura 2. Producción de estimulantes agrícolas Fitomas E durante el año 2010.

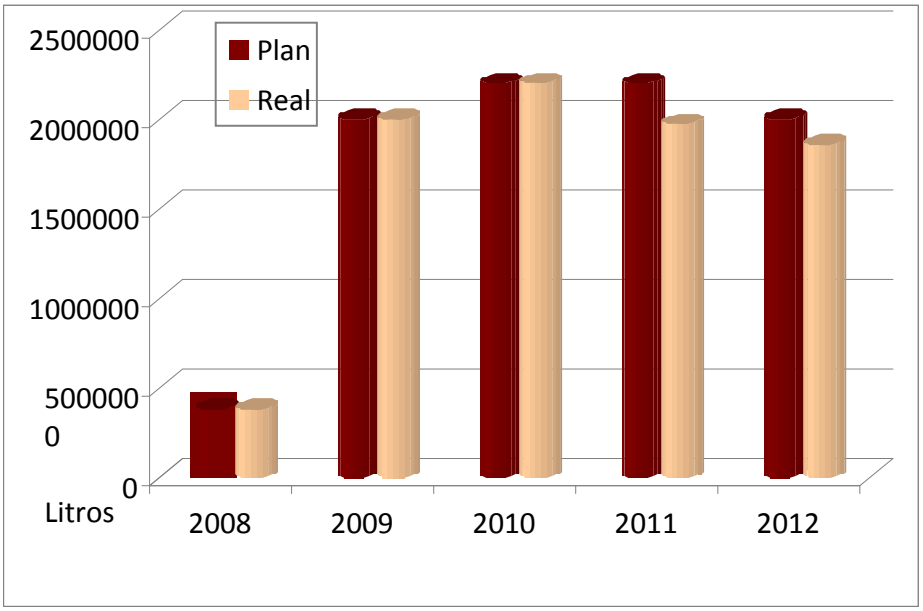


Figura 3. Producción de estimulantes agrícolas Fitomas E durante los años 2008-2012

Para alcanzar estas cifras se programó un régimen de operación anual de 220 días efectivos de producción, con 12 horas de operación diaria, y un volumen medio diario de producción de 10 000 litros/día.

En la Figura 2 se muestran los niveles de producción mensuales acumuladas en miles de litros alcanzados entre los meses de enero a diciembre de 2010. En los meses de junio y noviembre se alcanzó una producción record de 245 000 litros. En la figura 3 se muestran los últimos 5 años, destacándose el 2010 en que se alcanzó el récord de producción de Fitomas E que llegó a 2,2 MML.

En la Tabla I se muestra un resumen de los índices que caracterizan al estimulante Fitomas E fabricado en el ICIDCA, donde se refleja que el formulado contiene hasta 7% de aminoácidos libres, así como macronutrientes N, P y K. En esas condiciones el producto es estable hasta 1 año.

Tabla I. Características químico-físicas del producto Fitomas E:

Indicadores	**Propiedad**	**Valor**
Clasificación	Estimulante antiestrés	Suspensión Liquida 85%
% Sólidos Totales	Concentración i.a.	320 g/L
Densidad	Calidad Formulado	1,13 g/cm^3
Componente	**Gramos/Litro**	**% peso/peso**
Extracto orgánico	150	13
Aminoácidos Libres	80	7%
N total	55/60	6.5
K_2O	60	5.24
P_2O_5	32	2.70

En la Figura 4 se presenta la composición de aminoácidos en el producto donde se destacan como mayoritarios los aminoácidos: Alanina, Glicina, Triptófano, Valina, Leucina y Lisina, algunos de ellos con comprobado efecto en la actividad metabólica de las plantas.

De los aminoácidos reportados, 11 presentan actividad en el metabolismo vegetal según la literatura consultada. Entre ellos, la prolina actúa en la prevención y recuperación del estrés fisiológico y ayuda a la fertilidad del polen en el proceso de polinización y formación del fruto. La glicina y el ácido glutámico ayudan a incrementar la concentración de clorofila en las plantas, son agentes quelantes muy efectivos y tienen efecto sobre la polinización y cuajado del fruto porque aumentan la germinación del grano de polen alargando el tubo polínico. El L-aspártico presenta efecto quelante Mendel (2008). El ácido glutámico también actúa como agente osmótico del citoplasma de las células protectoras. Entre los activadores de fitohormonas y sustancias de crecimiento están la L-metionina que es precursor de etileno y otros factores de crecimiento, el L-triptófano que es un precursor de la síntesis de las auxinas y el L-arginina induce la síntesis de hormonas relacionadas con las flores y frutos. La L-lisina, L-metionina, L-ácido glutámico son aminoácidos esenciales para la polinización Herogra (2011).

Figura 4. Composición de aminoácidos presente en el bionutriente Fitomas E en mM/ml

En la Tabla II se muestra también un resumen de los resultados de los estudios toxicológicos del producto, Curbelo (2003) donde se muestra que Fitomas E no es tóxico a los mamíferos ni al medio ambiente.

Tabla II. Resultados de los ensayos toxicológicos en mamíferos y en el medio ambiente

Ensayo	**Especie**	**Dosis**	***Efectos***
Genotoxicidad Médula ósea **LD_{50}**	ratón	2000mg/Kg	*No genotóxico*
Toxicidad Aguda Dérmica **LD_{50}**	rata	1000mg/Kg	*No tóxico*
Potencial Sensibilizante en Piel **LD_{50}**	curiel	0,01ml/cm^2-h	*Sensibilizante débil grado I*
Potencial Irritante Ocular **LD_{50}**	conejo	0,005ml/Kg	*No irritante*
Toxicidad Aguda por Contacto **LD_{50}**	abeja	100mg/Kg	*No tóxico*
Toxicidad Aguda Oral **LD_{50}**	codorniz	2000mg/Kg	*No tóxico*
Toxicidad Aguda por Contacto **LC_{50}**	Lombriz de tierra	1000mg/Kg de suelo	*No tóxico*
*Toxicidad Aguda por Contacto **LC_{50}***	*carpa*	*0,1g/ L de agua*	*No tóxico*

Los resultados de más de cien extensiones controladas por el INICA entre los años 2003 y 2008, Santana (2009) en caña de azúcar todas las provincias, con bioestimulantes y la fertilización recomendada (servicio SERFE del INICA), mostraron incrementos del rendimiento agrícola de 28.4 % (10 t/ha) sobre lo alcanzado por el SERFE cuando se utilizó Fitomás E a 2 L/ha, 37.4 % (11.9 t/ha) con Enerplant a 5.2 mL/ha, y 27.9 % (12.3 t/ha) con Bayfolan Forte a 6 L/ha (Tabla III), otros bioestimulantes comerciales importados en Cuba

Tabla III. Uso en retoños de bioestimulantes junto a la fertilización del SERFE
(Más de 100 extensiones realizadas entre los años 2003 y 2008), Santana (2009)

Bioestimulantes	Recomendación del SERFE		Diferencia debida al bioestimulante	
	Con bioestimulante	Sin bioestimulante		
	Rendimiento agrícola, t/ha		t/ha	%
Fitomás-E a 2 L/ha	45.0	35.1	10.0	128.4
Enerplant a 5.2 mL/ha	43.7	31.8	11.9	137.4
Bayfolan Forte a 6 L/ha	56.5	44.2	12.3	127.9

El tratamiento de cepas de retoño con Fitomás E a 3 L/ha sin fertilización, correspondiente a estudio de extensión conducido en la Empresa Manuel Fajardo, mostró rendimiento inferior en 1 t/ha al que se obtuvo con Fitomás E a 2 L/ha más 50 % de la recomendación del SERFE, 1.2 t/ha inferior al correspondiente a 100 % del SERFE y 4.5 t/ha menos que el de Fitomás-E a 2 L/ha más 100 % del SERFE (Tabla IV). Adicionalmente, este ensayo, desarrollado en retoño sobre suelo Ferralitizado Cálcico, mostró que el tratamiento de Fitomás E a 2 L/ha combinado con 50% del SERFE, representó 99.6 % del rendimiento correspondiente al 100 % del SERFE, con una diferencia de sólo 0.2 t/ha.

El tratamiento con Fitomás E a dosis de 1 L/ha sin fertilización mineral, correspondiente a la media de 4 extensiones conducidas en la Empresa Héctor Molina, mostró rendimiento inferior en 2.5 t/ha que el de Fitomás E a 1 L/ha más 50 % de la recomendación del SERFE, 5.0 t/ha menos que el de Fitomás-E a 1 L/ha más 100 % de la recomendación del SERFE, pero superior en 1.3 t/ha a 50 % de la recomendación del SERFE sin Fitomás E (Tabla IV).

Tabla IV Fitomás-E combinado con 100 y 50 % del SERFE (retoños) Santana (2009)

Tratamientos	Rendimiento	Diferencia con SERFE	Proporción con SERFE
	Caña t/ha	t/ha	%
Empresa Manuel Fajardo (una extensión)			
Testigo sin fertilizantes	34.0	-15.8	68,3
Fitomás-E 3 L/ha (1+2) sin fertilizantes	48.6	-1.2	97,6
Fitomás-E 2 L/ha + 50 % SERFE[1]	**49.6**	**-0.2**	**99,6**
Fitomás-E 2 L/ha + 100 % SERFE[1]	**53.1**	**3.3**	**106,6**
100 % SERFE[1]	49.8	-	100,0
Empresa Héctor Molina (medias de 4 extensiones)			
Testigo sin fertilizantes	29.0	-11.8	71.1
Fitomás-E 1 L/ha sin fertilizantes	37.3	-3.5	91.4
Fitomás-E 1 L/ha + 50 % SERFE[2]	39.8	-1.0	97.5
Fitomás-E 1 L/ha + 100 % SERFE[2]	**42.3**	**1.5**	**103.7**
50 % SERFE	36	-4.8	88.2
100 % SERFE[2]	40.8	-	100.0

En cepa de caña planta sólo se probó el Fitomás E en dos dosis: 2 y 4 L/ha, con 50 y 100 % de la dosis recomendada por el SERFE. La variante de 4 L/ha de Fitomás E con 50 % de la dosis del SERFE igualó el rendimiento agrícola correspondiente a la dosis completa del SERFE (Tabla V 10). La diferencia observada con la variante de 2 L/ha de Fitomás-E con 50 % del SERFE respecto a la dosis del SERFE es pequeña, por lo que, aunque con resultados inferiores a la anterior, también pudiera emplearse.

Tabla V. Fitomás-E combinado con 100 y 50 % del SERFE (caña planta) Santana (2009) **(**Suelos Ferralitizados Cálcico y Sialitizado Cálcico, medias de tres ensayos).

Tratamientos	Rendimiento Caña t/ha	Diferencia con SERFE t/ha	Proporción con SERFE %
Testigo sin fertilizantes	68.27	-13.78	83.2
50 % SERFE	72.49	-9.56	88.3
Fitomás-E a 2 L/ha + 50 % SERFE	76.78	-5.27	93.6
Fitomás-E a 4 L/ha + 50 % SERFE	**81.43**	**-0.62**	**99.2**
Fitomás-E a 2 L/ha + 100 % SERFE	**84.60**	**2.55**	**103.1**
Fitomás-E a 4 L/ha + 100 % SERFE	**93.78**	**11.73**	**114.3**
100 % SERFE	82.05	0.00	100.0

Los resultados de la aplicación de Fitomas-E en cultivos de alimentos se muestran en la Tabla VI, Méndez (2009).

Tabla VI. Incrementos en los rendimientos de las cosechas con la aplicación de estimulante agrícola Fitomas E en la provincia Habana en 2009

Nº	**Cultivos**	**U/M**	**con FitoMas E**	**Testigo**	**Incremento %**
1	Malanga	Ton/ha	21,10	20,40	3,00
2	Boniato	Ton/ha	18,70	17,00	10,00
3	Papa	Ton/ha	26,80	26,70	5,30
4	Yuca	Ton/ha	10,90	10,20	6,60
5	Tomate	Ton/ha	19,50	14,50	34,50
6	Pepino	Ton/ha	13,10	7,40	77,10
7	Cebolla	Ton/ha	17,70	14,70	20,10
8	Pimiento	Ton/ha	14,20	9,40	51,50
9	Col	Ton/ha	23,60	19,50	21,00
10	Zanahoria	Ton/ha	17,00	16,30	4,10
11	Fríjol	Ton/ha	1,21	1,06	14,00
12	Maíz	Ton/ha	2,40	2,08	15,00

Se confirma que hay incrementos en todos los rendimientos agrícolas promedio de 12 cultivos tratados y no tratados con el estimulante agrícola de referencia en la campaña agrícola 2010, en la Provincia La Habana, donde se comprobó que todos los cultivos beneficiados con Fitomas E en extensiones de producción respondieron de manera positiva con un incremento significativo en la calidad y volumen de las cosechas.

CONCLUSIONES Y REFERENCIAS

Se confirmó que la tecnología empleada en la Planta de Producción de Estimulantes Agrícolas Fitomas, permite alcanzar la capacidad proyectada de 2,0 millones de litros/año, según resultados de los años 2008 al 2012, con pico de producción de 2,2 MML en el 2010.

Por medio de una técnica de HPLC acoplada a espectrometría de masa, se caracterizaron los 16 aminoácidos presentes en el ingrediente activo del formulado que constituyen 7% en peso del producto final.

Los estudios toxicológicos realizados en mamíferos y en el medio ambiente demostraron que los Bionutrientes Fitomas no presentan toxicidad ni al hombre, plantas y animales a las dosis de empleo en la agricultura.

Se obtuvieron nuevos resultados del impacto del Fitomas E en el cultivo de la caña de azúcar al confirmarse que los mejores resultados se logran con la fertilización mineral al 100% + dosis de 2 - 4 l/ha de Fitomás E, lo que ha permitido incrementos en los rendimientos en t/ha desde un 8 hasta un 20% en experimentos controlados por el INICA.

Se demostró que los bioestimulantes Fitomas resultan efectivos en aumentar el rendimiento agronómico de 16 cultivos básicos de alimentos, al alcanzarse incrementos que van desde 5% en col hasta valores de 77% en pepino según las extensiones en condiciones de producción en cooperativas en 3 000 ha en la Habana en estudios conducidos por la Dirección de Cultivos Varios del MINAGRI durante la cosecha del año 2009 y se estableció un procedimiento de manejo de cultivos con Fitomas E para los agricultores.

Alvarado, K.; Blanco, A.; Samán, A.; Villar, J. Influencia de un bioestimulante cubano en la obtención de postura de café. En: Resumen del XV Congreso Científico INCA. Tomo 2, San José de Las Lajas Noviembre 7-10, p.124-128. 2006.

APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el examen de las aguas residuales, 15, Edición, APHA, Washington, 1980.

Baños, H.L., Alemán, J., Martínez, M., Ravelo, J., Surís, M., Miranda, I., Rodríguez, H. Efecto de bioestimulantes sobre la germinación y el crecimiento de *Murraya paniculata* L. Cultivos Tropicales, 30 (1): 83-86, 2009.

Brigth, S.; Word, E.; y Miflin, B. Inhibition of growth of excised barley embryos by threonine and lysine. Planta 139: 113-117, 1978.

Castillo, G., Villar, J., Montano, R., Martínez, C., Pérez-Alfocea, F., Albacete, *et al.* Cuantificación por HPLC del contenido de aminoácidos presentes en el FitoMas-E. ICIDCA *Sobre los deriv.* 45 (1): 64-67, 2011.

Curbelo, A., Montano, R., Mancabo, A., Arteaga, M. E., González, C., Bada, A. M., *et al.* FitoMas-H no afecta los eritrocitos de la médula ósea del ratón Cenp: NMRI. ICIDCA *Sobre los deriv.* 41 (2): p. 31-38, 2007.

Curbelo, A., Mancebo, A., Arteaga, M., González, C., Rivero, Y., Torres, Y. Genotoxic assessment of FitoMas-E and FitoMas-H by means of the bone marrow micronucleus test. Toxicology Letters. 172 (1): 2007.

García, A., Montano, Villar, J., Viñals, M. Producción de 100 kl de FitoMas-E en Planta Piloto-Zafra 2006; valoración económica de su impacto en cepas de retoño. XV Forum de Ciencia y Técnica, julio 17-18, ICIDCA (La Habana) 2007.

García, T. M., Villar, J. D., Ortega. G. A. Gestión de la calidad para la puesta en marcha de una planta de FitoMas-E. VII Congreso Internacional. Sociedad Cubana de Química. Octubre 2009.
Gliessman, S. Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Costa Rica. 2002.

Harbin, K., Huffaker, R.C. Bionutrientes Agrícolas. Universidad de California, <http://www.inagrosa.es/inagrosa.htm>. 1987.

Harborn, J. Introduction to Ecological Biochemistry. Fourth Edition. Academic Press Inc. Ca. 1993.

Hernández, G. Registro Central de Fertilizantes, RCF 023/09, Tomo 1, Folio 027. 2009.

Leadley, P.; Reynolds, J. y Chapin, F. A model of nitrogen uptake by Eriophorum vaginatus roots in the fields: ecological implications. Ecological Monographs. 67 (1). 1997.

Liñán, C. EcoVad Vademécum para la Producción ecológica, 1ra Edición, Madrid, Agrotécnica, 2005.

López R. Comportamiento de plantas hortícolas con diferentes dosis de FitoMas en condiciones edafoclimáticas de Guantánamo. XV Congreso Científico INCA. La Habana 7-10 noviembre del 2006

Mendel, R. Uso de Fertilizantes Foliares a Base de Aminoácidos y Hormonas Naturales. [en línea] En: Tecnonet SRL. Propuestas inteligentes para una agricultura moderna. Julio 15, 2010. <http://tecnonetsrl.com.ar/noticias/69-html> [Consulta: 14 jun. 2011].

Méndez, O. Informe Técnico de los Resultados sobre la aplicación de Fitomas E en cultivos seleccionados. La Habana (2009), Dirección de Cultivos Varios, MINAGRI

Montano, R., Zuaznábar, R., García, A., Viñals, M., Villar, J. FitoMas-E. Bionutriente Derivado de la Industria Azucarera. ICIDCA *Sobre los derivados*, 41 (3): 14-21, 2007.

Montano R., López R. Villar J. FitoMas-E Bionutriente derivado de la industria azucarera. Efecto en tomate. XV Congreso Científico INCA. La Habana 9-12 noviembre del 2004.

OECD. Guideline for the testing of chemicals. Guideline 474. Mammaliam Erythrocyte Micronucleus Test. Paris. 1997.

Obaya, M.C., *et al*. Manual para la caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera y derivados. Ed. Científica-Técnica, La Habana, 1985.

¿Por qué usar aminoácidos en agricultura? [en línea] En: El Blog de Herogra. 10 mar, 2009 <http://herograespeciales.blogspot.com> [Consulta: 14 jun. 2011].

Procedimientos Operacionales de Trabajo del CETEX. División de Toxicología Experimental. Edición 01/03. CENPALAB. La Habana 2003.

Ramos L. Efecto del FitoMas y el bioplasma en el rendimiento del cultivo de la lechuga bajo condiciones de cultivo semiprotegido. XV Congreso Científico INCA. La Habana 7-10 noviembre del 2006.

Santana, I. Uso de Bioestimulantes en Caña de Azúcar, combinados con la fertilización mineral. Informe Proyecto Bioestimulantes. La Habana INICA (2009), MINAZ

Villar, J., Montano, R., López, R. Efecto del bioestimulante FitoMas en cultivos seleccionados. ICIDCA *Sobre los deriv.* 34 (2): 41-51, 2005.

Zuaznábar, R, Jiménez G, Díaz, J.C, Montano, R, Villar, J, García, A, de la Peña, B, Sulroca, F, Gallego, R, Lorenzo, Z y Mira, A. Resultados de las aplicaciones de FitoMas–E en plantaciones comerciales de caña de azúcar en los últimos 4 años. Diversificación 2008. Octubre 2008.

ESCALADO DE LA PRODUCCIÓN DEL BIOFERTILIZANTE NITROFIX EN LA PLANTA DE BIOPRODUCTOS CUBA 10.

SCALE UP OF BIOFERTILIZER PRODUCTION NITROFIX IN BIOPRODUCTOS PLANT CUBA 10

Autores: San Juan, A. N[1]., Pérez, J. A[1]., Borges, D[1]., Gómez, E[1]., Pérez, M., Guevara, Y[1]., Serrano, J[1]., Pérez, J[2]., Oliva, L[2]., Casa, M[2]., Martínez, J[1]., Saura, G[1]., Pérez, J. A[1]. Lorenzo, M[1].

Instituciones:

1. Dirección de Bioprocesos CUBA-10, ICIDCA. Pablo Noriega, Quivicán. Mayabeque. E-mail: **dirc10@enet.cu**

2. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. INICA.

Resumen

La utilización de los bioproductos en Cuba constituye una vía muy promisoria para enfrentar diferentes situaciones que afectan la agricultura actual. A pesar de poseer una amplia gama de productos biológicos desarrollados por instituciones científicas del país, sin embargo se considera que las producciones son insuficientes. El NITROFIX, desarrollado por el ICIDCA, es un biofertilizante líquido, constituido por células del género *Azospirillum* sp., cepa 8 INICA, con demostrada efectividad en la sustitución hasta un 60% de fertilizantes químicos en cultivo cañero y con efectos estimuladores del crecimiento vegetal. El objetivo del trabajo es desarrollar el escalado del producto en una planta industrial, utilizando fermentadores de 1000 y 5000 litros, aplicando como criterio de escalado para la agitación la potencia gaseada por unidad de volumen (Pg/V) y para la aireación Na constante. Las condiciones de operación calculadas, agitación de 119 rev/min y aireación de 0.7 vvm para 1000 litros y agitación de 102 rev/min y aireación de 1.42 vvm para 5000 litros, demostraron resultados satisfactorio en el crecimientos de *Azopirillum* sp ($8x10^9$ y $1x10^{10}$ UFC mL^{-1}) y velocidades de crecimiento de 0.55 h^{-1} y 0.46 h^{-1} respectivamente. Bajo estas condiciones se han producidos 65 000 litros del biofertilizante NITROFIX que han sido aplicado en diferentes cultivos, caña de azúcar, maíz, y lechuga entre otros.

Palabras claves: biofertilizante, *Azospirillum*, Nitrofix, escalado, planta de producción**.**

Summary

The use of bioproducts in Cuba is a very promising way to deal with different situations that affect agriculture today. Despite having a wide range of organic products developed by scientific institutions of the country, however it is considered that the productions are insufficient. The NITROFIX developed by ICIDCA is a liquid biofertilizer, comprising cells of the genus *Azospirillum* sp. Strain INICA 8, with proven effectiveness in replacing up to 60% chemical fertilizer and sugarcane to plant growth stimulatory effects. The aim of this work is to develop the product scaling of at an industrial plant, using fermenters 1000 and

5000 liters, applying scaling criterion for agitation gassed power per volume unit (Pg / V) and constant aeration number. The operating conditions calculated, agitation of 119 rev / min and aeration of 0.7 vvm for 1000 l and agitation of 102 rev / min and aeration of 1.42 vvm for 5000 liters showed satisfactory results in the growth of *Azopirillum* sp ($8x10^9$ and $1x10^{10}$ CFU mL^{-1}) and growth rates of 0.55 h^{-1} and 0.46 h^{-1}, respectively. Under these conditions, we have produced 65,000 liters NITROFIX biofertilizer which have been applied in different crops, sugar cane, corn, and lettuce, among others.
Keywords: biofertilizer, *Azospirillum*, Nitrofix, scale up, production plant.

Introducción

En Cuba, un país eminentemente agrícola, la aplicación de técnicas de la biotecnología moderna para la obtención de bioplaguicidas y biofertilizantes, dentro de las prácticas de una agricultura sostenible y de la conservación de la biodiversidad es una necesidad cada vez más demandada para la producción de alimento. Así como, una vía de sustitución significativa de productos químicos importados, lo que representa un ahorro económico considerable. El impacto alcanzado con el uso de los bioproductos en la agricultura, apoya el establecimiento de un enfoque de trabajo a ciclo completo que permita la sostenibilidad del mismo, alcanzando importantes aportes desde el punto de vista científico, económico, social, tecnológico y comercial cumpliendo las medidas de bioseguridad establecidas. Fernández y otros (2006) y Hernández y otros (2006)

Numerosos grupos multidisciplinarios de investigación de diferentes instituciones cubanas han venido desarrollando programas de I & D dirigidos al aislamiento, caracterización, producción y uso de microorganismos nativos, entre los más estudiados se encuentran del género bacteriano, cepas de *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus thuringiensis* y *Pseudomonas* y hongos como *Beauveria Bassiana*, *Paecilomyces lilacinus*, *Paecilomyces fumosoroseus*, *Llecanicillium lecanii* y los hongos *micorrízicos arbusculares Glomu.* A partir de estos microorganismos se han obtenido bioproductos, de acción bioplaguicidas, biofertilizantes y bioestimilunte con demostrada efectividad en la agricultura.

Entre los biofertilizantes existente en Cuba figura el NITROFIX, desarrollado por el Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), inoculante líquido constituido por una suspensión de bacteria del género *Azospirillum* sp., con demostrada efectividad en la sustitución de fertilizantes químicos hasta un 60% en cultivo cañero y efectos estimuladores del crecimiento vegetal. Roldos y otros (1994), Pérez y otros (2005), Arcia y otros (2011)

Uno de los principales problemas en el cultivo de caña de azúcar, es el elevado nivel de nitrógeno combinado que la planta requiere para su desarrollo, por lo que es de suma importancia la sustitución de la fertilización tradicional por alternativas más económicas y menos dañinas al medio ambiente, una solución potencial para el cultivo cañero y otros cultivos lo constituye el uso del biofertilizante NITROFIX. San juan y otros (2012)

La Dirección Bioprocesos Cuba 10, perteneciente la Instituto Cubano de investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA), ha ejecutado un proyecto de remodelación en la planta de producciones biotecnológicas, ampliando su capacidad fermentativa hasta 5 m^3 de volumen total. La remodelación ha incluido las áreas de laboratorios de control, área de preparación de medios de cultivos, producción, envase, sistemas auxiliares, así como almacenes de materias primas y producto terminado, el proyecto avalado por el Centro Nacional de Seguridad Biológica fue realizado teniendo en cuenta los requisitos para la producción de agente biológicos en Cuba que establece la Resolución No. 103/2002.

La planta comienza su explotación con la producción del biofertilizante NITROFIX, como principal objetivo, sin embargo la instalación presenta un diseño flexible, que por su versatilidad y escala es única de su tipo existente en el país en la rama de la Biotecnología industrial, lo que permitirá contribuir en el desarrollo de biofertilizantes y bioproductos en general, en consecuencia con el nuevo modelo económico cubano.

El objetivo de este trabajo ha sido el escalado de la producción de NITROFIX hasta fermentadores de 1000 y 5000 litros de volumen total.

Materiales y Métodos

Se utilizó la cepa 8I de *Azospirillum* sp proveniente de la colección de microorganismos del INICA. La misma fue aislada de la rizosfera de la caña de azúcar, variedad Jaronú 60-5 y seleccionada por su capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico.

Producción del NITROFIX

La producción del biofertilizante NITROFIX fue validada en la planta piloto de Cuba 10, hasta fermentador de 500 litros de capacidad máxima, utilizando un fermentador Marubishi (MD-500 Japón) según el procedimiento tecnológico diseñado por Fernández (1999), constituyendo el procedimiento prototipo a escalar. La planta de producción ha sido equipada con una batería de fermentadores de diferentes volúmenes, 32, 150, 1000 y dos fermentadores de 5000 litros, las características geométricas de los fermentadores utilizados en este trabajo se muestran en la tabla I.

Tabla I. Características de los fermentadores de la planta Bioprocesos Cuba 10.

Fermentador (Litros)	Volumen de trabajo(L)	Número de impulsores	Diámetro de impulsor (cm)	Diámetro del tanque (cm)
500	350	2	25	75
1000	700	6	35	80
5000	3500	6	45	135

Escalado del proceso

Para el escalado se utilizó el método del Know how o Regla del pulgar Einsele **(**1976), el cual se basa en mantener constante al cambiar de escala un determinado parámetro relacionado con la calidad del mezclado del sistema. Como estrategia de escalado se seleccionó el criterio de agitación Pg/V (Potencia gaseada/Volumen del sistema) y para la aireación Na constante, el procedimiento se desarrolló manteniendo semejante el diseño geométrico, el mismo medio de cultivo y una densidad de inóculo constante.

El ejercicio de escalado se realizó a partir de las ecuaciones descritas por varios autores para requerimientos de potencia en tanques agitados para sistemas gaseados (Tabla II). Aiba (1973) y Quintero (1993)

Tabla II. Ecuaciones involucradas en el ejercicio de escalado.

	Ecuaciones	**Donde:**
Número de aireación (*Na*)	$N_a = Q / nDi^3$	*Na* = velocidad total de transferencia de oxígeno por unidad de volumen *Q* = flujo volumétrico de aire *n* = revoluciones por minuto *Di* = diámetro del impulsor (m)
Número de Reynold (*Re*)	$R_e = \frac{nDi^2\rho}{\mu}$	*Re* = número de Reynolds ρ = densidad (g/cm^3) μ = viscosidad (g/cm s)
Número de potencia (*Np*)	$N_p = P_g / \rho n^3 Di^5$	*Np* = número de potencia *Pg* = potencia con aireación (Kg m/s)

Control de la calidad

Se realizaron los controles establecidos en el Sistema de Gestión de la Calidad basado en las normas cubana NC ISO/IEC 9001:08, implantado para las producciones biotecnológicas en Cuba 10, el cual define durante el flujo tecnológico los puntos de controles que permiten verificar, validar y dar seguimiento la producción del biofertilizante. San Juan (2008). Además, se tuvo en cuenta los procedimientos de la RED-CAI (red de control de calidad de inoculantes), considerando las siguientes determinaciones:

Técnicas analíticas y Microbiológicas

- **Conteo al microscopio**. Se prepararon diluciones seriadas de 1:10 a partir de la muestra hasta una concentración adecuada; el conteo se realizó en cámara de Neubauer con 0.10 mm de profundidad y un área de 0.0025 mm^2.
- **Conteo de viables**: Realizando siembras por diseminación en placas de petri, a partir de diluciones seriadas de la muestra original. Se utilizó un medio semi selectivo Agar Rojo Congo el cual permite el reconocimiento de las colonias de *Azospirillum* y facilita el aislamiento de cultivos puros a partir de la aparición de colonias típicas con un color rojo oscuro o escarlata.
- **Detección de contaminantes**: La siembra se realizó utilizando medio Agar nutriente, medio utilizado para el crecimiento de bacterias de forma general
- **Masa seca gravimétrica (MSG)**. Se tomaron 10 mL de la muestra y se centrifugaron a 6000 rev/min durante 20 minutos. El sedimento fue lavado 2 veces con agua destilada, centrifugándose en cada paso. Se vertió el mismo en una cápsula previamente tarada y se llevó a peso constante en una estufa a 105 ºC.
- **Azúcares reductores totales (ART)**. Se empleó el método de Eynon-Lane modificado por el ICIDCA. (Manual de técnicas analíticas del ICIDCA).
- **Determinación de pH:** Evaluado directamente utilizando un equipo pH metro INOLAB.

Evaluaciones del NITROFIX en semillas de caña de azúcar y otros cultivos

La evaluación se realizó sumergiendo la semilla de caña de azúcar en el biofertilizante por 30 minutos (relación 1:1.25) en el proceso de tratamiento de éstas en el banco de semilla básica, utilizando las variedades C 86-12 y C 323-68, las cuales constituyen las principales a cultivar en el área nacional, ocupando en el país con el 20,02 y 10,41 % respectivamente.

En cultivos de lechuga y maíz se evaluó sumergiendo la semilla en el biofertilizante por 15 minutos (relación 1:10). Se realizaron cuatro replicas por tratamientos y las variables evaluadas fueron: Peso fresco, seco y poblaciones de *Azospirillum* en las raíces y peso fresco, seco de la parte aérea y el rendimiento. Las evaluaciones fueron realizadas en diferentes momentos del ciclo del cultivo. Las raíces fueron procesadas en condiciones asépticas, maceradas y sembradas en medio NFb semisólido y Agar Nutriente. Las cuantificaciones se realizaron por el método de conteos viables (unidades formadoras de colonias por g).

Resultado y discusión

El NITROFIX, biofertilizante nitrogenado y estimulante del crecimiento vegetal, es una suspensión de bacteria del género *Azospirillum* sp., elaborado con la cepa autóctona 8 INICA, con una concentración de 10^9 -10^{10} UFC mL^{-1}. Su aplicación ha demostrado efectos beneficiosos en caña de azúcar, reduciendo el uso de fertilizantes nitrogenados inorgánicos hasta un 60%, resultado que ha ubicado este inoculante como una alternativa de aplicación, permitiendo potenciar el desarrollo cañero sobre bases propias que incluye el uso de abonos orgánicos y biofertilizantes, con el fin de disminuir la utilización de grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos, aumentar los rendimientos agrícolas y mejorar las propiedades físico-químico de los suelos sometidos al monocultivo intensivo, según investigaciones realizadas en la década de los 90 por Roldos y otros (1994) y Rodríguez y otros (2006). Estos resultados han sido corroborados por el INICA en campañas de aplicación en cultivo cañero en diferentes tipos de suelos realizadas en el 2009 y 2010. Arcia y otros (2011)

La tecnología de producción del biofertilizante NITROFIX ha sido validada en la planta piloto de Cuba 10, donde se produjeron un total de 15000 Litros de biofertilizante, bajo estas condiciones la producción no se comportó de forma estable, obteniéndose lotes con concentraciones entre 10^9 y 10^{10} UFC mL^{-1} como se muestra en la figura 1. Evaluaciones realizadas en la producción demostraron que las oscilaciones estuvieron sujetas a afectaciones en la relación de inoculación y la calidad de las materias primas (datos no mostrados), demostrándose que en régimen de producción debe garantizarse un 10 % de densidad de inoculación y las materias primas, fundamentalmente la levadura Torula debe ser fresca, entre 3 y 6 meses de producida.

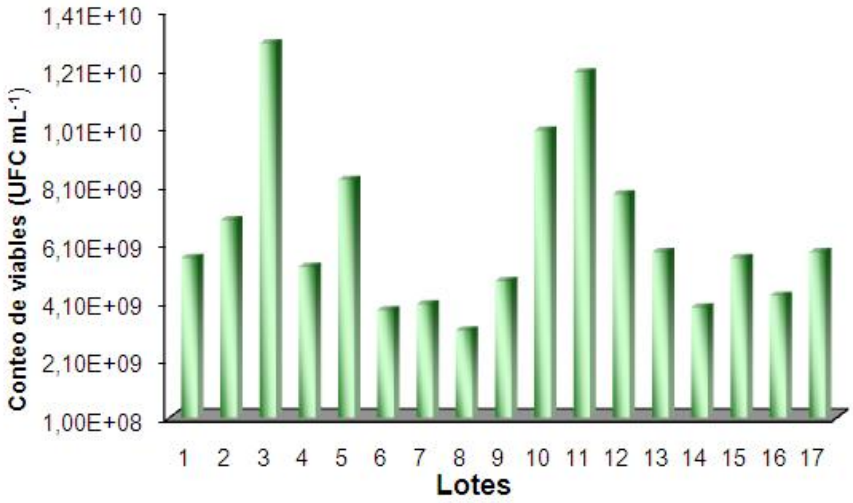


Figura 1. Comportamiento de los conteos de células viables de 18 lotes de producción de *Azospirillum* sp. biofertilizante NITROFIX, en planta piloto de Cuba 10 utilizando el fermentador de 500 litros.

Los resultados promedios de los parámetros evaluados durante la producción demostrativa del fertilizante biológico NITROFIX , mostrados en la tabla III, demuestran que a pesar de obtener un buen crecimiento microbiano en el orden de 10^9 y 10^{10} UFC mL^{-1}, los rendimientos obtenidos se consideran bajo, existiendo una tendencia a la formación de productos secundarios como es la producción de auxinas, citoquininas y giberelinas, sustancias reguladoras del crecimiento que son reportadas en los sobrenadantes de *Azospirillum*. Okon y otros (1997), Somers y otros (2005). Por otro lado, se logran promedio de consumo de Azucares Reductores Totales del orden de 12.5 g L^{-1} y velocidades de crecimiento de 0.36 h^{-1}, resultados similares a los obtenidos por Fernandez (1999).

Tabla III: Resultados promedios de los parámetros evaluados en los lotes de producción de *Azospirillum* sp. Nitrofix. Fermentador de 500 litros utilizando medio industrial, pH 7.2, 37ªC, 150 rpm y 0.3 vvm.

UFC ml-1	pH	ART(consumidos) (g L-1)	Y(X/S)	µ (h-1)
6,19E+09 ± 2,8E+09	6,0 ± 0,9	12.5 ± 0.9	0.32± 0,01	0.36± 0,02

Escalado del proceso

El proceso fue transferido a la planta de producción hasta fermentadores de 1000 y 5000 litros de volumen total, considerándose los parámetros de aireación y agitación establecidos en escala piloto, tomando como prototipo el fermentador de 500 Litros. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la metodología descrita en la tabla IV.

Tabla IV. Resultados obtenidos en el ejercicio de escalado de *Azospirillum* sp. biofertilizante NITROFIX.

<table>
<tr><th colspan="2">Fermentador Prototipo 500 L, n_1= 150 rev/min y flujo de aire (Q_2)= 0.3 vvm</th></tr>
<tr><td colspan="2">Se calculó el número de aireación, Na para el fermentador de 10L y resultó:
$N_a = Q / nDi^3$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Na = 4.2E-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">$R_e = \frac{nDi^2 \rho}{\mu}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Re = 4.8x10^4 (Régimen turbulento)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Régimen turbulento, por lo que Np = 6, según fig. 6.4 del Aiba, para agitador tipo turbina.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Con Na y el número de paletas del agitador se obtuvo en la fig. 6.5 del Aiba la relación Pg/P</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pg/P = 0.78</td></tr>
<tr><td colspan="2">Según la ecuación $N_p = Pg / \rho N^3 Di^5$ se calcula la potencia del sistema, resultando:</td></tr>
<tr><td colspan="2">P = 74.62 Kg m^2/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">De acuerdo a la relación obtenida de Pg/P, se obtiene la potencia gaseada del sistema:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pg = 58.20 Kg m^2/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">Calculando Pg/V se obtiene que:</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pg/V = 16 Kw/m^3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Aplicando criterio de escalado $(Pg/V)_1 = (Pg/V)_2$, se calculó la potencia gaseada:</td></tr>
<tr><th>Fermentador de 1000 litros</th><th>Fermentador de 5000 litros</th></tr>
<tr><td>Pg_2= 32 Kg m^2/s</td><td>Pg_2 = 137 Kg m^2/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">Manteniendo la misma relación Pg/P se obtuvo la potencia para el sistema 2:</td></tr>
<tr><td>P_2 = 41.02 Kg m^2/s</td><td>P_2 = 175.6 Kg m^2/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">A partir del Np obtenido y suponiendo régimen turbulento en la escala mayor, se obtiene por despeje n_2</td></tr>
<tr><td>n_2 = 119 rev/min</td><td>n_2 = 102 rev/min</td></tr>
<tr><td colspan="2">Con el valor de n calculado se chequea el número de Reynold (Re):</td></tr>
<tr><td>Re_2 = 8.0 x 10^4</td><td>Re_2 = 1.1x 10^5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Los valores obtenidos confirman que el régimen es francamente turbulento y puede ser usado Np = 6</td></tr>
<tr><td colspan="2">Para el cálculo de los niveles de aire se mantuvo constante el Na y se determina el flujo de aire (Q): Obteniéndose que:</td></tr>
<tr><td>Para el Fermentador de 1000L
flujo de aire (Q_2) = 0.7 vvm</td><td>Para el Fermentador de 5000L
flujo de aire (Q_2) = 1.42 vvm</td></tr>
</table>

Con el objetivo de confirmar estos resultados se llevo a cabo la producción empleando los niveles de aireación y agitación obtenidos en el ejercicio de escalamiento (Figura 2).

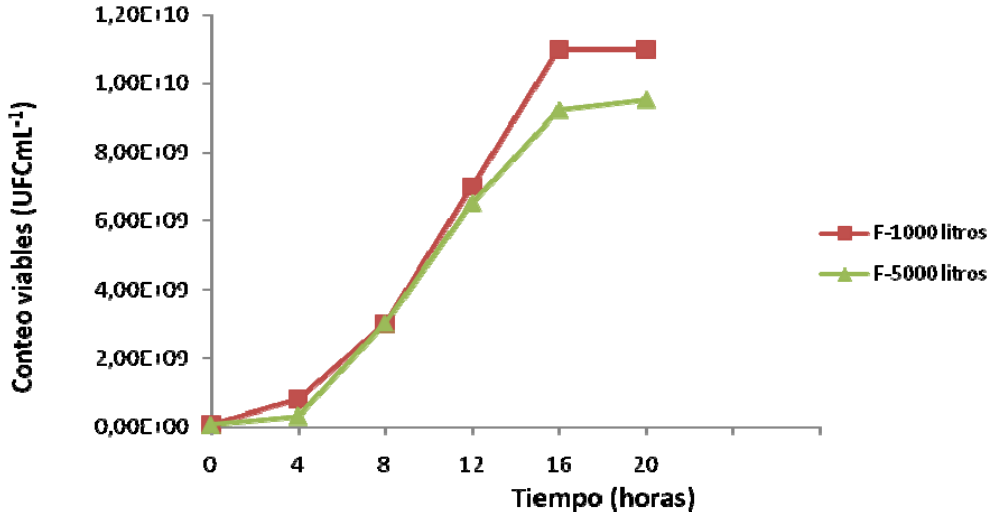


Figura 2. Escalado de la producción de *Azospirillum* sp. biofertilizante NITROFIX hasta fermentador de 1000 y 5000 litros.

Al observar el comportamiento de la cinética de crecimiento se aprecia que es muy similar para ambos fermentadores, en cuanto al tiempo de la fase lag (4 horas) y tiempo de fermentación (20 horas), estos resultados corroboraron los resultados obtenidos en fermentador de 500 litros y los reportados por Fernandez (1999) y Saura y otros (2003), sin embargo para el fermentador de 1000 litros se obtiene una velocidad de crecimiento alta (**μ=0.55 h^{-1}**) mayor que para el fermentador de 5000 litros (**μ=0.46 h^{-1}**), además, es importante resaltar que aunque a este nivel de fermentación los conteos de viables son altos no alcanzaron titulaciones de 10^{10} UFC mL^{-1}, este comportamiento pudiera estar asociado a limitaciones de oxigeno en el medio.

Los resultados a escala industrial demostraron que para ambos fermentadores se obtiene un buen crecimiento celular en el orden de $8x10^9$ y $1x10^{10}$ UFC mL^{-1}, lo cual permite definir que la cepa de *Azospirillum* sp. 8 INICA ha respondido de forma eficiente al escalado hasta estos niveles de fermentación, estos resultados son similares o superiores a muchos fertilizantes biológicos que se reportan, sobre la base de este mismo género de bacteria en forma líquida, entre ellos se pueden citar los siguientes: Nitragin, inoculante líquido desarrollado en Argentina en convenio con el INTA con *Azospirillum brasilense* con una concentración de $1x10^8$ a $1x10^9$ UFC mL^{-1}, la patente mexicana MXPA05008322 plantea un biofertilizante efectivo con una población inicial de *Azospirillum* mínima de $1x10^9$ bacterias por mL. Por otro lado, el BioN-Plus, producido en la empresa SUNDARAM de la India presenta una potencia de 10^9 UFC mL^{-1}. De forma general se plantea que un biofertilizante es efectivo cuando contiene cantidades de microorganismos en el rango de 10^8 a 10^{10} bacterias por gramo o por mL de composición final de la formulación, preferiblemente de $1x10^9$ a $5x10^9$ bacterias por gramo o por mL. Caballero Mellado (2006).

Bajo estas condiciones se han producidos 65 000 litros del biofertilizante NITROFIX que han sido aplicado en diferentes unidades productivas cañeras y de la agricultura del municipio Quivicán. Sin embargo, la estabilidad del biofertilizante se ha presentado como inconveniente para lograr una mayor comercialización, el NITROFIX garantiza una concentración de 10^9 UFC mL^{-1} después de 15 días de producción a temperatura ambiente y 150 días almacenados bajo condiciones de refrigeración (2-10 ºC).

A pesar de la gran gama de biofertilizantes base *Azospirillum* registrados mundialmente, aun se consideran muy escasos los inoculantes comerciales líquidos y estables en el tiempo según plantea Puente (2010), considerándose que la tecnología de la formulación es probablemente una de las áreas de desarrollo de los bioproductos en general que requiere mayor esfuerzo de investigación para aumentar la eficacia, constituyendo uno de los principales desafíos de nuestros investigadores.

Evaluaciones del NITROFIX en semillas de caña de azúcar y otros cultivos

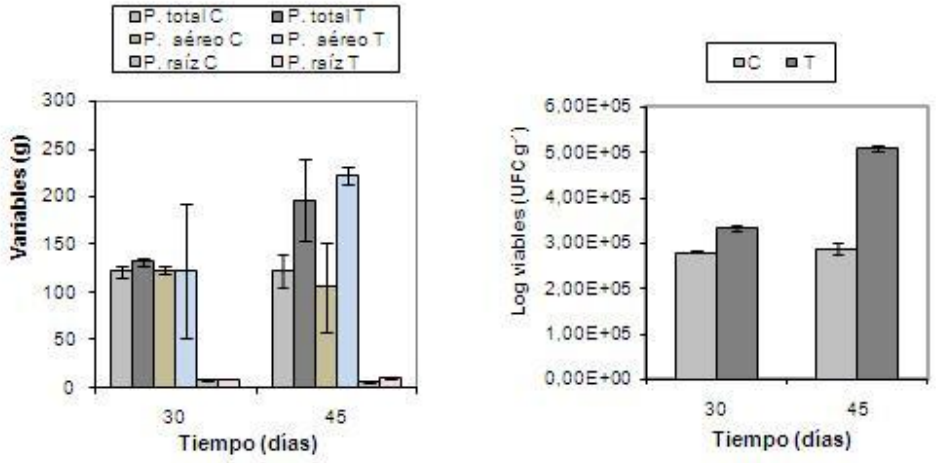
Los resultados obtenidos en las evaluaciones con el inoculante NITROFIX mostraron una respuesta estimuladora al aplicar el producto en el tratamiento de semillas de caña en todas las variedades empleadas. Estos resultados fueron superiores en las variables de respuesta del crecimiento determinadas con respecto al testigo, fundamentalmente para la variedad C86 -12. Ello se ilustra en las figura 3, las mayores poblaciones endófitas fueron obtenidas a los 45 días de la siembra del cultivo, observándose raíces con una estructura muy ramificada y un aumento considerable de longitud respecto a las semillas no tratadas con el inoculante.

A (10 días) **B (45 días)**

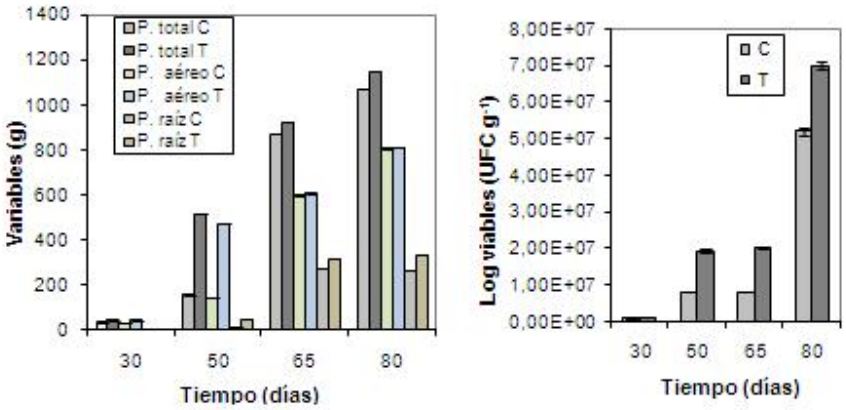
Figuras 3. Respuesta de la semilla de caña de azúcar a la inoculación con el biofertilizante NITROFIX

Resultados similares fueron obtenidos por diferentes autores Pérez (2005), en experimentos realizados in vitro para evaluar el efecto de cuatro cepas de *Azospirillum* sobre vitroplantas de caña de azúcar de las variedades comerciales Ja 60-5 y C 120-78 en fase de enraizamiento, en comparación con el control sin inocular. En estas experiencias de manera general se demostró que la inoculación con las cepas de *Azospirillum* favoreció el crecimiento de las plantas de caña de azúcar, con incrementos en los pesos seco, fresco del sistema radical y tamaño y volumen radical del las plantas. Además las poblaciones de *Azospirillum* sp. en la rizosfera de la caña de azúcar muestran concentraciones significativas de estas bacterias en las experiencias realizadas (datos no mostrados).

Por otro lado, los experimentos en campo mostraron resultados muy favorables al aplicar este inoculante en retoños y sistema radical de plántulas de cepellones del cultivo de maíz y lechuga respectivamente. Estos resultados se muestran en las figuras (4-5) y (6-7). Como puede apreciarse se obtuvo una respuesta significativa a la inoculación en los parámetros agronómicos, se muestra un incremento significativo en la población endófita de las raíces inoculadas con relación a las sin inocular. También se verifica un aumento en el peso aéreo y total de las plantas tratadas, así como un incremento de los rendimientos de 23,79 % con respecto al testigo para el cultivo de lechuga y de 13 % para el cultivo de maíz.



Figuras (4- 5). Respuesta del cultivo de lechuga al tratamiento con biofertilizante NITROFIX



Figuras (6- 7). Respuesta del cultivo de maíz al tratamiento con el biofertilizante NITROFIX

De forma general el biofertilizante NITOFIX , base *Azospirillum* sp. puede ser utilizado para casi todos los cultivos tropicales, utilizando diferentes tecnologías de aplicación, asperjadas, enterradas e impregnación en semilla y en esquejes. La mayor aplicación se reporta en tratamientos de semillas, con diferentes dosis de aplicación, de acuerdo a cada cultivo específico, pero generalmente se provee una concentración de alrededor a 2 x 10^6 bacterias por semilla. Ferlini y otros (2004) Dobbelaere y otros (2005). Se plantea además que el efecto promotor del crecimiento se ejerce incluso con bajas concentraciones bacterianas y que el establecimiento inicial en la semilla por adhesión a ella, juega un papel más importante que la persistencia en el suelo del inóculo. Mantelin y otros (2004)

La aplicación en campo es más compleja debido a que la respuesta de los cultivos varía considerablemente, dependiendo de diferentes factores entre los cuales destacan: el microorganismo (la bacteria), especie vegetal, tipo de suelo, densidad de inoculante, competitividad con otros microorganismos autóctonos del suelo y las condiciones medio ambientales.

Para la aplicación en campo del NITROFIX en cultivo cañero, se sugiere utilizar tecnología enterrada, es mas económica y existe una mayor probabilidad de que las células de *Azospirillum* sp, colonicen las raíces del cultivo, a pesar de que, en las evaluaciones realizadas comparando tecnología asperjada y enterrada no se obtuvieron diferencias significativas. Oliva y otros (2010), Arcias y otros (2011)

Conclusiones

1. El escalado de la producción del biofertilizate NITROFIX resultó satisfactorio, utilizando como estrategia el criterio de agitación Pg/V y para la aireación Na constante, las condiciones de operación calculadas, agitación de 119 rev/min y aireación de 0.7 vvm para 1000 litros y agitación de 102 rev/min y aireación de 1.42 vvm para 5000 litros, evidenciaron un buen crecimiento de *Azopirillum* sp ($8x10^9$ y $1x10^{10}$ UFC mL^{-1}) y velocidades de crecimiento de 0.55 h^{-1} y 0.46 h^{-1} respectivamente, definiéndose que la cepa de *Azospirillum* sp. 8 INICA ha respondido de forma eficiente al escalado hasta estos niveles de fermentación, produciéndose bajo estas condiciones 65 000 litros del biofertilizante.

2. La evaluación del NITROFIX en semilla de caña evidenció estimulación en la velocidad de germinación, en los primeros 35 días, para los cultivares C 86-12 y C 323-68 respectivamente.

3. La aplicación del NITROFIX en plántulas de cepellones del cultivo de maíz y lechuga demostraron una respuesta significativa en diferentes parámetros agronómicos, lográndose incrementos significativos del rendimiento de 23,79 % para el cultivo de lechuga y de 13% para el cultivo de maíz.

Referencias

1. Aiba, S., Humprey, A.E. y Millis, N.F. (1973). Biochemical Engineering. 2da. Edición. Academic Press. New York. EUA
2. Arcia, J y otros (2011). Informe final proyecto MINAZ
3. Caballero M. J. (2006). Academia Mexicana de Ciencias Noticia AMC/24/06. México, D.F.
4. Dalla-Santa, O.R., Fernández, R., Michelena, G.L., Ronzelli, P. y Soccol, C.R. (2004). Brazilian Archives Biol Biotechnol 47, 843-850.
5. Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y. y Vanderleyden, J. (2002). Biology and Fertility of Soils 36, 284-297.
6. Einsele, A. (1976). En V Simposio Internacional de Fermentación, Berlín. Alemania.
7. Ferlini, H., Shirley C., Traut, C. (2005). Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Cientificas y Tecnológicas.
8. Fernández, L., Ortega, E., Grimm, B. y Hainezal, M.R. (2006). Taller de biofertilización de los Trópicos. Congreso Científico del INCA. La Habana. Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 959-7023-27-X.
9. Fernández, Ramona. (1999). Tesis en opción al título de Master en Ciencias Microbiológicas. Universidad de la Habana.
10. Hernández, A., Acebedo, Y., Diallo, B., Jazin, M., Álvarez, M. y Heydrich, M. (2006). III Simposio internacional sobre caracterización y manejo de microorganismos rizosféricos y VIII Taller de Biofertilización de los Trópicos. Congreso Científico del INCA. La Habana. Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 959-7023-27-X.
11. Mantelin, S. y Touraine, B. (2004). Experim Botany, 55, 27-34
12. Okon, Y. y Vanderleyden, J. (1997). ASM News 63, 366-370.
13. Oliva, L. y otros. (2011). Informe final de proyecto MINAZ

14. Pérez J., Casa M. (2005). Cultivos Tropicales. Vol 26, No. 5, p. 13-19.
15. Puente, M., García, J., Perticari, A. (2007) Memorias de XXIII Reunión Latinomericana de Rhizobiología y Primer Workshop sobre Biofertilizaciones en Iberoamérica. Córdoba. p. 115.
16. Rodríguez, I., Pineda, E., Más, E., Becerra, E., Acosta, F., Quintana, J. M. y Morder, R. (2006).Congreso Científico del INCA. La Habana. Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 959-7023-27-X.
17. Roldós, J. E., Casas, M., Delgado, A. y Pérez, J. (1994). Reunión Iberoamericana ATCC 29145. J. Bacterial. 189. pp. 1670-1677.
18. San Juan, A.N. (2012). Informe Final de Proyecto MINAZ.
19. Somers, E., Ptacek, D., Gysegom, P., Srinivasan, M. y Vanderleyden, J. (2005). Appl Environm Microbiol, 71 (4). pp. 1803-1810
20. Saura, G. y Fernández, R. (2003). www.fiago.org.sv. Rev. 5/11/2006.
21. Quintero, R. (1993). Ingeniería Bioquímica. Teoría y Aplicaciones. Alhambra Mexicana. pp. 97-113. México D.F. México

SUBCLONAJE DEL GEN *dsrF* EN UN VECTOR DE INTEGRACIÓN CROMOSOMAL PARA GRAM NEGATIVOS
SUBCLONING of *dsrF* GENE IN A VECTOR FOR GRAM NEGATIVE CHROMOSOMAL INTEGRATION

Autores: Roberto Carlos Arísticas Ribalta, Reinaldo Fraga Vidal, Lisandra Martínez Valdés y Silvia Mato

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
Subdirección: Bioproductos
roberto.aristicas@icidca.edu.cu

Resumen:

Los polímeros de dextrana coproducidos durante la fermentación de cepas del género *Leuconostoc* sp. pueden asociarse con la dextranasacarasa secretada al medio extracelular, interfiriendo en la purificación y recuperación de la enzima significativamente. La dextranasacarasa truncada DSR-F-ΔSP-ΔGBD, al igual que DSR-F cataliza la síntesis de un polímero o glucano de alto peso molecular (dextrana) y, de oligosacáridos de peso molecular bajo utilizando la D-glucosa de la sacarosa. Una alternativa para producir dextranasacarasas libres de dextrana es la expresión heteróloga en *Escherichia coli*, *Bacillus megaterium*, y *Lactococcus lactis*. No obstante, el nivel de la expresión en los sistemas heterólogos no ha sido todavía suficiente. El mencionado gen fue subclonado en un transposón derivado de los mini-Tn*5*, este elemento integrativo es portado por el vector de liberación suicida pJMT6. La funcionalidad de la construcción obtenida se comprobó por medio de un ensayo histoquímico y por zimografía a partir de la expresión de *dsrF*-ΔSP-ΔGBD en *Escherichia coli* CC118λpir. Niveles de 0.23 UI mL^{-1} de actividad enzimática dextranasacarasa se detectaron en la fracción soluble del extracto crudo lisado.

Palabras claves: Dextranasacarasa, dextrana, *Leuconostoc*. Dextransucrase, dextran, *Leuconostoc*

Abstract:

Dextran polymers coproduced during the fermentation of *Leuconostoc* sp. strains can be associated with the secreted dextransucrase to the extracellular environment, interfering in the purification and recovery of the enzyme significantly. The truncated DSR-F-ΔSP-ΔGBD, like DSR-F catalyzes the synthesis of a polymer or a high molecular weight glucan (dextran) and low molecular weight oligosaccharides using D-glucose of sucrose. An alternative for producing dextransucrases free of dextran is heterologous expression in *Escherichia coli*, *Bacillus megaterium*, and *Lactococcus lactis*. However, the level of expression in heterologous systems has not yet been sufficient. The aforementioned gene was subcloned into a derivative of the transposon mini-Tn*5*, this element was carried by the integrative vector pJMT6 suicide release. The functionality of the construct obtained was verified by means of a histochemical assay and zymography from DSR-F-ΔSP-ΔGBD expression in *Escherichia coli* CC118λpir. Levels of 0.23 IU mL^{-1} of dextransucrase enzymatic activity were detected in the soluble fraction of crude extract lysed.

INTRODUCCIÓN

La dextranasacarasa (DS) DsrF (EC 2.4.1.5) pertenece a la familia 70 de las glucósido-hidrolasas, es una enzima asociada a la célula y es producida por la bacteria Gram positiva *Leuconostoc citreum* B/110-1-2 Fraga *y otros* (2011a). La variante truncada DsrF-ΔSP-ΔGBD, al igual que DsrF cataliza la síntesis de polímero o dextrano de alto peso molecular utilizando la D-glucosa de la sacarosa. Si se agregan aceptadores eficientes como maltosa o isomaltosa a la reacción, cataliza la síntesis de oligosacáridos de peso molecular bajo y en una magnitud menor el polímero Fraga *y otros* (2011b). El dextrano lineal tiene múltiples aplicaciones tanto en la industria como en el campo de la salud. Un ejemplo de ello es el polímero producido por *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-512F (ATCC 10830A) utilizado como sustituto del plasma sanguíneo debido a sus características estructurales. Este homopolímero encuentra su mayor interés en la producción de derivados clínicos como es el sulfato de dextrana: en estudio por su posible función como inhibidor del VIH-1 y sus propiedades anticoagulantes. La hierro-dextrana es de los derivados de uso más extendido por su utilización como antianémico Naessens *y otros* (2005). La expresión de DS es normalmente inducida en medios de cultivo ricos en sacarosa. Sin embargo, los polímeros coproducidos durante el proceso de fermentación pueden asociarse con la dextranasacarasa del medio extracelular, lo que interfiere significativamente en los sucesivos procedimientos de purificación de la enzima y disminuye el rendimiento en la recuperación de la misma.

Hasta la actualidad se han probado, aunque sin mucho éxito, una variedad de técnicas para resolver este problema en la producción y purificación de DS Majumder *y otros*(2007). La expresión heteróloga se ha usado como alternativa para producir DS libres de dextrana en *Escherichia coli, Bacillus megaterium* y *Lactococcus lactis* Neubauer *y otros* (2003), no obstante, el nivel de la expresión en los sistemas heterólogos no ha sido todavía suficiente. Para estimular la aplicación industrial de DS, su productividad debe ser mejorada por ingeniería genética avanzada o tecnologías de fermentación. Las características específicas de las aplicaciones biotecnológicas abiertas requieren del uso de vectores con propiedades particulares que incluyen: estabilidad sin presión selectiva, carga metabólica mínima, talla pequeña, marcadores de selección no-antibióticos y mínima transferencia horizontal de los genes clonados a los organismos indígenas. Los primeros intentos de construir bacterias recombinantes para usos medioambientales sin el uso de vectores plasmídicos involucró el uso de transposones naturales Falt *y otros* (1996). En este estudio se empleó el transposón mini-Tn*5*TelK^r, que tiene como plásmido de liberación suicida al vector pJMT6, el cual deriva del sistema pUT Herrero y De Lorenzo(1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepas, medios y condiciones de cultivo

Tabla I. Cepas utilizadas en este estudio

Cepas	**Características relevantes**	**Referencia**
Escherichia coli CC118λ*pir*	Δ(*ara-leu*) *araD* Δ*lacX74 phoA thi-1 rpsE rpoB* lisogenizada con el fago λpir (Rf^r) (Sp^r).	Herrero *y otros* (1990)
Escherichia coli CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*	Similar a *E. coli* CC118λ*pir*, pero porta el vector pUT/mini-Tn*5dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His.*	Este estudio

Detección cualitativa de la actividad dextranasacarasa por medio de un ensayo histoquímico

Para la selección visual de los transformantes de *E. coli* CC118λ*pir* portadores de la construcción recombinante pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* fue empleado el medio sólido LB preparado con 100 mM Tris-HCl, pH 6,4 (LBT) Monchois *y otros* (1998). El LBT fue suplementado con glicerol al 1 %, sacarosa al 5 %, el indicador de pH bromotimol azul al 0,005 % y ampicilina 100 µg/mL. Se añadió el inductor 4 mM isopropil-β-D-tiogalactósido (IPTG). Este sistema de detección histoquímico es una modificación introducida al descrito por Abo *y otros* (1991).

Materiales y técnicas de biología molecular

La manipulación del ADN como (cortes con endonucleasas de restricción, reacciones de desfosforilación y de ligazón, y purificación de plásmidos por el método de lisis alcalina) se realizaron básicamente según los métodos descritos por Sambrook *y otros* (1989), utilizando enzimas de la casa comercial New England Biolabs y siguiendo las instrucciones del fabricante. La preparación y transformación de las células competentes de *E. coli* se realizó según el método del $CaCl_2$ descrito por Hanahan (1983).

Tabla II. Plásmidos empleados en este estudio.

Plásmidos	**Características relevantes**	**Referencia**
pSE380+*dsrF*-ΔSP-ΔGBD	Vector para la de expresión en *E. coli* portando el gen *dsrF*-ΔSP-ΔGBD	Fraga *y otros*, (2011a)
pJMT6	Ap^r, pUT/mini-Tn*5* $TelK^r$ (8387 pb). Vector de liberación suicida	Sánchez *y otros* (1998)
pUT/mini-Tn*5dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*	Ap^r, obtenido a partir del pJMT6 con el casete de expresión P*trc*-lacO-*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* insertado en el sitio *Not*I(12.823 kb).	Este estudio

Separación, visualización y purificación de moléculas de ADN a partir de geles de agarosa

La separación de ADN se realizó mediante electroforesis en geles de agarosa al 0,8 %. Los geles fueron teñidos con bromuro de etidio 0,5 µg/mL durante 15 min y observados en un transluminador que emite luz UV de 302 nm (Macrovue LKB 2011). Como marcadores de peso molecular se utilizó el Quick-Load™ 2-Log DNA Ladder (0,1-10 Kb) (New England Biolabs). Para extraer y purificar fragmentos de ADN a partir de geles preparativos de agarosa al 0,8 % se empleó el kit QIAEX II Gel Extraction de la casa comercial QIAGEN, se procedió de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Amplificación por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) del casete de expresión P*tcr*-lacO-*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*

Se amplificó una variante truncada activa del gen *dsrF* (*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD*) empleando el Expand High Fidelity PCR System (Roche Molecular Biochemicals) (Figura 1). El promotor P*tcr* y el Operador lacO se

amplificaron a partir del vector pSE380+*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD* para construir una fusión transcripcional. Los cebadores específicos fueron diseñados a partir de la secuencia del pSE380+*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD* Fraga *y otros* (2011), y fueron flanqueados por sitios de restricción *Not*I en los extremos 5´ y 3´, también fue incluido en el extremo 3´ del cebador reverso 6 tripletes codificantes de 6 residuos de histidina (6X-His). Para el diseño de los cebadores se empleó el programa bioinformático Vector NTI 10 (Invitrogen), la secuencia de los mismos se muestra en la Tabla III. La purificación de los productos de la PCR a partir de los geles preparativos de agarosa se realizó usando el QIAquick kit (Qiagen). Lo cebadores empleados fueron sintetizados por la Unidad de síntesis y secuenciación del Instituto de Biotecnología de Cuernavaca de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Las condiciones de la PCR fueron: 10 µM de cebador directo y de cebador reverso, 200 µM de cada deoxynucleosido trifosfato, 5 µL del Expand High Fidelity tampon 10X concentrado, con 15 mM de $MgCl_2$ en un volúmen total de reacción de 50 µL. El ciclaje térmico fue: 1 ciclo 94 °C por 2 min, 10 ciclos de 94 °C por 15 seg, 60 °C por 30 seg, 68 °C por 10 min, 20 ciclos de 94 °C por 15 seg, 65 °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 III. Cebadores utilizados

Cebadores	**Secuencia (5'- 3')**
DSRF6HisFW	ACCGCGGCCGCTGTTGACAATTAATC
DSRF6HisRV	TAAGCGGCCGCTTAGTGGTGGTGGTGGTGGTGG

Subclonaje del casete de expresión P*tcr*-lacO-*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* en pUT/mini-Tn*5* TelK^r

El vector de liberación suicida pUT/mini-Tn*5*TelK^r y el casete de expresión P*trc*-lacO-*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* fueron digeridos con la enzima de restricción *Not*I (New EnglandBiolabs). Para la desfosforilación del vector pUT/mini-Tn*5* TelK^r se utilizó una fosfatasa alcalina (Roche Molecular Biochemicals). La purificación del amplicón digerido con *Not*I y del vector digerido con *Not*I y defosforilado se realizó a partir de geles preparativos de agarosa con el QIAEX II Gel Extraction kit (Qiagen). Se realizó una reacción de ligazón usando la enzima T4 ADN ligasa (New EnglandBiolabs) entre el casete de expresión P*trc*-lacO-*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* y el vector pUT/mini-Tn*5* TelK^r. La construcción resultante fue nombrada pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD6X-His* (Figura 1) con una talla de apróximadamente 12.823 kb. El mini transposón también porta un casete de resistencia al telurio como marcador de selección corriente abajo de la secuencia de *dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD6X-His*.

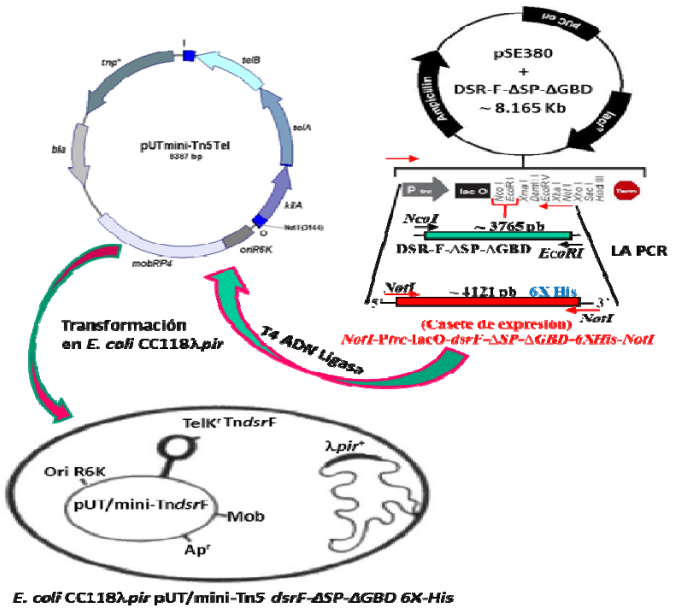


Figura 1. Representación de la estrategia general del subclonaje empleada en este estudio

Transformación del pUT/mini-Tn*5 dsrF-ΔSP-ΔGBD6X-His* en *E. coli* CC118λpir

La transformación en *E. coli* CC118λpir se realizó mediante el protocolo descrito por Sambrook y *otros* (1989). La selección de los transformantes se realizó en LB+Amp y para la purificación de los plásmidos recombinantes se usó el QIAPrep Spin Procedure (Qiagen). Se realizaron digestiones simples y dobles con varias enzimas de restricción con vista a corroborar la presencia del casete de expresión.

Condiciones de expresión de DsrF-ΔSP-ΔGBD 6X-His en el transformante *E. coli* CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF-ΔSP-ΔGBD 6X-His*

Una colonia del transformante se sembró en 5 mL de LB+Ap 100 µg/mL y se incubó a 30°C, 175 rpm durante 18 h. Se inoculó en matraces de 500 mL con 50 mL de LBT+Ap 100 µg/mL y se incubó hasta que la D.O. 600_{nm} alcanzara valores entre 0,4-0,7. Se le adicionó al medio 4 mM IPTG y se incubó a 18 °Ca 175 rpm entre12-14 h. Al final del proceso se le determinó el valor de la $D.O._{600nm}$. Las células fueron concentradas por centrifugación a 21 390 x *g* durante 20 min, el sobrenadante fue desechado y el precipitado celular fue resuspendido en el tampón de ruptura [Acetato de Sodio20 mM + Tritón X-100 0,1% + $CaCl_2$ 0,05 g/L + Coctel de inhibidores de proteasas] en un volumen hasta alcanzar una $D.O._{600nm}$ de 80.
La lisis celular se realizó mediante ultrasonido (Disruptor Inglaterra MSP). La muestra se expuso a siete ciclos de 1 min, a una amplitud constante de 28 microns, entre ciclos se dejó 1 min en reposo. Siempre la muestra se mantuvo en hielo. El extracto lisado se centrifugó a 21 390 x *g* durante 40 min, y fue recuperada la fracción soluble e insoluble. Las muestras se conservaron a -20 °C hasta ser empleadas en otros análisis.

Cuantificación de la actividad dextranasacarasa en las fracciones solubles e insolubles de los extractos celulares lisados de *E. coli* CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*

Las reacciones enzimáticas se ensayaron bajo condiciones estándar a 30 °C, en tampón acetato de sodio 20 mM (pH 5,4), 0,05 g/L de $CaCl_2$, 1 g/L de $NaNO_3$ y 100 g/L de sacarosa. La actividad fue determinada detectando los niveles de azucares reductores liberados a partir de la sacarosa con el método del ácido dinitro salicílico (DNS), Sumner y Howell (1935). Se definió como 1 UI la cantidad de enzima que cataliza la liberación de 1 μmol/min de fructosa. Los valores de actividad enzimática representan el valor promedio con su respectiva desviación estándar obtenido a partir de determinaciones realizadas por triplicado.

Zimograma de dextranasacarasas

Se realizó una electroforesis en gel de poliacrilamida bajo condiciones parcialmente desnaturalizantes (SDS-PAGE) al 8 %, según el método de Laemmli (1970). La detección de la actividad dextranasacarasa se realizó según la técnica descrita por Miller y Robyt (1986). Se realizaron cuatro lavados con 50 mL del tampón de renaturalización [Acetato de Sodio 20 mM+ Tritón X-100 0,1% + $CaCl_2$ 0,05 g/L] de 20 min cada uno (c/u), al cuarto se le adicionó sacarosa (100 g/L) y se dejó estático a temperatura ambiente durante 48 h.
Posteriormente se lavó con etanol (75%) 30 min, con [Ácido acético 0,5 % + Ácido periódico 0,7 %] 1 h, tres lavados con [Ácido acético 0,5 % + Meta-bisulfito de Sodio 0,2 %] de 20 min c/u, se cambió por [Ácido acético 0,5 % + Meta-bisulfito de Sodio 0,5 %] y se le añadió 20 gotas del reactivo de Schiff. La actividad dextranasacarasa se visualiza por la presencia de bandas rosadas intensas debido a la formación de polímero en el gel. El peso molecular se determinó comparando el Rf de las proteínas de la muestra con el marcador de peso molecular Color Burst™ (Sigma) que comprende un rango de peso molecular de 8 a 220 kDa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Subclonaje del casete (P*trc*-lacO-*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*) en el pUTmini-Tn*5* TelK^r (pJMT6)

El vector pJMT6 ha sido empleado previamente por de Lorenzo *y otros* (1998) para modificar genéticamente la cepa *Pseudomonas putida* KT2442 a través de la integración al azar del mini transposón mini-Tn*5* TelK^r en el cromosoma. La estrategia del subclonaje fue descrita en Materiales y Métodos. El promotor P*trc* o P*tac* ha sido empleado exitosamente en sistemas de vectores de amplio rango de hospedero para la expresión de genes heterólogos en Pseudomonas Dammeyer *y otros* (2011). El P*trc* es una fusión de los promotores *lac* y *trp*, y se ha demostrado que expresa altos niveles de proteínas Jeong y Lee (2001). Es inducible por IPTG y metabólicamente a altas concentraciones celulares Mayer *y otros* (2004).

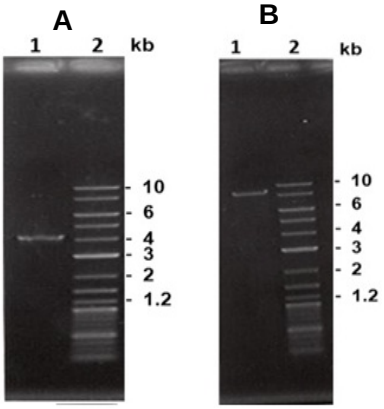


Figura 2. (2A) purificación del amplicón (P*trc*-lacO-DSR-F-ΔSP-ΔGBD-6XHis)/*Not*I y **(2B)** vector pJMT6/ *Not* I y desfosforilado.Carriles 2A y 2B- Quick Load 2-Log DNA ladder (MBI Fermentas), 1A- amplicón P*trc*-lacO-DSR-F-ΔSP-ΔGBD-6XHis y 1B- Plásmido pJMT6 cortado con *Not*I y desfosforilado.

En la (Figura 2A) se muestra la purificación del casete de expresión digerido con la enzima de restricción *Not*I. Este fragmento tiene una talla de apróximadamente 3896 pb. En la (Figura 2B) se muestra el resultado de la purificación del vector pJMT6 cortado con *Not*I y desfosforilado. Ambos fragmentos de ADN fueron sometidos a una reacción de ligazón y posteriormente el producto de la misma fue transformado en la cepa de *E. coli* CC118λpir, empleándose LB+Amp 100 µg/mL como medio selectivo. Se escogieron varios de los clones seleccionados para extraer y purificar sus ADN plasmídicos, y realizar los análisis de restricción con las enzimas *Not*I y *Nco*I para verificar que contenían el gen de interés. A partir de este análisis se seleccionó un transformante, *E. coli* CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*. Este plásmido como puede apreciarse en la (Figura 3.) mostró la talla esperada para la construcción resultante de la unión del vector pJMT6 y el casete de expresión (P*tcr*-lacO-*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*). Se evidencia por la digestión con *Not*I del plásmido pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*, el cual produjo: un fragmento de aproximadamente 8387 pb (pJMT6) y otro de 4121 pb (P*tcr*-lacO-*dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*). Además, la digestión con *Nco*I del plásmido pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* produjo una única banda linealizado con una talla de 12.823 kb. Esto confirmó la presencia de la construcción recombinante inicialmente concebida en el transformante seleccionado.

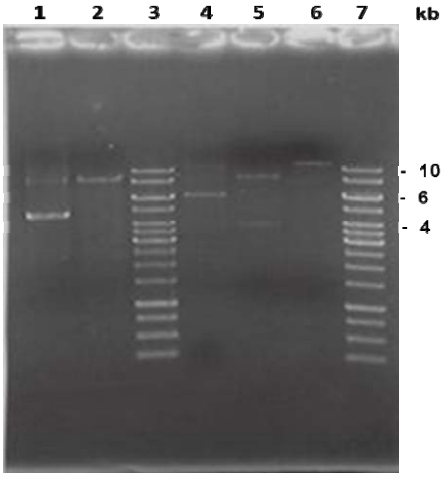


Figura3. Electroforesis en gel de agarosa. Carriles 1- pJMT6 / Sin digerir, 2- pJMT6 / *Not*I, 3 y 7- Quick Load 2-Log DNA ladder (MBI Fermentas), 4- pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* / Sin digerir, 5- pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* / *Not*I y 6- pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* / *Nco*I

El pJMT6 porta los genes *kilA*, *telAB*, estos permiten corroborar los clones positivos a través de la resistencia al telurito de potasio al transformar la cepa de *E. coli* CC118λpir. Esta cepa por sí sola no puede crecer en medios con este compuesto al carecer de los genes antes mencionados Sánchez *y otros* (1998). Al ser transformada no sólo se produce el crecimiento, sino que las colonias muestran un fenotipo característico: adquieren un color negro producto de la reducción del telurito por las células y la formación de telurio metálico insoluble que es de coloración negra Ramos y de Lorenzo (1999), lo que hace a las colonias fácilmente distinguibles. La (Figura 4.) muestra como la cepa crece en presencia de telurito de potasio desarrollando la típica coloración negra de la biomasa, característica de la expresión del fenotipo de resistencia a este compuesto.

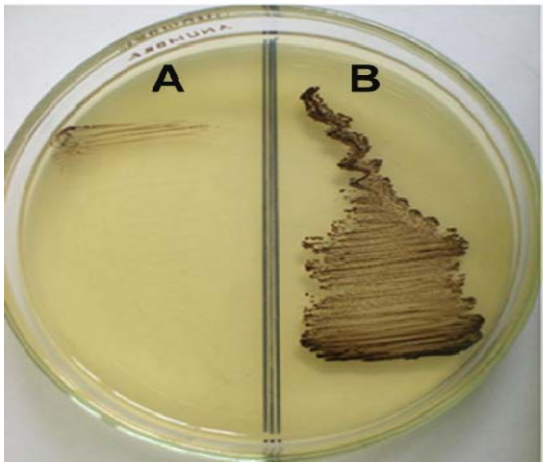


Figura 4. *E. coli* CC118 λpir en LB agar suplementado con telurito de potasio. **A-** *E. coli* CC118λpir y **B-** *E. coli* CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*

Detección cualitativa del fenotipo *dsr*$^+$

El medio LBT antes descrito en Materiales y Métodos se utiliza además para seleccionar clones que expresen genes que codifican para enzimas dextranasacarasas y levanasacarasas. El método se basa en el siguiente principio: *E. coli* carece de enzimas sacarolíticas endógenas, por lo que es un hospedero ideal para la producción recombinante de diversas sacarasas. La coloración inicial de este medio selectivo a pH 6,4 es verde, pero cuando un clon productor de dextranasacarasa crece en dicho medio, el color inicial cambia de verde (pH 6,4-7,0) a anaranjado (pH < 6,0), también cambia la coloración de la colonia, revelando la ocurrencia de una acidificación por el consumo vía glicolítica de la fructosa liberada a partir de la sacarosa. En cambio, las cepas no transformadas y los clones que carecen de actividad sacarasa tornan el medio y la colonia de una coloración azul (pH > 7,5) indicando a liberación de amonio por la oxidación catabólica de los ingredientes del mismo como el extracto de levadura, la triptona y/o la peptona Hernández *y otros* (2002). Este cambio de coloración debido a la alcalinización no pudo ser detectado en nuestras condiciones debido al empleo del tampón 100 mM Tris-HCl pH 6,4 en nuestra modificación del método original. No obstante, el método permite la diferenciación de los clones positivos de los negativos, ya que los primeros forman una colonia gomosa producto de la formación del polímero de dextrana, que las hace fácilmente diferenciables como se puede apreciar en la (Figura 5.). En esta figura se muestra al transformante produciendo dextrana debido a la expresión del gen *dsrF*-ΔSP-ΔGBD. Este método fue empleado exitosamente en el aislamiento y clonaje del gen *dsrF* y de su variante truncada *dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD* por Fraga *y otros* (2011a).

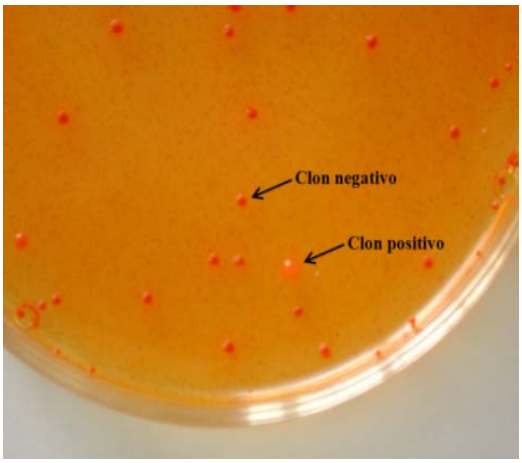


Figura 5. Detección histoquímica cualitativa de la actividad dextranasacarasa producida por el transformante.

Zimograma de DSR-F-ΔSP-ΔGBD en *E. coli* CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His*)

La zimografía es la técnica mediante la cual se revela con un sustrato específico la actividad enzimática en estudio después de una electroforesis.En la (Figura 6.), carril 3 se presenta el resultado de la actividad dextranasacarasa debido a la formación del polímero luego de haber sido renaturalizada en el gel de poliacrilamida. La dextrana formada es detectada por medio de la reacción de Schiff, la cual es específica para azúcares. En este ensayo se obtuvo una banda de aproximadamente 145 kDa (fracción soluble del extracto lisado). El tamaño de esta banda proteica coincide con el peso molecular teórico calculado para la variante truncada de la DSR-F (DSR-F-ΔSP-ΔGBD). Los niveles de actividad enzimática que se detectaron fueron muy bajos (0. 23 UI mL^{-1}) si los comparamos con los obtenidos por Zhang *y otros* (2003) en *E. coli*.
Esto puede estar dado porque el pJMT6 no es un vector de expresión, sino que está diseñado para portar y liberar un transposón derivado del mini-Tn*5* en hospederos Gram negativos Sánchez *y otros* (1998). De hecho su talla es prácticamente el doble (8387 pb) que la de muchos vectores de expresión para *E. coli*, por ejemplo: pSE380 ~4476 pb, pBAD 4.1-4.4 kb, pET 3.6-4.1 k. La talla del vector es un factor determinante en la "carga metabólica" que le puede causar a su hospedero, así como la expresión de genes heterólogos Bentley (2009). En nuestro caso, la construcción pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* tiene 12823 pb y pudiera ser una de las causas que determinan los bajos niveles de actividad detectados. Los resultados hasta aquí mostrados corroboran la obtención de la construcción recombinante que inicialmente nos propusimos, así como la expresión adecuada del gen.

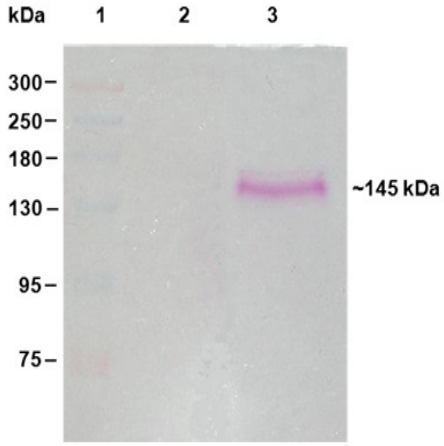


Figura 6. Zimograma para la detección de la actividad dextranasacarasa.Carriles 1- Marcador de peso molecular (Spectra^{TM} Multicolor High Range Protein Ladder, MBI Fermentas), 2- *E. coli* CC118λ*pir* pJMT6 (fracción soluble: control negativo), 3- *E. coli* CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* (fracción soluble del extracto lisado).

CONCLUSIONES

- Se construyó un vector que permite la integración del gen *dsrF*-ΔSP-ΔGBD en el cromosoma de bacterias Gram negativas.

- Se obtuvo la cepa recombinante *E. coli* CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* que porta el gen *dsrF*-ΔSP-ΔGBD.

- La cepa recombinante *E. coli* CC118λ*pir* pUT/mini-Tn*5 dsrF*-Δ*SP*-Δ*GBD 6X-His* expresa el gen *dsrF*-ΔSP-ΔGBD, produciendo la actividad dextranasacarasa en la fracción soluble del extracto celular lisado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-Abo, H. T., Matsumura, T., Kodama, H., Ohta, K., Fukui, K., Kagawa, H. (1991), *J Bacteriol* 173, 989–996.
-Bentley, W. (2009), *Biotechnology and Bioengineering* 5, 102.
-Dammeyer, T., Steinwand, M., Krüger, S. C., Dübel, S., Hust, M., Timmis, K. N. (2011), *Microbial Cell Factories*, 10:11.
-de Lorenzo, V., Herrero, M., Sánchez, J. M., Timmis, K. (1998), *FEMS Microbiology Ecology* 27, 211-224.
-Falt, I., Mills, D., Schweda, E., Timmis, K., Lindberg, A. A. (1996), *Microb Pathogen* 20, 11-30.
-Fraga, R., Martínez, A., Moulis, C., Escalier, P., Morel, S., Remaud-Simeón, M., Monsan, P. (2011b), *J Ind Microbiol Biotechnol* 38, 1499-1503.
-Fraga, R., Moulis, C., Escalier, P., Remaud-Simeón, M., Monsan, P. (2011a), *Curr Microbiol* 62, 1260–1266.
-Hanahan, D. (1983), *J Mol Biol* 166, 557–580.
-Hernández, L., Menéndez, C., Soto, M. (2002), Biotecnología Habana 2002. *Agro-Biotech in the New Millennium ISBN* 959-235-021-3. Elfos Scientiae.

-Herrero, M., de Lorenzo, V., Timmis, K. (1990), *J Bacteriol* 172, 6557-6567.
-Jeong, K. J., Lee, S. Y. (2001), *Protein Expres Purif* 23, 311-318.
-Laemmli, U. K. (1970), *Nature (London)* 227, 680-685.
-Majumder, A., Purama, R. K., Goyal, A. (2007), *Indian J Microbiol* 47, 197-206.
-Mayer, M. R., Dailey, T. A., Baucom, C. M., Supernak, J. L., Grady, M. C., Hawk, H. E., Dailey, H. A. (2004), *J Struct and Functional Genomics* 5, 159-165.
-Miller, A. W., Robyt, J. F (1986), *Anal Biochem* 156, 357–363.
-Monchois, V., Reverte, A., Remaud-Simeon, M., Monsan, P. F., Willemot, R. M. (1998), *Appl Environ Microbiol* 64, 1644–1649.
-Naessens, M., Cerdobbel, A., Soetaert, W., Vandamme, E. J. (2005), *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 80, 845–860.
-Neubauer, H., Bauche, A., Mollet, B. (2003), *Microbiology* 149, 973-982
-Ramos, J. L., de Lorenzo, V. (1999), Marcadores inocuos para el seguimiento de microbios en el medio ambiente. Libro verde de la biotecnología en la agricultura. ¿Ilusión o Realidad? (SEBITO, ed.) I^{ra} Edición Ejemplar Gratuito, Sociedad Española de Biotecnología, C/. Vitruvio, 8-28006 Madrid, pp. 75 – 80.
-Sambrook, J., Fritsch, E. F., Maniatis, T. (1989), Fresh Competent *E. coli* Prepared Using Calcium Chloride. Molecular cloning: a laboratory manual. (2nd ed.) (Nolan, C. ed). Cold Spring Harbor Laboratory Press, N.Y, pp. 1.82-1.84.
-Sánchez, J. M., Díaz, R., de Lorenzo, V. (1998), *Appl Environ Microbiol* 64, 4040-4046
-Sumner, J. S., Howell. (1935), *J Biol Chem* 108, 51–54.
-Zhang, Z., Song, L. P., Fang, M. F., He, D., Zhao, R., Liu, J., Zhou, Z. Y., Yin, C. C., Lin, Q., Huang, H. L. (2003), *Biotechniques* 35, 1032.

CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL LIPÍDICO DEL BIOJAS Y DE LA BIOMASA DEL HONGO *BOTRYODIPLODIA THEOBROMAE*

CHARACTERIZATION OF LIPIDS PROFILE OF BIOJAS AND BIOMASS OF *BOTRYODIPLODIA THEOBROMAE* FUNGUS

Grolamys Castillo[1], Felipe Eng[1], Georgina Michelena[1], Clara Nogueiras[2], José Sánchez Bravo[3] y Manuel Acosta[3].

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba.
E. Mail: grolamys.castillo@icidca.edu.cu
2. Facultad de Química. Universidad de La Habana. Cuba
3. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. España.

RESUMEN

El BIOJAS® es un biofertilizante obtenido a partir de la producción por vía fermentativa del hongo *Botryodiplodia theobromae* con una cepa autóctona, cuyo principio activo es el Acido Jasmónico (AJ), un regulador del crecimiento vegetal con un elevado costo en el mercado mundial. Este producto con marca registrada ha demostrado su factibilidad agronómica, como regulador del crecimiento vegetal y en el control biológico de diferentes microorganismos y plagas. Además, del AJ el producto contiene otros metabolitos que presentan interesantes propiedades bioactivas, entre los que se encuentran los ácidos grasos.
En este trabajo se muestra el estudio realizado para identificar el perfil lipídico presente en el caldo y cuantificar los ácidos grasos presente en la biomasa del hongo. Los análisis se realizaron por Cromatografía Gaseosa (GC) y por Cromatografía Gaseosa acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS). En la composición lipídica encontrada en el caldo, se identificó la presencia de alquenos, aldehídos, alcoholes y parafinas. En la biomasa, los ácidos grasos más abundantes fueron los ácidos palmítico, esteárico, oleico, linoleico y el α-linolénico.

Palabras claves: BIOJAS, *Botryodiplodia theobromae*, GC-MS, GC, biomasa

SUMMARY

BIOJAS is a bio-fertilizer obtain from an autochthonous strain of *Botryodiplodia theobromae* fungus by fermentation way. Jasmonic acid (JA) is a plant growth regulator with a high price in the world market. This bio-product has demonstrated its economical feasibility as plant growth regulator and in the biological control of different microorganism and plagues. This bio-product contains other metabolites besides JA, with interesting bioactive properties such as the fatty acids.

This paper shows the study to identify the lipid profile present in the fermentation broth and quantify the fatty acid composition present in the biomass using Gas Chromatography (GC) and Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC-MS). Alquenes, aldehydes, alcohols and paraffins were identified in the lipid composition of fermentation broth. The major fatty acids present in the biomass are palmitic acid, estearic acid, oleic and linolenic acid.

Key Words: BIOJAS**,** *Botryodiplodia Theobromae,* GC-MS, GC, biomass

INTRODUCCIÓN

El BIOJAS® es un biofertilizante obtenido en el ICIDCA a partir de la producción por vía fermentativa del hongo *Botryodiplodia theobromae* con una cepa autóctona*,* cuyo principio activo es el Acido Jasmónico (AJ), un regulador del crecimiento vegetal con un elevado costo en el mercado mundial. Este bioproducto con marca registrada ha demostrado su factibilidad agronómica, como regulador del crecimiento vegetal y en el control biológico de diferentes microorganismos y plagas. Su aplicación en diferentes cultivos agrícolas ha permitido mejorar los rendimientos de los mismos, así como la reducción del uso de plaguicidas por la activación de los sistemas defensivos de las plantas según Vivanco y col. (2005).

El ácido jasmónico (AJ) es una hormona vegetal, que es sintetizada de manera natural por una gran variedad de especies vegetales, la cual es esencial para numerosos procesos fisiológicos y de desarrollo entre las plantas, entre los que destacan la respuesta frente al daño mecánico y la defensa frente a insectos fitopatógenos y patógenos necrotrofos según informa Thomma (2001). Se aisló en 1971 a partir de sobrenadantes de cultivo del hongo *Botryodiplodia theobromae,* también conocido como *Lasiodiplodia theobromae* y fue identificado como un potente inhibidor del crecimiento y senescencia de las plantas. Además, puede obtenerse como metabolito secundario del cultivo líquido de este hongo, con rendimientos satisfactorios según Aldridge (1971).

La producción de AJ a partir de hongos, por vía fermentativa, ha emergido como una alternativa promisoria para solucionar el problema de los altos costos de la producción comercial, a partir de la extracción de flores de jazmín y té, donde se encuentra en concentraciones de trazas según plantean Dhanhukia y Thakkaar **(**2007).

Además del AJ, el BIOJAS contiene otros metabolitos que presentan interesantes propiedades bioactivas, entre los que se encuentran los ácidos grasos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar el perfil lipídico presente en el caldo y cuantificar el contenido de ácidos grasos presente en la biomasa, utilizando los métodos de Cromatografía Gaseosa (CG) y Cromatografía Gaseosa acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Microorganismo:
Las muestras analizadas proceden de biopreparados libres de células, obtenido por fermentación en cultivo estático, utilizando la cepa autóctona 2434 registrada en la Colección de Cultivos del ICIDCA como *Botryodiplodia theobromae*, la cual fue conservado en tubos inclinados con extracto de malta-agar (Merck) a 4 ^{0}C.

Fermentación:

Se utilizó el medio de cultivo presentado por Miersch y col. (1987) modificado con la adicción de extracto de levadura, el cual se ajustó a un pH 5.5. Se inocularon 10 fragmentos del micelio de 8 mm de diámetro obtenidos a partir de siembras realizadas en placas petri, en erlenmeyers de 500 ml con 100 ml de medio de cultivo Miersch utilizado como preinóculo y se incubó a 30°C durante 12 días.

Preparación de muestra para el caldo fermentado:

Se empleó un caldo fermentado concentrado, el cual se sometió al proceso de extracción líquido-líquido con n-hexano por 3 veces de forma consecutiva. El extracto resultante se rotoevaporó hasta sequedad en un evaporador rotatorio a 40 °C.

Condiciones Cromatográficas para identificar el perfil lipídico por GC-MS en el caldo

Los análisis se realizaron en un cromatógrafo gas-líquido (*Hewlett Packard*) equipado con una columna capilar HP-5MS 5% Phenyl Methyl Siloxane (30 m x 0,25 mm de d.i), detector de ionización de llama y se compararon las masas de las sustancias utilizando varias bases de datos: El tiempo de corrida fue de 60 minutos, y la temperatura inicial y final del horno de 60 °C y 325 °C, respectivamente. El volumen de inyección es de 0.2 μL. La temperatura de inyección fue de 250°C, la temperatura del detector fue de 300°C y los flujos del gas portador (nitrógeno), hidrógeno y de aire fueron de: 30, 30 y 400 $mL.min^{-1}$, respectivamente.

Preparación de muestra para la biomasa:

La determinación del contenido de ácidos grasos se realizó según el protocolo Bligh y Dyer según Jackson y col. (1998) que se basa en la extracción de estos compuestos con una mezcla de ácido acético, cloroformo y metanol a partir de la biomasa previamente macerada con nitrógeno líquido. La fracción orgánica se evaporó a sequedad bajo nitrógeno líquido y los ácidos grasos se esterificaron con una mezcla de metanol: tolueno: H_2SO_4 (88:10:2) a 80 °C por 1 hora y finalmente se extrajeron con n-hexano.

Condiciones Cromatográficas para la determinación de ácidos grasos por GC en la biomasa

Los análisis se realizaron en un cromatógrafo gas-líquido (*Hewlett Packard*) equipado con una columna capilar de sílica fundida apolar (20 m x 0,2 mm de diámetro interno), detector de ionización de llama y un programa informático que permitió la detección de los ácidos grasos de acuerdo a los tiempos de retención comparados con los patrones disponibles, y la cuantificación relativa de los picos en base al área de los picos separados y una curva de calibración de los patrones de concentración conocida. El tiempo de corrida fue de 38 minutos, y la temperatura inicial y final del horno de 170°C y 300°C, respectivamente. Esta última se alcanzó en 26 minutos luego de la inyección de la muestra, por lo que la velocidad del calentamiento fue de 5 $°C.min^{-1}$. La temperatura de inyección fue de 250°C, la temperatura del detector fue de 300°C y los flujos del gas portador (nitrógeno), hidrógeno y de aire fueron de: 30, 30 y 400 $mL.min^{-1}$, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al estudiar el perfil lipídico por GC/MS presente en los extractos de n-hexano del caldo fermentado se identificaron compuestos como alquenos, aldehídos, alcoholes y parafinas, los cuales se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Perfil lipídico por GC-MS en el extracto de n-hexano del caldo

Tiempo de retención (min)	Tipo de compuesto	Identificación
10.96	Alqueno	2 metil- 3-Pentenol
11.74	Alqueno	9-Octadeceno
13.24	ciclopropano	nonil-ciclopropano
14.03	Alcohol	2,4 bis (1,1-dimetiletilfenol
15.80	Alqueno	1-octadeceno
17.57	Aldehído	3-metoxi-5-metilbenzaldehído
18.78	Alcohol	1-Dodecanol
19.59	Aldehído	4-etoxi benzaldehído
22.19	alqueno	1-Trideceno
38.461	Parafina	Heptadecano, Pentadecano, Tetradecano
42.487	Parafina	Hexadecano, Tetradecano
46.423	Parafina	Hexatriacontano
50.377	Parafina	Pentatriacontano, Tetratriacontano
53.156	Parafina	Heneicosano, Tetratriacontano, Docosano
55.256	Parafina	Pentacosane, Hexatriacontano, Tetratetracontano
57.001	Parafina	Hexatriacontano, Tetratriacontano, Pentatriacontano,
58.513	Parafina	Tetratetracontano, Pentatriacontano, Triatetracontano
59.871	Parafina	Tritetracontano, Hexatriacontano,Tetratetracontano

Determinación de la composición de ácidos grasos de la Biomasa por GC

La composición y concentración relativa de los ácidos grasos se ha utilizado con poca frecuencia en la taxonomía de los hongos debido a las mínimas diferencias que se presentan en la composición de estos compuestos. Sin embargo, a partir del empleo de la cromatografía gaseosa capilar combinada con métodos de análisis estadístico multivariado, ensayos de cultivos estandarizados y de extracción de los ácidos grasos de la biomasa fúngica se han podido diferenciar de forma exitosa una gran variedad de hongos filamentosos que incluyen oomicetos, zigomicetos y basiodimicetos según informan van Dyk y col. (1994); Stahl y Klug (1996); da Silva y col. (1998); Guarro y col. (1999). Teniendo en cuenta estos antecedentes se procedió a

realizar el estudio preliminar de la composición de los ácidos grasos de la biomasa fúngica de la cepa 3, para su valoración futura como un posible criterio taxonómico adicional. Este es el primer estudio de este tipo realizado para una cepa del género *Lasiodiplodia.*

La composición relativa de ácidos grasos en la biomasa de cultivo líquido desde el cuarto hasta el decimosegundo día de crecimiento se muestra en la **Tabla II**.

Tabla II. Composición y contenido relativo de ácidos grasos de la biomasa expresados en % (p/p) a diferentes días de cultivo líquido del hongo (días 4, 6, 8 y 12) en medio Miersch modificado.

	Composición relativa de Ácidos Grasos (%)										
Día	**16:0**	**16:1**	**16:2**	**16:3**	**18:0**	**18:1**	**18:2**	**18:3**	**20:0**	**22:0**	**Otros**
4	21,25 ±0,90	0,52 ±0,01	2,26± 0,04^{a}	1,52 ±0,01^{b}	8,46 ±0,01^{a}	23,30 ±1,31^{c}	22,71 ±0,84^{a}	14,22 ±0,53^{c}	0,63 ±0,10^{c}	3,35 ±0,05^{a}	0,23 ± 0,01^{b}
6	21,10 ±0,03	0,82 ±0,07^{a}	1,23 ±0,05^{bc}	1,78 ±0,95^{a}	8,12 ±0,12^{ab}	27,10 ±0,58^{a}	17,26 ±0,82^{c}	13,06 ±0,20^{d}	1,35 ±0,09^{a}	1,67 ±0,07^{b}	0,24± 0,01^{b}
8	16,65 ±0,31	0,76 ±0,37^{a}	2,21 ±1,69^{ab}	1,39 ±0,36^{b}	9,09 ±2,17^{a}	24,84 ±1,03^{bc}	17,01 ±0,46^{c}	15,09 ±0,26^{b}	0,96 ±0,02^{b}	0,86 ±0,03^{c}	0,29± 0,08^{ab}
12	14,47 ±0,02	0,62 ±0,01^{b}	0,47 ±0,04^{c}	1,55 ±0,12^{b}	6,45 ±0,07^{b}	26,28± 0,05^{ab}	21,16 ±0,27^{b}	17,44 ±0,04^{a}	T	0,73 ±0,07^{c}	0,35 ± 0,03^{a}

16:0,+ ácido palmítico; 16:1, ácido palmitoleico; 16:2, ácido hexadecadienoico; 16:3, ácido hexadecatrienoico; 18:0, ácido esteárico; 18:1, ácido oleico; 18:2, ácido linoleico; 18:3, ácido α-linolénico; 20:0, ácido eicosanoico; 22:0, ácido behénico; T: trazas, menos de 0,15%. Se muestran los valores promedio de 3 réplicas ± la desviación estándar. Letras diferentes en una misma columna de la tabla indican que existen diferencias significativas según la Prueba de Tukey (α= 0,05).

Los resultados mostraron que esta cepa produce al menos 10 ácidos grasos de los 21 ácidos grasos detectados en hongos, cantidad que coincide con lo informado para los hongos ascomicetos por da Silva y col. (1998). Se apreció que la longitud de la cadena de los ácidos grasos varió desde 16 hasta 22 átomos de carbono, siendo los más abundantes durante todos los días muestreados los ácidos palmítico (16:0), esteárico (18:0), oleico (18:1), linoleico (18:2) y el ácido α-linolénico (18:3), que representan aproximadamente el 90 % del contenido total de ácidos grasos. De ellos el 70 % aproximadamente son del tipo ácido graso insaturado. El resto mostró valores menores del 5 %; entre éstos se detectaron el ácido hexadecadienoico (16:2), el ácido hexadecatrienoico (16:3) y el ácido palmitoleico (16:1) con valores entre 0,5 y 2,3 %.

Por otro lado, con la edad del cultivo se modificó el contenido relativo de los ácidos grasos. Las variaciones más pronunciadas en la hora final del experimento fueron en el contenido de los ácidos 18:1 y 18:3 que se incrementaron en aproximadamente el 3%; mientras que para los ácidos 16:0, behénico (22:0), hexadecadienoico (16:2), 18:0 y 18:2 sus contenidos disminuyeron, de forma más marcada para los ácidos hexadecanoico (16:2) y behénico (22:0) en aproximadamente el 20 % y en menor proporción para el resto de

estos ácidos grasos en aproximadamente entre el 1,55 y 7 %, siendo el ácido 18:2 el que en menor proporción disminuyó.

Se conoce que estos hongos presentan fundamentalmente una composición de 5 a 10 ácidos grasos y usualmente de 6 a 7 ácidos grasos según Stahl y Klug (1996). Dentro de estos, los ácidos grasos más abundantes que se encontraron fueron: los ácidos 16:0, 18:0, 18:2 y 18:3, lo cual también coincide en general con lo informado por Lösel (1988) y Da Silva y col. (1998) para hongos ascomicetos.

Los ácidos 16:0 y 18:0 fueron los ácidos grasos saturados más abundantes y con una mayor cantidad de ácido 16:0 que de ácido 18:0, lo cual coincide con lo informado de que estos ácidos grasos son los más abundantes para la mayoría de los hongos y levaduras descritos. De los ácidos grasos insaturados, el 18:1 fue más abundante que el ácido palmitoleico (16:1) lo cual usualmente ocurre de esta manera para la mayoría de los hongos y levaduras estudiados. En cuanto a los ácidos grasos poliinsaturados, se detectaron los ácidos hexadecadienoico (16:2) y hexadecatrienoico (16:3) en menor proporción que los ácidos 18:2 y 18:3. Los primeros no son frecuentes en hongos según Dyk y col. (1994).

Se conoce que la edad del cultivo influye en la composición de los ácidos grasos de los hongos según Lösel (1988). En este sentido, los cambios más pronunciados detectados en este trabajo consistieron en la disminución del ácido 16:0 y el incremento del contenido de los ácidos 18.1 y 18:3 en el día doce de crecimiento del hongo. Posiblemente el ácido 16:0 formado se transforma a 18:0 y luego éste fundamentalmente a ácidos 18:1 y 18:3, a semejanza con lo informado por Archer (1999) para las rutas de biosíntesis de los ácidos grasos de los hongos; pues la concentración del ácido 18:2 se mantiene casi constante y la del ácido 18:0 disminuye en 2 % al día 12 de crecimiento del hongo.

CONCLUSIONES

- Se identificó el perfil lipídico presente en los caldos fermentados de BIOJAS, caracterizado por la presencia de alquenos, aldehídos, alcoholes y parafinas.
- Se determinó la composición relativa de ácidos grasos presentes en la biomasa del hongo *Botryodiplodia theobromae*, en la cual predominan los ácidos palmítico, esteárico, oleico, linoleico y el α-linolénico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Aldridge, D.; Gatts, S., Giles, D., Turner, W.B**.** (1971), *J. Chem. Soc. Sec. C.,* 1623-1627.
- Da Silva, M.; Manfio, G.P.; Vanderlei, P.V. (1998), *Rev Microbiol* (São Paulo) 29, 18-22.
- Dhanhukia, P.C. and Thakkaar V.S. (2007), *African J of Biotechnology* 6, 707-712.
- Dyk V.; M.S.; Kock, J.L.; Botha, A. (1994), *World J of Microb & Biotech* 10, 495-504.
- Guarro, J.; Gene, J.; Stchigel, A.M. (1999), *Clinical Microbiological Reviews* 12, 454-500.
- Jackson, F.M.; Fraser, T.C.; Smith, M.A.; Lazarus, C.; Stobart, A.K.; Griffiths, G. (1998), *Eur J Biochem* 252, 513–519.
- Lösel, D.M. (1988) Microbial Lipids vol. 1 (C. Ratledge and S.G. Wilkinson Eds.), Academic Press Ltd., London UK, pp 699-806.
- Miersch, O.; Preiss, A.; Sembdner, G.; Schreiber, K. (1987), *Phytochemistry* 26, 1037-1039.
- Stahl, P.D.; Klug, M.J. (1996), *Appl. and Environ Microbiol.* 62, 4136-4146.
- Thomma B. P. (2001), *Curr. Opin. Immunol*. 13, 63-68.
- Vivanco, J.M.; Cosio, E.; Loyola-Vargas, V.M.; Flores, H. (2005) *Investigación y Ciencia Febrero*, 68-75.

IMPLEMENTACIÓN DE UN BIOENSAYO *IN VITRO* COMO INDICADOR DE CALIDAD DEL BIONUTRIENTE FITOMAS E.

IMPLEMENTATION AN IN VITRO BIOASSAY AS INDICATOR OF BIONUTRIENT FITOMAS E QUALITY

María Elena Díaz de Villegas[1], Grizel Delgado[1], Mauricio Rivas[2], Esmérida Torres[1], Maribel Saura[1]
[1] Dpto. Bioquímica, 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 Habana, Cuba.
[2]Dpto. Matemática Aplicada, 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 Habana
E –mail: mariaelena.diaz@icidca.edu.cu

Resumen

Palabras clave: Bioensayo, bionutriente, semillas de lechuga

Los bioensayos con semillas se emplean para conocer el efecto estimulador de diferentes productos biológicos y para la detección y control de los contaminantes tóxicos ambientales. El presente trabajo, tuvo como objetivo, el diseño de un bioensayo in vitro con semillas de lechuga, para llevar a cabo el seguimiento de la calidad de la producción final del FitoMas E, bionutriente derivado de la industria azucarera producido por el Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), mediante la determinación de los índices de germinación y crecimiento de semillas de lechuga (*Letucca sativa* L.) como planta indicadora. Los efectos significativos de los factores controlables bajo estudio (concentración de FitoMas E, lotes y réplicas de las placas Petri), se determinaron mediante un análisis de varianza simple y multifactorial para las siguientes variables: Porcentaje de Germinación Relativo (PGR), Crecimiento Relativo de Radícula (CRR), Crecimiento Relativo de Hipocotilo (CRH), e índice de germinación (IG). En todos los casos, los mayores valores de germinación relativa y crecimiento, se alcanzan a la concentración de 0,1 mLL^{-1}, con un marcado incremento en el crecimiento del hipocótilo (CRH), que disminuyen a las concentraciones de 2,5 y 5 gL^{-1}, lo que puede explicarse por la existencia del fenómeno hormesis, caracterizada por estimulación a bajas dosis e inhibición con altas dosis. Para un nivel de confianza de $p< 0,05$, los resultados obtenidos indicaron que no hay diferencias significativas entre las placas y los lotes en todas las respuestas analizadas. El método de bioensayo implementado, es rápido, sencillo y confiable.

ABSTRACT

Key words: bioassay, bio nutrient, lettuce seed

Bioassays with seeds are employed to determine the stimulatory effect of different biological products for the detection and control of environmental toxic contaminants. The objective of present paper was the designing an in vitro bioassay with lettuce seeds to carry out monitoring the quality of the final production of FitoMas E, bionutrient derived from the sugar industry produced by Cuban Institute for Research on Sugar Cane by Products (ICIDCA), by determining rates of seed germination and growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) as indicator plant. Significant effect of controllable factors under study (FitoMas E concentration, lots and replicas of Petri dishes), was determined by One-Way and Multifactor ANOVA analysis.

In all cases the highest values of relative germination and growth, reaching a concentration of 0.1 mLL^{-1}, with a marked increase in the growth of hypocotyl (CRH), which decrease at concentration of 2.5 and 5 gL^{-1}, which can be explained by the existence of hormesis phenomenon, characterized by low-dose stimulation and inhibition with high doses. For a confidence level of $p< 0.05$, the results indicate no significant differences between Petri dishes and lots in all responses tested. The bioassay method implemented, is fast, simple and reliable.

INTRODUCCIÓN

La producción de productos biológicos para la agricultura, dentro de los que se encuentran los bionutrientes, requiere la implementación de métodos químicos y biológicos para el control de su calidad, entendida como el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que lo hacen apto para satisfacer las necesidades para lo cual fue creado, Fernández-Larrea (2002).

Los tradicionales métodos químicos, permiten la caracterización de las materias primas y los productos obtenidos; los bioensayos con plantas, complementan estos análisis en la detección y control de los contaminantes tóxicos ambientales por los efectos que ejercen estos productos sobre los organismos estudiados, Navarro (2006), Torres 2003). Estos bioensayos se emplean también como herramienta de valoración de la contaminación del agua, debido a su habilidad para detectar efectos adversos a mezclas complejas de sustancias químicas, Bohórquez y Campos (2007).

La literatura reporta el empleo de bioensayos con semillas para conocer el efecto estimulador de diferentes productos biológicos dado por los indicadores del porcentaje de germinación, índice de vigor, y longitud del hipocotilo y radícula en las plántulas Díaz y otros (2002); Keriko y otros (1995).

Por otra parte, los bioensayos se emplean también para detectar la presencia de metabolitos fitotóxicos en un producto aplicado en la agricultura, lo que puede provocar efectos negativos en las plantas, como ocurre cuando se aplica compost sin un adecuado grado de madurez Zucconi y otros. (1981); Emino y Warman, (2004), los que se deben a diversos factores, entre los cuales se encuentran los contenidos de amonio, ácidos volátiles orgánicos, metales pesados y sales Varnero y otros (2007). Estas sustancias, en elevadas concentraciones, pueden generar efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, inhibiendo la germinación de semillas o el crecimiento de raíces por lo que es altamente riesgosa su utilización en los cultivos.

Diferentes especies modelo se emplean en los bioensayos, entre las que se encuentran: la lechuga (*Lactuca sativa* L.), por la alta sensibilidad de la especie, germinan rápida y uniformemente, bajos costos asociados, no requiere equipamiento sofisticado, alta disponibilidad y los datos obtenidos a partir de la aplicación de esta prueba son en gran medida representativos de los efectos en semillas o plántulas en general, Gariglio y otros (2002); Pennachio y otros (2005); Sobrero y Ronco (2004).

El FitoMas E es un bionutriente derivado de la industria azucarera producido por el Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), de amplia aplicación en la agricultura, ya que propicia un conjunto de efectos determinados en gran medida por el incremento del vigor y la resistencia de los cultivos tratados, lo cual se traduce en incrementos en el rendimiento y calidad de las cosechas, Montano y otros (2007).

El objetivo principal de este trabajo es el diseño de un bioensayo *in vitro* con semillas de lechuga, para llevar a cabo el seguimiento de la calidad de la producción final de FitoMas E, mediante la determinación de los índices de germinación y crecimiento de esta planta indicadora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Lital VAR 2, adquiridas en la Empresa de Aseguramiento a la Agricultura de Ciudad de la Habana

Procedimiento experimental

Se seleccionaron aleatoriamente muestras de tres lotes de producción de FitoMas E planificándose un diseño de experimento factorial 3^2 totalmente aleatorizado con los siguientes factores:

- Concentración de FitoMas E (mL/L) (0,5 , 2,5 , 5)
- Lotes: 1 (No 90040), 2 (No 90060), 3 (No90016)

Se pusieron 20 semillas de lechuga por cada placa Petri, sobre papel de filtro humedecido con 2,5 mL de agua destilada, por triplicado. Las placas se colocan dentro de una bolsa plástica blanca, en incubadora sin iluminación a una temperatura de $27 \pm 2\ ^0$C, durante 3 días, para evitar la pérdida de humedad.

El ensayo se realizó según la metodología descrita por Sobrero y Ronco (2004), con algunas modificaciones.

La reproducibilidad de las distintas condiciones experimentales, se estimó mediante la variabilidad entre las 3 placas Petri sometidas a las mismas condiciones de experimentación.

Efecto en la germinación

Terminado el período de exposición (3 días), se procedió a registrar el número de semillas que germinaron normalmente, considerando como criterio de germinación la aparición visible de la radícula.

Efecto en la elongación de la radícula e hipocótilo

Para facilitar la medición de la radícula e hipocótilo, se procedió a congelar las placas Petri una vez terminada la incubación a una temperatura de $4\ ^0$C, Sobrero y Ronco (2004). Las plántulas con una consistencia blanda, se colocan sobre una placa de vidrio transparente y se fotografían a una altura de la cámara de 32 cm.

Las mediciones de longitud de radícula e hipocótilo, se realizan de forma digital mediante el programa computacional Adobe Photoshop. Versión 8.0.1.

Expresión de los resultados

Los efectos estimuladores o fitotóxicos, se evaluaron mediante los siguientes indicadores: Porcentaje de Germinación Relativo (PGR), Crecimiento Relativo de Radícula (CRR) y Crecimiento Relativo de Hipocótilo (CRH), Índice de Germinación (IG), Tiquia (2000):

Porcentaje de Germinación Relativo (PGR)

$$\textbf{PGR} = \frac{\text{Promedio de semillas germinadas en la muestra}}{\text{Promedio de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

Crecimiento Relativo de Radícula (CRR)

$$\textbf{CRR} = \frac{\text{Promedio largo de radícula en la muestra}}{\text{Promedio largo de radícula en el testigo}} \times 100$$

Crecimiento Relativo de Hipocótilo (CRH)

$$\textbf{CRH} = \frac{\text{Promedio largo de hipocótilo en la muestra}}{\text{Promedio largo de hipocótilo en el testigo}} \times 100$$

Índice de Germinación (IG)

$$\textbf{IG} = \frac{\text{PGR x CCR}}{100}$$

Análisis estadístico

Análisis de Varianza (ANOVA)

Para detectar los efectos significativos de los factores controlables bajo estudio (concentración de FitoMas E, lotes y réplicas de las placas), se realizó el análisis de varianza simple y multifactorial para cada variable observada (PGR, CRR, CRH e IG).

Resultados y discusión

El efecto de las concentraciones de FitoMas E, evaluadas sobre PGR, CRR, CRH, se muestra en la Fig. 1. Las letras diferentes señalan los resultados que manifestaron diferencia estadística, determinada por el Análisis de Varianza Simple (ANOVA) y la Prueba de Múltiples Rangos por LSD para $p< 0,05$.
En todos los casos, los mayores valores de germinación relativa y crecimiento, se alcanzan a la concentración de 0,1 mLL^{-1}, lo que provocó diferencias significativas en todas las respuestas: (PGR, CRR y CRH) analizadas, en relación con las obtenidas en el resto de las concentraciones evaluadas, observándose un significativo incremento en el crecimiento del hipocótilo (CRH), para un máximo cercano a 140 %.
Este efecto de estimulación aunque en menor medida, también se observa a la concentración de 2,5 mLL^{-1}, mientras que a la dosis más alta de 5 mLL^{-1}, se produce un efecto significativo de inhibición tanto de la germinación como del crecimiento.
Los mayores valores alcanzados en el crecimiento relativo del hipocótilo, a la concentración de FitoMas E de 0,1 gL^{-1}, que disminuyen a las concentraciones de 2,5 y 5 gL^{-1}, puede explicarse por la existencia del fenómeno hormesis, que es la relación entre la dosis y la respuesta, caracterizada por estimulación a bajas dosis e inhibición con altas dosis, Calabrese y Baldwin (2003).
La estimulación radicular en bioensayos, ha sido reportada por otros autores, Bohórquez y Campos (2007), también obtuvieron estimulación del crecimiento en dos modelos vegetales cuando utilizaron *Lemna minor* y *Selenastrum capricornutum* en la evaluación de efluentes industriales, atribuyendo este efecto a las altas concentración de nitrógeno y fósforo, los cuales son nutrientes limitantes para muchas plantas, lo cual es aplicable también al bionutriente FitoMas E, con un elevado contenido de nitrógeno (55 gL^{-1}) y de fósforo como P_2O_5 (31 gL^{-1}),. Montano y otros (2007). Bohórquez y Campos (2007), detectaron efectos de estimulación radicular con el bioensayo en *Lactuca sativa* después de exponer las semillas frente a las muestras de agua de diferentes fuentes con elevados contenidos de nitrógeno y fósforo.
En la Fig. 1, también se observa , una influencia significativamente negativa sobre el PGR al aumentar la concentración de FitoMas E a 2.5 y 5 mLL^{-1} , lo cual se hace mas pronunciado en el caso del CRR.
Teniendo en cuenta el efecto estimulador del FitoMas,E sobre el rendimiento de diferentes cultivos, Montano y otros (2007), es conveniente realizar el bioensayo con semillas de lechuga a la concentración a la cual se mantenga este efecto como indicativo de calidad del mismo, expresado principalmente mediante el crecimiento relativo del hipocótilo.

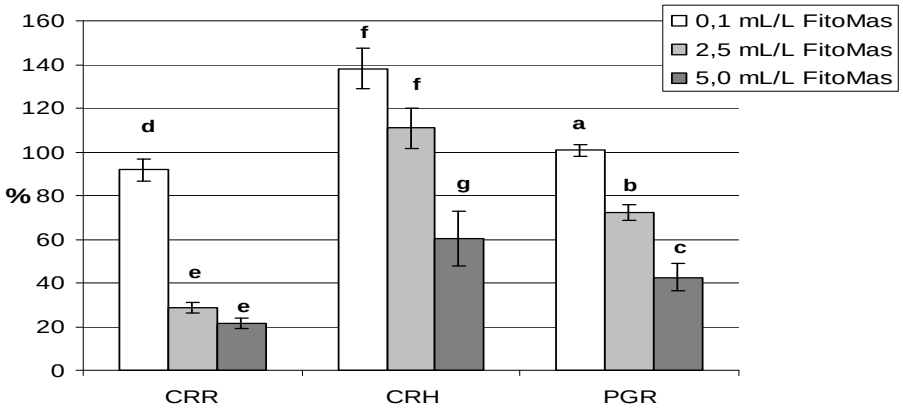


Fig 1. Efecto de las diferentes concentraciones de FitoMas E sobre el Promedio de Germinación Relativo (PGR), el Crecimiento Relativo de Radícula (CRR) y Crecimiento Relativo de Hipocotilo (CRH) de semillas de *Lactuca sativa* L. y los errores estándar. Barras con la misma letra no difieren estadísticamente (p < 0,05).

Para determinar la concentración de FitoMas E, a la que se manifiestan los efectos fitotóxicos, se calculó el Índice de Germinación (IG), que involucra los valores de PGR con los de CRR, Tiquia (2000).
En la Fig. 2 se observa que el IG fue de un 90 % a la concentración de FitoMas E de 0,1 mLL^{-1}, mientras que con las concentraciones de 2,5 y 5 mLL^{-1}, hubo un significativo decremento llegando estos índices a valores menores de 20 %.
Mediante la medición del índice de germinación (IG), se pudo determinar en cuales de las concentraciones de FitoMas E estudiadas, se producen efectos fitotóxicos, ya que algunos autores consideran que el IG es un indicador más completo para describir el potencial fitotóxico de un material orgánico, Varnero y otros (2007), Emino y Warman (2004) Al respecto, Zucconi y otros (1981) plantean que valores de IG ≥ 80% indicarían que no hay sustancias fitotóxicas o que están en muy baja concentración; si el IG ≤ 50% indica una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas y si se obtiene un valor entre 50% y 80% se interpreta como la presencia moderada de estas sustancias.
Teniendo en cuenta este criterio, los resultados obtenidos que se presentan en la Fig. 2, muestran que a la concentración de 0.1 mLL^{-1}, no hay efecto fitotóxico, mientras que las concentraciones de 2,5 y 5 mLL^{-1}, presentan un alto nivel de fitotoxicidad.

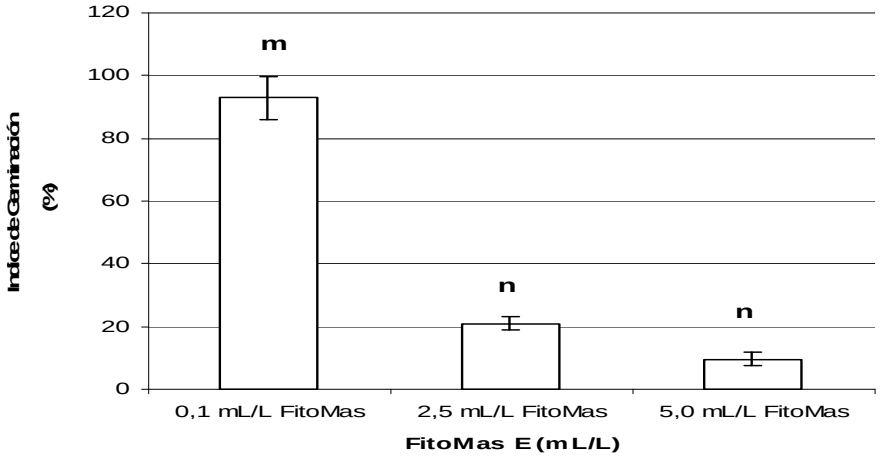


Fig 2. Efecto de las diferentes concentraciones de FitoMas E sobre el Índice de Germinación (IG) de semillas de *Lactuca sativa* L. y los errores estándar. Barras con letras iguales no difieren estadísticamente (p < 0,05).

Para determinar la reproducibilidad del bioensayo se realizó el análisis de varianza multifactorial para PGR, CRR, CRH e IG como variables respuestas en las muestras tratadas con 0,1 mLL^{-1} de FitoMas E, considerando como factores con posibilidad de influir en las respuestas, las réplicas de las placas empleadas en el bioensayo y los diferentes lotes de FitoMas E utilizados,. Los resultados aparecen en la Tabla 1.

Tabla I Análisis de Varianza Multifactorial para las variables respuestas Promedio de Germinación Relativo (PGR), Crecimiento Relativo de Radícula (CRR), Crecimiento Relativo de Hipocotilo (CRH) e Índice de Germinación (IG).

EFECTOS PRINCIPALES	*Valor-P (para α = 95%)*			
	PGR	CRR	CRH	IG
Placa	0,8402	0,7739	0,3094	0,3094
Lote	0,4875	0,3022	0,2362	0,2718

Para un nivel de confianza de p< 0,05, los resultados obtenidos indican que no hay diferencias significativas entre las placas y los lotes en todas las respuestas analizadas.
El hecho de no presentar diferencias significativas entre los lotes y las réplicas de las placas Petri, es muy importante desde el punto de vista de la reproducibilidad de los resultados para diferentes lotes y placas, lo que nos permite establecer este bioensayo como un método de ensayo *in vitro*, indicador de la calidad del FitoMas E.

Conclusiones

- El método permite el monitoreo y control de los efectos del FitoMas E sobre el crecimiento de plantas modelo y de los potenciales efectos fitotóxicos, de los lotes de FitoMas E producidos.
- Se escoge la concentración de FitoMas E de 0,1mLL^{-1}, ya que es la que permite determinar el efecto estimulador de este producto mediante la determinación del crecimiento relativo del hipocotilo (CRH), y no presenta efectos fitotóxicos.
- Las mediciones de longitud de radícula e hipocotilo, que se realizan de forma digital mediante el programa computacional Adobe Photoshop CS, Versión 8.0.1, permite mayor exactitud y rapidez en los resultados.
- El método de bioensayo implementado, es rápido, sencillo y confiable, lo que permite su empleo para controlar la calidad del producto FitoMas E.

Referencias

Bohórquez, P. y Campos, C. (2007). Evaluación de *Lactuca sativa* y *Selenastrum Capricornutum* como indicadores de toxicidad en aguas. Universitas Scientiarum, 12, 83-98.
Calíbrese, E.J. y Baldwin, L.A. (2003). Hormesis: The Dose-Response Revolution. Annual Review of Pharmacology and Toxicology 43,175-197.
Díaz, T., Fernández A., de Armas G., Sotomayor, E. (2002). Estimulador del crecimiento de origen vegetal: su efecto en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Temas de Ciencia Y Tecnología 6, 15-16.
Emino, E. y Warman, P. (2004). Biological assay for compost quality. Compost Science & Utilization 12, 342-348.

Fernández-Larrea O. (2002). Control de calidad de los insecticidas microbianos. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 65,120-122.
Gariglio, N.,. Buyatte, M.,. Pilatti, R., Gonzalez Rossia, D., Acosta, M. (2002). Use of a germination bioassay to test compost maturity of willow (Salix sp.) Sawdust. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 30,135-139.
Keriko, J.M., Nakajima, S,. Baba, N., Isozaki, Y., Iwasa J. (1995). Plant growth regulators from kenyan plant, *Psiadia punctulata*. Scientific reports of the faculty of Agriculture Okayama University. 84,7-11.
Montano R.,. Zuaznábar R,. García A ,. Viñals M ,. Villar J (2007). FitoMas E Bionutriente Derivado de la Industria Azucarera .Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar XLI: 14-21.
Navarro, A.R., Arrieta, R.G. , Maldonado, M.C. (2006). Determinación del efecto de diferentes compuestos a través de ensayos de fitotoxicidad usando semillas de lechuga, escarola y achicoria. Rev. Toxicol. 23:125-129.
Pennacchio, M., Jefferson, L.V.; Havens, K. (2005). Arabidopsis thaliana: A new test species for phytotoxic bioassays. Journal of Chemical Ecology 31:1877-1885.
Sobrero, M.C. y. Ronco, A . (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa L*. (G. Castillo ed.) Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. IDRC/ IMTA. Canadá, Capítulo 4 pp: 71-79.
Tiquia, S.M. (2000). Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig on litter system. (P.R. Warman and B.R. Taylor eds). Proceedings of the International Composting Symposium, CBA Press Inc.Truro, NS, pp 625-647.
Torres, M.T.(2003). Empleo de los ensayos con plantas en el control de contaminantes tóxicos ambientales. Revista Cubana Higiene Epidemiología. 41, 2-3.
Varnero, M.T., Rojas, C., Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 7: 28-37.
Zucconi, F., Pera, A.,. Forte, M., De Bertoli, M. (1981). Evaluating toxicity in immature compost. Biocycle 22, 54–57.

SINERGIA Y/O COMPATIBILIDAD DE BIOPRODUCTOS COMO ALTERNATIVAS PARA LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA CUBANA.

SINERGY AND/OR COMPATIBILTY OF BIOPRODUCTS AS ALTERNATIVE OF CUBAN HORTICULTURAL PRODUCTION

AUTOR(ES): Elein Terry Alfonso[1], Josefa Ruiz Padrón[1], Tamara Tejeda Peraza[1], Inés Reynaldo Escobar[1], Yudines Carrillo Sosa[1] y María M Díaz de Armas[2]

1. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Cuba. ***terry@inca.edu.cu***
2. Universidad Agraria de la Habana (UNAH). Cuba

Resumen

Dentro de la búsqueda de fórmulas nacionales para aumentar la producción y disminuir los efectos ambientales provocados por la "revolución verde", muchas han sido las alternativas que se han implementado, dentro de ellas se destacan, la utilización de diferentes bioproductos obtenidos en Cuba, los cuales, han demostrado su efectividad en diferentes cultivos. Sin embargo, no todos pueden ser llevados al mismo tiempo en un sistema productivo ni de forma empírica por los productores, sino que, se impone la obtención de un paquete tecnológico en el que se combinen los mismos y se evalué su sinergia y/o compatibilidad en función de un adecuado crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas y que además contribuyan a la conservación del medio ambiente. En la presente investigación se estudian los efectos combinados de diferentes bioproductos nacionales en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas, haciéndose énfasis en aquellos a los cuales el país potencia su producción a partir de los resultados demostrados. Para el desarrollo de los trabajos experimentales, se estudiaron los siguientes productos de manera combinada: EcoMic®, Fitomas-E®, Dimargón®, Liplant, Gluticid®, Pectimorf®, y Biobras-16®; los mismos, fueron estudiados en los cultivos indicadores de tomate, lechuga, habichuela y rábano. Los resultados obtenidos indican que existe una actividad sinérgica entre los diferentes bioproductos, los cuales deben ser aplicados a los cultivos en diferentes momentos de su crecimiento y desarrollo; la complementación de los mismos, incrementa el rendimiento agrícola por unidad de superficie y se demuestra el efecto económico positivo de su utilización.

Palabras clave: Bioproductos, hortalizas, sinergia, rendimiento

Abstract

Inside the search of national formulas to increase the production, to diminish the environmental effects caused the green revolution", many have been the alternatives that have been implemented, inside them they stand out, the use of different bioproducts obtained in Cuba, those which, they have demonstrated their effectiveness in different crops. However, not all can be taken at the same time in a productive system neither in an empiric way for the producers, but rather, the obtaining of a technological package is imposed where they are beeing combine and evaluated its synergy y/o compatibility in function of an appropriate growth, development and yield of plants and also to contribute to conservation of the environment. In the

present investigation the combined effects of different national bioproducts are studied on growth, development and yield of plants, being made emphasis in those to which the country power their production starting from the demonstrated results. For the development of the experimental works, the following products in a combined way were studied: EcoMic®, Fitomas-E®, Dimargón®, Liplant, Gluticid®, Pectimorf®, and Biobras-16®; the same ones, they were studied in the indicative crops of tomato, lettuce, bean and radish. The obtained results indicate that an sinergic activity exists among the different bioproducts, which should be applied to the crops in different moments of its growth and development; the complementation of the same ones, increases the agricultural yield for surface unit and the positive economic effect of its use is demonstrated.

Words key: Bioproducts, vegetables, synergy, yield

Introducción

El empleo de los bioproductos en la producción agropecuaria contemporánea, y por tanto, la investigación - desarrollo de los mismos, ha cobrado gran importancia a escala mundial pues forman parte de una Agricultura científica de futuro ecológicamente balanceada y económicamente viable. Los bioproductos (biofertilizantes, bioestimulantes y bioplaguicidas) son componentes vitales de los sistemas sustentables, ya que son medios económicamente atractivos y ecológicamente aceptables para reducir insumos externos y mejorar la calidad y cantidad de los recursos internos, por su alta eficiencia e inocuidad, además de que pueden ser generados a partir de recursos locales y tener carácter endógeno. El uso de bioproductos constituye entonces hoy, una necesidad ecológica y económica obligada, convirtiéndolos en insumos atractivos a los productores, además de ser clave en el manejo integrado de los cultivos.

En la actualidad, los niveles de recuperación que se aprecian en la economía cubana, ha contribuido a elevar el consumo diario de hortalizas por la población, a partir de las diferentes modalidades que tiene hoy la Agricultura Urbana y que constituyen los suministradores fundamentales de estos productos. Este modelo de Agricultura propugna la no utilización de productos químicos como fertilizantes minerales y plaguicidas. A partir de la década del 90, en nuestro país comenzaron a desarrollarse toda una gama de productos alternativos para la nutrición de las plantas, estimuladores del crecimiento, biocontroles de patógenos etc, lo que ha permitido contar en estos momentos con una amplia gama de productos tanto en fase de investigación como comercial.

Así son varios los Institutos de Investigaciones del país que de manera independiente han obtenido diferentes logros en esta temática, así pueden citarse centros como el Instituto de Investigaciones en Agricultura Tropical (INIFAT), el Instituto de Suelos (IS), el Instituto Cubano de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), el Centro de Sanidad Agropecuaria (CENSA), el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), entre otros; todos ellos cuentan con productos de similar acción en las plantas y que de forma independiente se han introducido en la práctica agrícola del país; es preocupación del Ministerio de la Agricultura y en especial del Grupo Nacional de Agricultura Urbana, que esta introducción aislada de cada producto, no se relaciona a una concepción agroecológica del desarrollo agrícola, con el objetivo de aprovechar los mecanismos de sinergia, lo cual crea las bases para fomentar el sistema agrícola del país. Surgen entonces las siguientes interrogantes: ***¿Cómo puede la Agricultura cubana integrarlos en un paquete tecnológico? ¿En qué momento se pueden utilizar estos bioproductos dependiendo de la función para la cual fueron obtenidos?*** Para dar respuesta a estas interrogantes se tuvo en cuenta el siguiente objetivo general:Evaluar la efectividad biológica en la combinación de diferentes bioproductos de fabricación nacional, a partir de la evaluación sinérgica de los mismos en diferentes cultivos hortícolas, sembrados en condiciones de Agricultura Urbana.

Materiales y Métodos

El trabajo fue dividió en tres etapas diferentes:

- **Curva dosis - respuesta de diferentes diluciones de extracto de vermicompost (Liplant) para la germinación de semillas de lechuga, tomate y habichuela.**

Se prepararon 10 diluciones de extracto de vermicompost –Liplant- (1/10, 1/20, 1/30, 1/14, 1/50, 1/60, 1/70, 1/80, 1/90 y 1/100) y un testigo en agua común mediante el pipeteo de 2,5 ml de extracto y completamiento con agua en una probeta de 250 ml hasta la cantidad adecuada para cada dilución. La Tabla I muestra las cantidades requeridas para preparar dichas diluciones:

Tabla I. Tratamientos estudiados

Dilución		ml de agua
1/10	2,5 ml de Liplant	25
1/20		50
1/30		75
1/40		100
1/50		125
1/60		150
1/70		175
1/80		200
1/90		225
1/100		250

Estas diluciones fueron agitadas y vertidas en recipientes de cristal, donde posteriormente fueron embebidas 60 semillas en cada uno durante 45 minutos. Se ejecutó la siembra en placas petri a razón de 20 semillas por placa. Se emplearon tres placas por tratamiento, constituyendo cada una, una repetición. Dichas placas se mantuvieron en la oscuridad y se evaluó diariamente el total de semillas germinadas, tomándose como criterio de germinación la emisión de la radícula. Se evaluó además el período energético (cantidad de días requeridos para alcanzar el máximo de germinación) y los días necesarios para comenzar la germinación.
Se calculó para cada réplica el porcentaje de germinación (%), cuyos datos fueron transformados mediante la fórmula arcos√(%). Se calculó además la velocidad de la germinación y el Índice de velocidad de germinación

- **Estudio de la efectividad biológica de diferentes combinaciones de bioproductos sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de especies hortícolas de importancia económica en el país.**

Para el estudio, se seleccionaron cultivos modelos a partir de hortalizas de hojas (lechuga), vainas (habichuela), frutos (tomate) y bulbos (rábano). Los experimentos se desarrollaron en el Huerto intensivo del Departamento de Servicios Agrícolas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. El suelo sobre el cual se desarrollaron los trabajos, clasifica como Ferralítico Rojo compactado (Hernández, 1999).
Se evaluaron los bioproductos: EcoMic y Pectimorf (procedentes del INCA), Liplant (procedente de la UNAH), , Fitomas-E y Gluticid (procedentes del ICIDCA), Dimargón (procedente del INIFAT) y Biobras-16 (procedente de la UH), comparados con un control de producción a partir del solo uso de abono orgánico (estiércol vacuno). Cada tratamiento se distribuyó bajo un diseño completamente aleatorizado; realizándose las atenciones culturales que recomienda el Manual técnico de Agricultura Urbana (2007).

A) Respuesta en hortaliza de hojas

El cultivo estudiado fue la lechuga (*Lactuca sativa* L.), cultivar ´BSS-1. Los cuatro tratamientos estudiados tenían como base el producto **EcoMic®**. Los mismos se distribuyeron bajo un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones, quedando conformados de la siguiente forma:

1. Aplicación de **Pectimorf®** (Producto obtenido en el Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del INCA)
2. Aplicación de **Liplant®** (Producto obtenido por el Laboratorio de Química de la UNAH)
3. Aplicación de **Biobras-16®** (Producto obtenido por el Laboratorio de Química de la UH)
4. Control (sólo abono orgánico)

A los 7 días después de germinadas las semillas se procedió a realizar la primera aplicación foliar de los productos bioactivos y la segunda aspersión fue aplicada a los 10 días después del trasplante. A partir de los 20 y 30 días posteriores a la germinación, a 15 plantas por tratamiento, fueron realizadas evaluaciones de crecimiento. Las evaluaciones de los contenidos foliares de NPK se realizaron a los 40 días de edad de las plantas. A los 50 días, se cuantificó el rendimiento agrícola teniendo en cuenta la producción en $kg.m^2$

B) Respuesta en hortaliza de vainas

El cultivo estudiado fue la habichuela (*Phaseolus vulgaris*.), (variedad *Lina*). Los cuatro tratamientos estudiados tenían como base el producto **EcoMic®**. Los mismos se distribuyeron bajo un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones, quedando conformados de la siguiente forma:

T1. Abono orgánico
T2. EcoMic®
T3. EcoMic®. + Biostín
T4. EcoMic®. + Fitomas
T5. EcoMic®. + Liplant
T6. EcoMic®. + Pectimorf

C) Evaluar la efectividad de los bioproductos en el control de *Phytophthora* spp

-Del patógeno

Se empleó el patógeno del suelo: *Phytophthora parasitica,* sembrado en placa petri sobre Papa dextrosa agar (PDA) e incubado a una temperatura de 25 ± 2^0 c en un régimen de oscuridad completa, y cuando las colonias alcanzaron lo 9 días de crecidas se procedió a preparar una suspensión de esporas ajustándose la concentración a 10^5 ml^{-1} con la cual se procedió a inocular las plantas

De las plantas

Los experimentos se desarrollaron en condiciones semi controladas, empleándose plantas de las variedades Mara, sus semillas fueron sumergidas con una concentración de 5mg. L^{-1}, durante 4 horas.

Posteriormente se sembraron en maceta de un galón de capacidad que contenía una mezcla de suelo y materia orgánica (estéril), en una proporción de 3:1. Cuando las plantas alcanzaron el segundo par de hojas verdaderas se procedió a la inoculación de las mismas con el patógeno, realizándose la extracción de las plantas en grupo de 20 plantas por producto y sumergiéndose las raíces en las suspensiones ajustadas de esporas del patógeno durante 15 minutos, luego se resembraron, evaluándose a los 21 días después de la inoculación.

--Evaluaciones realizadas

Desarrollo de la enfermedad empleando la siguiente escala de 6 grados

Donde:

0 – Sin síntomas (Altamente tolerante)
1 – Daño en la pinta de la cofia de la raíz principal (Tolerante)

2 - Daño de la cofia de la raíz principal, clorosis hojas viejas (tolerante)
3 - Daño a nivel del eje hipocotílico de la raíz y pobre desarrollo de las raíces secundarias, clorosis de las hojas (Susceptibles)
4 - Daño a nivel del eje hipocotílico de la raíz, que se extiende hasta el tallo y pobre desarrollo de las raíces secundarias, clorosis de las hojas (Susceptible)
5 - Afectaciones que condujeron a la muerte de las plantas (altamente Susceptibles)

Resultados y Discusión

- **Curva dosis - respuesta de diferentes diluciones de extracto de vermicompost (Liplant) para la germinación de semillas de lechuga, tomate y habichuela.**

En la Tabla II, se muestra el efecto del producto Liplant en la germinación de semillas de lechuga, obteniéndose un comportamiento diferente para las distintas diluciones estudiadas. El porcentaje de germinación en ambas fechas fue superior en la dilución de 1/80 (Tabla II A); en cambio, la velocidad de germinación fue mayor para la dilución de 1/10 (Tabla II B). En el caso del largo del hipocotilo y de la radícula (Tabla III) tuvo un comportamiento similar en la primera evaluación y no así en la segunda donde fueron más marcadas las diferencias entre las diluciones estudiadas.

Tabla II. Efecto del Liplant sobre la germinación de semillas de lechuga.

A)

Tratamientos	Porcentaje de germinación	
	1ra fecha	2da fecha
1/10	56.7 a	46.7 a
1/20	41.7 b	36.7 ab
1/30	50.0 a	30.0 bc
1/40	41.7 b	33.3 b
1/50	31.7 c	33.3 b
1/60	26.7 cd	33.3 b
1/70	41.7 b	31.7 bc
1/80	23.3 d	21.7 c
1/90	41.7 b	30.0 bc
1/100	28.3 cd	33.3 b
Testigo	28.3 cd	28.3 bc
EsX	**0.02 ***	**0.04 ***

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p≤0,05

B)

Tratamientos	Índice de Velocidad de Germinación(IVG)	
	1ra fecha	2da fecha
1/10	2.26 a	1.87 a
1/20	1.66 c	1.47 ab
1/30	2.0 b	1.2 bc
1/40	1.66 c	1.33 b
1/50	1.26 d	1.33 b
1/60	1.06 de	1.33 b
1/70	1.66 c	1.27 bc
1/80	0.93 e	0.87 c
1/90	1.67 c	1.2 bc
1/100	1.13 de	1.33 b
Testigo	1.13 de	1.13 bc
EsX	**0.08 ***	**0.13 ***

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p≤0,05

Tabla III. Comportamiento de las plántulas de lechuga al quinto día después de la emergencia de la radícula.

Tratamientos	Primera fecha		2da fecha	
	Largo del hipocotilo	Largo de la radícula	Largo del hipocotilo	Largo de la radícula
1/10	2.9 ab	2.58 ab	2.82 ab	3.52 a
1/20	3.16 a	2.62 ab	3.16 a	2.0 cde
1/30	2.9 ab	2.64 ab	2.54 bc	2.5 bcd
1/40	2.82 abc	2.64 ab	2.94 ab	2.66 b
1/50	2.7 abc	2.68 a	2.82 ab	2.94 ab
1/60	2.3 c	2.42 ab	2.5 bc	2.66 b
1/70	2.5 bc	2.04 b	2.84 ab	2.52 bc
1/80	2.71 abc	2.56 ab	1.54 e	1.44 e
1/90	2.8 abc	2.48 ab	2.18 cd	1.88 de
1/100	2.44 bc	2.84 a	1.9 de	1.99 cde
Testigo	2.52 bc	2.24 ab	1.58 e	1.56 e
EsX	0.18 *	0.22 *	0.18 *	0.22 *

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p≤0,05

En el caso del cultivo del tomate (Tabla IV), se observa que, existieron diferencias estadísticas en las tres fechas de realizadas las evaluaciones, siendo superior al tratamiento testigo. En la tercera fecha, la dilución de 1/60 fue la que obtuvo el mayor porcentaje de germinación. Un resultado similar se obtuvo en el comportamiento de la velocidad de germinación (Tabla V) donde, este tratamiento alcanzó el mayor valor.

Tabla IV. Efecto del Liplant sobre la germinación de semillas de tomate.

Tratamientos	Porcentaje de germinación		
	1ra fecha	2da fecha	3ra fecha
1/10	86.7 ab	70.0 ab	70.0 abc
1/20	71.7 bc	66.7 ab	61.7 bc
1/30	66.7 c	70.0 ab	68.3 abc
1/40	68.3 c	71.7 ab	71.7 abc
1/50	71.7 bc	63.3 ab	73.3 ab
1/60	61.7 c	61.7 ab	80.0 a
1/70	65.0 c	65.0 ab	65.0 bc
1/80	68.3 c	68.3 ab	56.7 c
1/90	65.0 c	65.0 a	56.7 c
1/100	88.3 a	88.3 ab	66.7 abc
Testigo	65.0 c	65.0 b	63.3 bc
EsX	0.07 *	0.07 *	0.05 *

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p≤0,05

Tabla V. Comportamiento de la velocidad de germinación en semillas de tomate

Tratamientos	Índice de Velocidad de Germinación(IVG)		
	1ra fecha	2da fecha	3ra fecha
1/10	8.67 a	7.00 ab	7.00 abc
1/20	7.17 ab	6.67 ab	6.17 bc
1/30	6.67 b	7.00 ab	6.83 abc
1/40	6.87 b	7.17 ab	7.17 abc
1/50	7.17 ab	6.33 ab	7.33 ab
1/60	6.17 b	6.83 ab	8.00 a
1/70	6.50 b	7.00 ab	6.50 abc
1/80	6.83 b	6.50 ab	5.67 c
1/90	6.50 b	7.67 a	5.67 c
1/100	8.83 a	6.67 ab	6.33 bc
Testigo	6.50 b	6.17 b	6.67 abc
EsX	0.61 *	0.46 *	0.51 *

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p≤0,05

- **Conocer la sinergia y/o compatibilidad de los diferentes bioproductos a partir de la efectividad biológica según la influencia sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de especies hortícolas de importancia económica en el país.**

En la Tabla VI, se muestra el efecto de los diferentes productos bioactivos en algunas variables del crecimiento de la lechuga en la primera evaluación realizada a los 20 días posteriores a la germinación de las semillas; como muestra la tabla, en ambos años se obtuvieron diferencias estadísticas entre los diferentes productos aplicados para las variables número de hojas por planta, masa fresca por planta y longitud radical; en sentido general, desde el punto de vista estadístico, con el producto Biobras-16® se logra el mayor estímulo en el crecimiento de las plantas aunque, sus diferencias son mínimas con respecto al Pactimorf® y el Liplant®. Igualmente, en esta edad del cultivo se obtiene un resultado similar de los tratamientos con respecto al control.

Tabla VI. Efecto de productos bioactivos en el crecimiento de las plántulas de lechuga a los 20 días posteriores a la germinación (1ra evaluación)

Tratamientos	No. de hojas/planta		Masa fresca (g)		Longitud radical (cm)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
1. Pectimorf®	4.73 ab	4.97 ab	1.44 ab	1.45 ab	4.53 b	4.46 a
2. Liplant®	4.55 ab	4.85 ab	1.27 b	1.29 b	4.60 b	4.52 a
3. Biobras-16®	5.79 a	5.71 a	1.89 a	1.96 a	5.81 a	4.53 a
4. Control)	3.97 b	4.23 b	1.14 b	1.18 b	1.68 c	1.83 b
Esx	0.50 ***	0.28 ***	0.17 ***	0.19 ***	0.26 ***	0.21***

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan p< 0.001

En la segunda evaluación realizada a los 30 días posteriores a la germinación (Tabla VII), igualmente se diferencian los tratamientos entre sí, obteniéndose un comportamiento similar en cada año. La respuesta de las plantas se vio favorecida en cada una de las variables evaluadas con la aplicación del Biobras-16®, tratamiento que difirió significativamente de los restantes.

Tabla VII. Efecto de los productos bioactivos en el crecimiento de las plántulas de lechuga a los 30 días posteriores a la germinación (2da evaluación)

Tratamientos	No. de hojas/planta		Masa fresca (g)		Masa seca (g)		Longitud radical (cm)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
1. Pectimorf®	7.08 b	7.25 a	9.20 b	9.40 b	0.57 b	0.61 b	7.23 b	7.17 a
2. Liplant®	6.08 c	6.23 b	7.77 c	7.19 c	0.42 c	0.39 c	6.41 c	6.31 b
3.Biobras-16®	7.19 a	7.31 a	10.20 a	9.54 a	0.69 a	0.64 a	7.82 a	7.40 a
4. Control	5.00 d	5.03 c	6.29 d	5.90 d	0.34 d	0.27 d	4.26 d	4.52 c
Esx	0.02 ***	0.03***	0.01 ***	0.02***	0.01***	0.01***	0.04***	0.16***

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p< 0.001$

Para el caso de los productos Pectimorf® y Liplant®, se obtuvo una superioridad del producto obtenido a partir de la Pectimorf con respecto al obtenido a partir del vermicompost. Los tres productos demuestran su efectividad en el estímulo del crecimiento de las plantas al diferir del tratamiento control.

En el caso específico del Biobras -16, se han obtenido resultados similares a los de este estudio, por ejemplo, en el cultivo de la *Vriesea s*p (Capote et al. 2009), este producto bioactivo estimuló la formación de raíces y el número de hojas de las plantas, lo cual presupone un efecto sinérgico o aditivo con las auxinas en dicho proceso. Por otra parte, trabajos realizados en plántulas de banano ´FHIA-18´ provenientes del cultivo *in vitro* y expuestas a estrés térmico por altas y bajas temperaturas, la aplicación del análogo de brasinoesteroides MH5 a la concentración de 0.22 $\mu mol.L^{-1}$ aumentó significativamente el número de hojas, la altura, y la masa fresca de las plantas.

Estudios realizados en el cultivo del tabaco (González *et al*, 2005), demostraron que el Biobras-16 actúa favorablemente sobre la anchura y longitud de las hojas; al respecto, los autores refieren que los cambios que se inducen en el crecimiento y desarrollo de las plantas por la aplicación de los brasinoesteroides, son el resultado de una cascada de eventos bioquímicos, los cuales pueden ser iniciados directamente sobre el genoma o a través de rutas que no impliquen la acción directa de los genes.
En cambio, los estudios con oligogalacturónidos y sus efectos en el crecimiento y desarrollo de las plantas han sido menos abordados; no obstante, en una amplia variedad de especies de plantas ha quedado demostrado que los diferentes tejidos son sensibles a los oligogalacturónidos. Una de las respuestas observadas después de la adición de esta sustancia la cual está involucrada en la acción defensiva de las plantas, ha sido la producción de especies activas de oxígeno; estas respuestas son denominadas comúnmente explosiones oxidativas, y ocurren unos minutos después de la adición de los oligogalacturónidos a la suspensión de células como ha sido demostrado en los cultivos de tabaco (*Nicotiana tabacum L)*, tomate (*Solanum lycopersicon L)* y soya (*Glycine max L) (*Mederos y Hormanza, 2008*)*.

Por otra parte, se considera que los oligogalacturónidos son efectivos en los procesos morfogénicos tanto *in vitro* como *ex vitro*, pero la respuesta de los cultivos dependen del tipo de oligogalacturónido que se utilice, la concentración del mismo y su interacción con las hormonas endógenas de los explantes (Izquierdo, 2009).

Al realizar la evaluación en el momento de la cosecha (Tabla VIII), se observó un resultado en correspondencia con las evaluaciones anteriores, manteniéndose un efecto superior del Biobras-16® sobre el crecimiento de las plantas. Es de destacar el efecto en las tres variables evaluadas si se toma en consideración que en el caso particular de este cultivo son precisamente las hojas la parte comestible, de ahí la importancia de lograr hojas largas, anchas y con buen peso. En el caso de los otros dos productos,

igualmente provocaron un efecto positivo en las plantas lo que es corroborado por las diferencias estadísticas obtenidas con respecto al tratamiento control.

Independientemente de los resultados obtenidos con Biobras-16® y el Pectimorf®, no debe descartarse el efecto producido por el Liplant®; este producto bioactivo obtenido a partir del vermicompot influye positivamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas; en este sentido hay autores que afirman su utilización en una agricultura ecológica donde las aspersiones foliares pueden constituirse en alternativas a la fertilización mineral así como en la prevención de enfermedades biológicas (Zaller, 2006). Por otra parte, resultados similares en el cultivo de la lechuga fueron obtenidos al evaluar enmiendas sólidas y líquidas de vermicompost donde, la aplicación foliar de sustancias húmicas puso de manifiesto un efecto sobre el crecimiento y producción del cultivo, mejorando la producción de biomasa fresca y seca.

Tabla VIII. Efecto de los productos bioactivos en el crecimiento de las plantas de lechuga al momento de la cosecha (3ra evaluación)

Tratamientos	Longitud de las hojas (cm)		Ancho / hojas (cm)		Masa fresca/ planta (g)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
1. Pectimorf®	27.57 b	26.10 b	16.34 b	15.87 b	174.23 b	166.17 b
2. Liplant®	25.13 c	23.64 c	14.34 c	13.55 c	157.26 c	151.25 c
3. Biobras-16®	28.43 a	26.73 a	17.26 a	16.24 a	178.22 a	169.35 a
4. Control	22.28 d	18.76 d	12.13 d	10.38 d	147.23 d	138.26 d
Esx	0.15 ***	0.06***	0.07***	0.02***	0.06 ***	0.11***

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan p< 0.001

Igual comportamiento se obtuvo al analizar el rendimiento agrícola (Figura 1) donde en ambos años, la aplicación de los tres bioproductos supera al tratamiento control, siendo los mayores aportes a la producción por superficie, cuando se aplica el producto derivado de los oligogalacturónidos y el análogo de brasinoesteroide, entre los cuales no se obtienen diferencias significativas. Por otra parte, la aplicación del Liplant aunque difiere de los otros dos productos, supera y difiere del rendimiento obtenido en el tratamiento control.

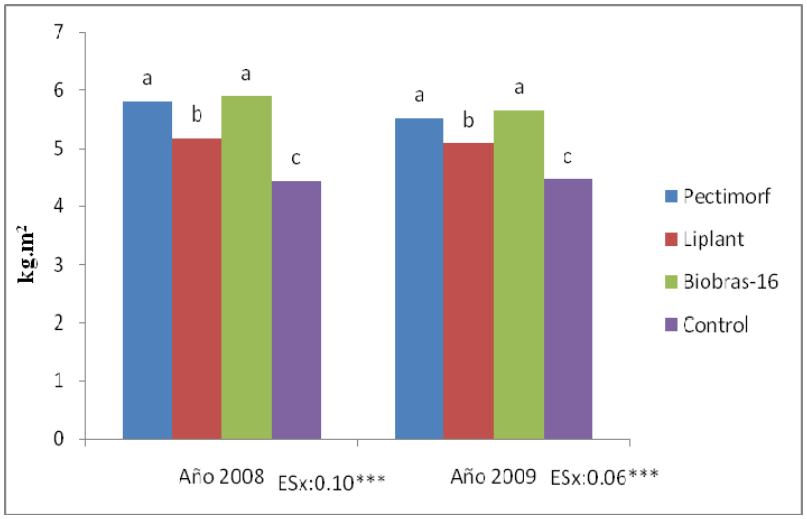


Figura 1. Efecto de los tratamientos en el rendimiento agrícola de la lechuga (p<0.001)

El rendimiento por superficie obtenido a partir de la aplicación de los productos bioactivos, se encuentran dentro del rango (3.0 – 5,5 kg. m^{-2}) que se plantea para este cultivar en sistema de huerto intensivo.

El análisis químico realizado para conocer los contenidos de NPK foliar (Tabla IX), mostró un resultado positivo de los productos bioestimulantes en su relación con la absorción de nutrientes por las plantas, lo que se traduce en un mayor crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo. Los mayores contenidos nutricionales y en correspondencia con el rendimiento alcanzado, se obtuvo con el Biobras-16®, también los otros dos productos hacen una contribución positiva en este sentido, proporcionando los tres un mayor estímulo en el desarrollo radical de las plantas lo que fue traducido en una mayor absorción de los nutrientes presentes en la solución del suelo.
Los contenidos de NPK presentes en el cultivo, se encuentran entre los rangos considerados como óptimos, siendo los mismos de 3,0 – 6.0 de nitrógeno, 0,5 – 0,6 de fósforo y 6,0 – 9,0 de potasio.

Tabla IX. Efectos de los productos bioactivos en los contenidos de NPK foliar

Tratamientos	Contenidos (%)					
	Nitrógeno		Fósforo		Potasio	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
1. Pectimorf®	5.68 b	5.40 b	0.54 b	0.54 b	7.86 a	7.76 a
2. Liplant®	4.90 c	4.16 c	0.50 b	0.50 b	6.25 b	6.22 c
3. Biobras-16®	5.75 a	5.64 a	0.62 a	0.59 a	7.91 a	7.54 a
4. Control	3.64 d	3.45 c	0.52 b	0.54 b	6.10 c	5.97 d
Esx	0.03***	0.03***	0.02***	0.02***	0.02***	0.05***

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p < 0.001$

En el caso específico del análogo de brasinoesteroide, el cual cuenta con varios años de experiencia en cuanto a su aplicación en diferentes cultivos de interés económico en Cuba, se corrobora el papel que desempeña en las primeras etapas del crecimiento vegetativo, especialmente como promotores del crecimiento; este análogo se caracteriza por producir la estimulación del crecimiento vegetal, de la reproducción, la interacción con otras hormonas, el aumento de los rendimientos y la producción de biomasa en diferentes cultivos, así como, el aceleramiento de la maduración de la cosecha, a lo que se le suma, el aumento de resistencia de las plantas a plagas y a diferentes factores de estrés como alta salinidad, sequía, bajas y altas temperaturas y agentes químicos agresivos como plaguicidas y herbicidas.

Por otra parte, el nuevo producto Pectimorf®, ha demostrado su efectividad como eficiente enraizador en cultivos de frutales y plantas ornamentales; varios autores han coincidido en que los efectos biológicos liberados en las plantas por los oligogalacturónidos son diversos; las respuestas rápidas generalmente se observan en la superficie celular de los tejidos, así como, las respuestas involucradas en el crecimiento y desarrollo, incluyen entre otras, la inducción de etileno, la inhibición de auxina y la estimulación floral.

El producto Liplant® por su superioridad con respecto al control, deviene como otra alternativa a tomar en consideración para la nutrición de las plantas, tomando en consideración que al ser un producto derivado del vermicompost, aporta nutrientes en forma inorgánica que por difusión entran al tejido de la planta; por otra parte, la existencia de sustancias promotoras del crecimiento aceleran el proceso de elongación, tanto de las raíces principales como las secundarias.

De acuerdo a los resultados obtenidos, puede arribarse a la conclusión que los productos bioactivos ejercen un efecto positivo en el crecimiento, desarrollo y rendimiento en el cultivo de la lechuga, de los productos estudiados, Pectimorf® y Biobras-16® provocan el mayor estímulo en las plantas. **Con respecto al tratamiento control y los bioproductos de manera independiente, el rendimiento se incrementa entre un 25 y 41%.**

En la Tabla X, se presentan los resultados para el cultivo del Tomate, donde se observa que en la primera evaluación realizada en la fase de semillero, a los 7 días después de aplicados los bioproductos. Como se aprecia, no se obtuvo diferencias significativas en las evaluaciones referentes al diámetro del tallo y al número de hojas; en cambio, sí fue estadísticamente significativo la evaluación realizada para la altura de las plantas, siendo los tratamientos en que recibieron la aplicaciones de Pectimorf®, Biobras-16® y Liplant® los de mejor comportamiento. Resultados similares han sido obtenidos por diferentes autores que han trabajado con estos bioproductos; así, la aplicación del Biobras-16 produjo incremento en la altura de las plantas de tomate a partir de los 7 días debido a la promoción del crecimiento vegetal, que es producido entre otras causas por la estimulación de la división celular.

Tabla X. Influencia de los productos en la fase de semillero del cultivo

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Número de hojas/pta
Pectimorf®	34.62 a	0.37	5.78
Biobras- 16®	34.75 a	0.40	5.33
Liplant®	33.87 a	0.35	5.67
Testigo	29.25 b	0.31	5.11
ES x	0.84***	0.03 n.s	0.27 n.s

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p < 0.001$

En el caso del Pectimorf®, estos son considerados reguladores endógenos del crecimiento de las plantas y donde también se han obtenido efectos favorables sobre el crecimiento de las plantas, en el caso especifico del tomate, en condiciones in vitro, se incrementó la respuesta morfogenética de las plantas al aplicar este bioproducto. Con estos resultados se discrepan con otros autores que obtuvieron una disminución en la altura de las plantas al aplicar dicho bioproducto, así como el número de brotes.

En la fase de plantación, una vez realizada la segunda aplicación de los bioproductos (una semana después del trasplante), al evaluar el número de racimos, de flores y de frutos por planta a los 30 días del trasplante (Tabla XI), se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos, obteniéndose los mayores valores en las plantas que recibieron la aplicación foliar de Liplant® y Biobras-16® con valores de 7.13 y 6.63 racimos por planta respectivamente, 11.37 y 11.62 número de flores y de 13.50 y 12,37 número de frutos por planta respectivamente.

Tabla XI. Influencia de los bioproductos al mes del trasplante.

Tratamientos	Número de racimos/ planta	Número de flores/planta	Número de frutos/planta
Pectimorf®	5.13 b	9.00 b	12.75 a
Biobras - 16®	6.63 a	11.62 a	12.37 a
Liplant®	7.13 a	11.37 a	13.50 a
Testigo	3.63 c	7.38 b	8.50 b
ES x	0.36***	0.70***	1.22 *

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p < 0.05$ y $p<0.001$

En el caso de las plantas que recibieron la aplicación de la Pectimorf (MOG), a pesar de que no presentaron valores similares a los tratamientos con Biobras–16® y Liplant® en cuanto al número de racimos y flores por planta, sí obtuvo un aumento en el número de frutos por planta con relación al testigo y sin diferencias con los otros dos bioproductos, siendo su valor de 12.75, demostrándose de esta forma la efectividad de estos productos en el aumento del desarrollo productivo del cultivo, resultados similares se han obtenido en otros cultivos.

En la Tabla XII, se muestra el efecto de diferentes bioproductos en algunas variables del crecimiento de la Habichuela en la primera evaluación realizada a los 30 días de edad de las plantas; como muestra la tabla, en ambos años se obtuvieron diferencias estadísticas entre los diferentes productos aplicados para las variables altura, número de hojas por planta y masa fresca y seca por plantas; en sentido general, desde el punto de vista estadístico, con la combinación EcoMic® + Fitomas-E®, se logra el mayor estímulo en el crecimiento de las plantas aunque, con mínimas diferencias desde el punto de vista biológico con respecto a la combinación EcoMic® + Dimargón®. En sentido general la combinación de dos productos es superior a su utilización de manera independiente, a la vez, que todos son superiores al tratamiento testigo.

Tabla XII. Respuesta del cultivo a la aplicación de los bioproductos en la primera evaluación a los 30 días posteriores a la siembra.

Tratamientos	Altura (cm)		Número de hojas/planta		Masa Fresca/planta(g)		Masa Seca/planta (g)	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
1. EcoMic® + Fitomas-E®	24.7 a	21.5 a	7.89 a	4.66 a	4.79 a	4.63 a	0.65 a	0.63 a
2. EcoMic® + Liplant®	20.3 c	18.4 c	4.14 b	4.09 d	4.36 b	4.25 c	0.57 ab	0.53 b
3. EcoMic® + Dimargón®	24.2 b	20.3 b	4.85 a	4.62 b	4.73 a	4.57 b	0.58 ab	0.55 b
4. EcoMic®	12.2 h	11.5 g	4.03 bc	3.95 e	3.54 d	3.25 f	0.40 c	0.37 f
5. Fitomas-E®	16.8 e	14.5 e	4.16 b	4.13 c	3.75 cd	3.61 e	0.56 ab	0.50 c
6. Liplant®	15.3 e	13.2 f	4.03 bc	3.84 f	3.93 c	3.74 d	0.51 bc	0.46 d
7. Dimargón®	17.2 d	15.5 d	4.06 b	4.00 d	3.98 c	3.66 e	0.50 bc	0.43 e
8. Testigo	15.5 f	11.3 g	3.88 c	3.56 g	3.68 d	3.25 f	0.40 c	0.35 f
ES x	0.05*	0.13*	0.05*	0.01*	0.07*	0.01*	0.03*	0.01*

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p< 0.05$

Son varios los resultados que muestran un efecto positivo de los diferentes bioproductos utilizados en este trabajo en sus aplicaciones o inoculaciones simples, con respecto al estímulo en el crecimiento de las plantas, así puede mencionarse el efecto positivo de Dimargón® en diferentes cultivos de interés agrícola (Martínez y Dibut, 2006); igualmente, se han obtenido resultados satisfactorios sobre el crecimiento, rendimiento y calidad en el cultivo del tabaco al aplicar el bioestimulante Fitomas-E (ICIDCA, 2007). En el cultivo de la espinaca se ha obtenido un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento, al aplicarse el vermicompost como producto estimulante del crecimiento de las plantas.

En la Tabla XIII, se observa el efecto de diferentes bioproductos en el control de la enfermedad *Phytophthora parasitica*, en sentido general se encontró un efecto positivo de los productos en el biocontrol, lográndose una baja incidencia de la enfermedad.

Tabla XIII. Efecto de los bioproductos en el biocontrol de *Phytophthora parasitica*

Bioproductos					
# plantas	Pectimorf®	Fitomas-E®	Liplant®	Biobras-16®	Gluticid®
1	0^0	0^0	1^0	5^0	0^0
2	0^0	1^0	0^0	0^0	1^0
3	0^0	1^0	1^0	2^0	0^0
4	0^0	5^0	1^0	1^0	0^0
5	2^0	1^0	0^0	1^0	1^0
6	0^0	1^0	0^0	1^0	1^0

7	0^0	1^0	1^0	0^0	1^0
8	2^0	1^0	0^0	1^0	1^0
9	0^0	2^0	1^0	4^0	1^0
10	1^0	4^0	0^0	1^0	1^0
11	1^0	2^0	0^0	3^0	3^0
12	1^0	2^0	1^0	2^0	1^0
Testigo sano	0^0	0^0	0^0	0^0	0^0
Testigo inoculado	Muertas 10 plantas, 1 con 3^0, 1 con 4^0		Muertas 10 plantas, 1 con 3^0, 1 con 4^0		

Con este resultado se demuestra el efecto que como biocontrol ejercen los bioproductos evaluados en este experimento.

Conclusiones

1. Los bioproductos estudiados aceleran el proceso de germinación de las semillas lo cual está relacionado con el largo del hipocotilo y de la radícula así como por la velocidad de la germinación.
2. Se demuestra la efectividad de la combinación de los diferentes bioproductos lo cual conlleva a un mayor estímulo del crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos que cuando los mismos son aplicados de manera independiente.
3. Los bioproductos en general contribuyen al biocontrol de *Phytophthora parasitica,* demostrándose en todos los casos un nivel bajo de infección.

Referencias

-Capote, I; Escalona, M; Daquinta, M; Pina, D; Gonzáles, J; Aragón, C. (2009). Efecto del análogo de brasinoesteroide (MH5) en la aclimatización de los brotes de Vriesea, propagadas en sistemas de inmersión temporal. *Ciencia y Tecnología*. 2(1). 21-25.

-Díaz de Villegas, Villa, P y Frías, A. (2002). Evaluation of the siderophores production by *Pseudomonas aeruginosa* PSS. Revista Latinoamericana de Microbiología. Vol. 44, No. 3-4 pp. 112 - 117

-González, G.L; Núñez, M; Robaina, C; Jiménez, M y Pérez, J. (2005). Efecto del Biobras-16 en algunos indicadores agronómicos del tabaco variedad Sancti Spíritus-96. *Centro Agrícola*, 32 (1): 17-21.

-Hernández, A.J. (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba: Ministerio de la Agricultura. La Habana, 23 p..

-ICIDCA. (2007). Biopreparados. Manejo Integrado de Plagas. Manual Práctico. 2007.

-Izquierdo, O.H. (2009). Los oligogalacturónidos de origen péctico y su acción en las plantas. *Temas de Ciencia y Tecnología de México*. Vol.13 No. 39. pp. 31-40

-Manual de organopónicos y huertos intensivos. (2007). INIFAT, La Habana. Cuba. 183 p

-3. Martínez, V.R y Dibut, B. (2006). Practical applications of Bacterial Biofertilizers and Biostimulators. En: Biological Approachs to Sustainable Soil Systems. Francis and Taylor Publ. Nueva York. 467 – 477 pp.

-Mederos, Y y Hormaza, J. (2008). Consideraciones generales en la obtención, caracterización e identificación de los oligogalacturónidos. *Cultivos Tropicales*, Vol 29(1):83-90

-Zaller, J.G. (2006). Foliar spraying of vermicompost extracts: effects on fruti quality and indications of late-bligth supresión of field-grown tomatoes. *Biological Agriculture and Horticulture*, 24. p.165 – 180

POTENCIALIDADES DEL NEMACID PARA EL MANEJO DE M*ELOIDOGYNE INCOGNITA* EN HORTALIZAS.

POTENTIALITIES OF NEMACID FOR HANDLING OF M*ELOIDOGYNE INCOGNITA* IN VEGETABLES.

Yusmila Guevara[1], Eulalia Gómez[1], Mayra Rodríguez[2], Ana Nelis San Juan[1], Oriela Pino[2] y Roberto Enrique[2].

1. Dirección de Bioprocesos CUBA-10. ICIDCA. E-mail: **invesc10@enet.cu**
2. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), San José de las Lajas.

RESUMEN.

La especie *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood constituye una importante plaga de las hortalizas en los sistemas de Producción Protegida en Cuba. El objetivo de este trabajo fue evaluar efectividad del NEMACID sobre *M. incognita*. Se emplearon huevos y juveniles extraídos de una población pura de *M. incognita*, controles utilizados agua destilada, Sulfato de Amonio (1.69 $mg.ml^{-1}$) y Basamid® (1g.$1000ml^{-1}$), y se compararon con NEMACID (37.5$mg.ml^{-1}$), evaluando a las 24 horas, contabilizándose el número de juveniles inmóviles y huevos no eclosionados. Los experimentos de campo se realizaron en instalaciones de cultivo protegido, en el cultivo de tomate se aplicó NEMACID y Basamid®. Al final del ciclo, se evaluaron 100 plantas al azar.$tratamiento^{-1}$, determinando grado e índice de infestación. En el pepino se comparó NEMACID contra un Testigo evaluando el desarrollo vegetativo y al término de la cosecha número de agallas presentes en las raíces, determinando grado e índice de infestación. Los resultados señalaron la acción nematicida, al obtenerse un nivel de eclosión menor con un 90% de efectividad a la concentración de 18,75 $mg.ml^{-1}$ para NEMACID con respecto al control químico Basamid® con un 85 % de efectividad, igualmente en la mortalidad de los juveniles. En campo los resultados muestran disminución del grado de infestación de 3,70 a 0,50 para NEMACID y 0,63 el Basamid®, e incrementos de la producción en un 23 %.

Palabras clave: *Meloidogyne incognita*, control biológico, NEMACID, hortalizas.

SUMMARY:

Meloidogyne incognita (Kofoid y White) Chitwood represent one of the most important pests for vegetables under shelter conditions in Cuba. Because of this reason the objective of this work was to evaluate the effectiveness of NEMACID on *M. incognita*. We used juveniles and eggs from *M. incognita* pure population, distilled water, ammonium sulfate (1.69 $mg.ml^{-1}$) and Basamid® (1g.$1000ml^{-1}$) as controls and were compare with NEMACID (37.5$mg.ml^{-1}$). Evaluation in 24 hours, count the immobile juveniles and the not eclosioned eggs. The field experiments were carries out in crops under shelter conditions, for the tomate crop, was treated with NEMACID and Basamid®. At the end of the cycle, 100 $plants.treatment^{-1}$, witch grade and infestation index were determinate. In cucumber it compared against the witness evaluating the vegetative development and root galling at the end of the harvest , witch grade and infestation index were determinate. The results shown the nematicide action, when obtaining a level of minor hatching with 90 %

of effectiveness to 18.75 mg.ml^{-1} concentration for NEMACID regarding the chemical control Basamid® with 85 % of effectiveness, being this the case in the mortality of the juvenile. The results evidence a decrease of the grade of infestation at field of 3,70 to 0,50 for NEMACID and 0,63 the Basamid®, and increments of the production in a 23 %.

Key Works: *Meloidogyne incognita*, biological control, NEMACID, vegetables.

INTRODUCCIÓN.

La relación entre salud y alimentación existe desde los orígenes de la civilización y se mantienen hasta nuestros días, Carvalho y otros (2006), nuestro gobierno ha puesto especial empeño en mejorar la calidad y cantidad de los productos agrícolas a disposición de la población, por lo que el programa de **Producción Protegida de Hortalizas** (PPH) ha recibido especial atención. Esta tecnología de PPH utiliza paquetes tecnológicos con el uso de productos químicos, que agreden el ambiente y podrían acarrear implicaciones en la salud humana tanto en trabajadores como consumidores, de ahí que, se trabaja por disminuir la carga química de estos sistemas.
Esta producción se caracteriza por resguardar las plantas de la acción directa del sol, ciclos de cultivo de hasta 6 meses, empleo de híbridos altamente productivos, aplicación de fertilizantes y plaguicidas químicos, así como la incidencia de nuevas plagas y la elevación de otras a niveles incompatibles con la obtención de rendimientos aceptables, entre otras Rodríguez y otros (2005), destacándose como cultivos fundamentales el tomate seguido del pepino, Casanova y otros (2007). Estas últimas hortalizas, son afectadas por los nematodos formadores de agallas del género *Meloidogyne* según Rodríguez y otros (2005), Casanova y otros (2007) y Gómez (2007).
El NEMACID es evaluado en este trabajo para determinar su efectividad sobre ***M. incognita***, y a la vez obtener elementos prácticos que avalen su inclusión en los programas de manejo en la PPH que contribuya a disminuir el uso de plaguicidas en estos sistemas productivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Efecto del NEMACID sobre huevos y juveniles de *Meloidogyne incognita* ***in vitro.***

Para realizar este experimento se utilizaron huevos y juveniles de segundo estado (J_2) de una población pura de ***M. incognita***, mantenida en los aisladores biológicos del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), utilizando tomate (*Solanum lycopersicon* L.) cultivar Campbell 28, tal como recomiendan Harmant y Sasser (1985), caracterizada e identificada desde el punto de vista morfológico, fisiológico y molecular por Gómez (2007).

Se emplearon dos controles negativos, agua destilada y Sulfato de Amonio (1.69 mg.ml^{-1}). Como control positivo se empleó el Basamid® a una concentración de 1g.1000ml^{-1}, equivalente a los 400 kg.ha^{-1} que se emplea en condiciones de producción, según lo recomendado por el fabricante, la muestra de NEMACID a evaluar se empleó a una concentración inicial de 37.5mg.ml^{-1}, a cinco concentraciones diferentes.
Los valores de LC_{50} y LC_{90} a intervalos de confianza 95%, fueron calculados usando el método de análisis estadístico Probit, programa Polo (LeOra Software, Berkely, California).

Para evaluar el efecto del NEMACID sobre los huevos de ***M. incognita***, se seleccionaron raíces infestadas de tomate, se extrajeron las ootecas y éstas se esterilizaron durante 15 segundos en solución de Hipoclorito de Sodio al 0.05%. Posteriormente se enjuagaron con abundante agua destilada estéril y se depositaron en las placas plásticas de 24 pocillos utilizando 4 réplicas por tratamiento, con 100 µl de agua destilada

conteniendo los huevos, 900 µl de agua destilada y 1000µl solución muestra. y el agua. A partir de las 24 h se comenzó a observar la cantidad de huevos no eclosionados del total (20 - 23) que se colocó en cada pocillo.

Para evaluar el efecto del NEMACID sobre los juveniles de *M. incognita*, se extrajeron las bolsas de huevos de las raíces de tomate con el auxilio de pinzas y bajo un estereomicroscopio Stemi VS 6® (Zeiss) con 500 aumentos, se colocaron en desecadoras de cristal con agua destilada por un intervalo de tiempo de 24 - 72 h, con el objetivo de colectar los juveniles para los ensayos *in vitro,* igualmente se depositaron en las placas plásticas de 24 pocillos los juveniles utilizando 4 réplicas por tratamiento, con 100 µl de agua destilada conteniendo las larvas, 900µl de agua destilada y 1000µl solución muestra. A partir de las 24 h se comenzó a contabilizar el número de J_2 inmóviles del total (50 a 53 J_2) que se colocó por pocillo, luego fueron montados en portaobjetos y observados en microscopio óptico con 400 y 1000 aumentos.

Efectividad del NEMACID en condiciones de producción protegida de tomate.

El manejo y las atenciones culturales se realizaron según lo establecido para este cultivo en PPH según Casanova y otros (2007).
La evaluación del producto se realizó en áreas de producción protegida de hortalizas ubicadas en el Wajay, perteneciente al Centro de Referencia Nacional de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (HORTIFAR), sobre un suelo pardo mezclado con materia orgánica, en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L. cv. FA 180) a una dosis de 15 $kg.ha^{-1}$ (repetida en 4 aplicaciones durante el ciclo, la primera antes del trasplante y luego las otras tres cada 7 días, para un total de 60 $kg.ha^{-1}$). La especie de nematodo presente en el área era *M. incognita*, lo que fuera determinado por especialistas del INIFAT, utilizando métodos morfológicos de diagnóstico.

La efectividad del producto NEMACID, sobre la población del nematodo se comparó con en el efecto del Basamid®. Para la aplicación en el suelo de este primer producto se disolvió en 80 L de agua para cada dosis por variante, y se aplicó a razón de 20 L por réplica (12 m de largo x 1m de camellón), para una superficie por réplica de 12 m^2.

En la variante con Basamid®, el producto se aplicó de forma manual y homogéneamente en la superficie del suelo, y a los 7 días se lavó con un riego abundante por encima de su capacidad de campo, por lo que se realizó la desinfección del suelo en los túneles correspondientes con cada producto, NEMACID a la dosis de 60 $kg.ha^{-1}$ y Basamid® a la dosis de 400 $kg.ha^{-1}$). Al final del ciclo se determinaron el número de racimos florales remanentes y número promedio de frutos por racimo, los valores medios de estos parámetros fueron sometidos a un análisis estadístico.
La efectividad de los productos sobre *M. incognita* se determinó a los 40 días de la aplicación, para lo cual se evaluó el sistema radicular en 100 plantas al azar.$tratamiento^{-1}$, a las que se les determinó el grado e índice de infestación o agallamiento (IA) mediante la escala de 6 grados de (0 – 5) de Kinloch (1990).

Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza y las medias se compararon a través de la prueba de Rangos Múltiples de Duncan para un 5 % de probabilidad de error.

Efectividad del NEMACID en condiciones de producción protegida de pepino.

La evaluación del producto se realizó en áreas de producción protegida de hortalizas ubicadas en el Municipio Playa, perteneciente al Centro de Referencia Nacional de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (HORTIFAR), Provincia Ciudad de La Habana. El sustrato utilizado estaba compuesto por una mezcla de materiales orgánicos y zeolita con sistema de riego por goteo de Netafín. El cultivo evaluado fue pepino (cv. HA 454), el cual es altamente susceptible a *M. incognita*, Gómez (2007).

En dicha instalación de producción se tomaron muestras de raíces para su análisis en el Laboratorio de Nematología Agrícola del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA), para determinar la especie de nematodo presente, siendo identificada como *M. incognita* por la Dra. Lucila Gómez.

Para determinar la efectividad de los tratamientos se estimó el nivel de infestación inicial (evaluando el cultivo precedente: tomate) empleando el método cualitativo, utilizando la escala de Zeck (0 - 5) 1976, modificada por García y Fernández (1983). Antes del trasplante del pepino, se aplicó el NEMACID al suelo con dosis de 15 $kg.ha^{-1}$ en cuatro aplicaciones, con un intervalo entre 3-5 días entre cada aplicación, hasta completar 60 $kg.ha^{-1}$.

Se utilizó un diseño experimental con 2 bloques al azar, donde se tomaron para la evaluación 2 canteros de una casa de cultivo protegido en plena producción, dejando un cantero sin tratar (testigo) y otro con la aplicación del NEMACID. Se evaluó a partir de los 15 días del transplante cada 7 días la altura de las plantas y posteriormente el número de $frutos.planta^{-1}$. Los datos de altura de las plantas y número de frutos por planta se procesaron mediante una Prueba t de Student, utilizando el Programa Excell, Micro Soft Office 2007.

Teniendo en cuenta, lo establecido por Rodríguez y otros (2006) acerca de que el IA se determina en el campo, a través de las raíces del cultivo que se extrae, al concluir el ciclo del pepino, se extrajeron los sistemas radicales de 30 plantas al azar (réplicas), en cada bloque (cantero), determinando el grado e índice de infestación utilizando la escala de 6 grados mencionada con anterioridad. Las características de los sistemas radicales del tomate (cultivo precedente) y del pepino (cultivo evaluado con NEMACID) fueron recogidas en sendas fotografías.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del NEMACID sobre los huevos de *M. incognita*:

Los resultados indicaron la acción nematicida del producto, al obtenerse un nivel de eclosión menor en el tratamiento con NEMACID a la concentración de 18,75 $mg.ml^{-1}$ respecto al control químico Basamid®, obteniendo este primero un 90% de efectividad y el segundo un 85 %. Las demás concentraciones del NEMACID empleadas no mostraron dicho efecto, al estar menos concentrado el producto. (Tabla I). Estos resultados señalaron el NEMACID como producto con potencialidades para el manejo de *Meloidogyne incognita*.

Tabla I. Efectividad *in vitro* del NEMACID sobre la eclosión de los huevos.

Variante Experimental ($mg.ml^{-1}$)	Huevos Totales	Huevos no eclosionados	Efectividad a las 24 h (%)
Basamid® (0,01)	20	17	85
NEMACID (18,75)	22	20	90
NEMACID (3,75)	23	10	45
NEMACID (1,875)	20	3	15
NEMACID (0,1875)	21	2	10
NEMACID (0,01875)	23	1	5
Control(NH4)2SO4 (0,168)	22	0	0
Control H2O	20	0	0

Al observar los huevos al microscopio, se pudo constatar que la capa exterior del huevo colapsa y es imposible la eclosión de los mismos, efecto relacionado con la acción de metabolitos producidos por la cepa de la que se obtiene el NEMACID. Al respecto, Gómez y otros (2004), realizó un estudio de los efluentes de dicha cepa en el que se evidenció producción de enzimas proteolíticas y lipolíticas.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por Mena y otros (2004) en estudios realizados *in vitro* con HeberNem® donde demuestra que se produce el debilitamiento de la capa externa del huevo (70 % de quitina), se originan vacuolas dentro de los huevos que sufren un desorden en el proceso de embriogénesis afectando la eclosión de los mismos, efecto este que está relacionado fundamentalmente por la combinación de sulfuro de hidrógeno y quitinasas producidos por la bacteria *Tsukamurella paurometabola* Steinhaus cepa C-924 (ex *Corynebacterium paurometabolum*), contenida en dicho producto nematicida, mecanismo de acción que posee para actuar sobre *M. incognita* y *Radopholus similis*.

Al respecto, Nguyen y otros (2007) evaluaron *in vitro* el papel de las quitinasas de *Lecanicillium antillanum* cepa B3, sobre *M. incognita*, determinando que se producían afectaciones en los huevos del nematodo y que el hongo poseía potencialidades para desarrollar un producto biológico para el manejo de este nematodo. Por otra parte, Gan y otros (2007) determinaron que la quitinasa Lpchi1 producida por otra especie del género, *L. psalliotae* provocaba significativa inhibición de la eclosión de huevos en *M. incognita*.

Diversos autores han señalado que estas enzimas son las que actúan en ensayos *in vitro* cuando se evalúan los efluentes (como en este estudio) o las enzimas purificadas (como proteasas) según López-Llorca y Robertson (1992; Yang y otros (2005) y son las que pueden asociarse al efecto observado en los huevos de *M. incognita* al ser tratados con NEMACID, aunque no se puede descartar la presencia de otros metabolitos bioactivos.

Efecto del NEMACID sobre los juveniles de *M. incognita*:

El producto NEMACID, a la concentración de 18,75 $mg.ml^{-1}$ (1/2) mostró la mejor efectividad sobre los juveniles de *M. incognita*, al exhibir mortalidades superiores al 90% en condiciones *in vitro*, valores comparables a los obtenidos con el Basamid® (0.01 $mg.ml^{-1}$) el cual mostró una efectividad de un 80% sobre la mortalidad de los mismos, sin embargo, la concentración de 3,75 $mg.ml^{-1}$ (1/10) mostró una efectividad de un 75% con un 5% de diferencia respecto al químico, por lo cual puede ser utilizada también dicha concentración. Por otra parte las demás concentraciones del NEMACID mostraron menor efectividad ya que al estar más diluido el producto no ocasionaron ningún daño. (Tabla II). Destacar además que ya a las 24h los juveniles sometidos a las concentraciones máximas de NEMACID estaban ya inmóviles.

Tabla II. Efectividad *in vitro* del NEMACID sobre la mortalidad de juveniles de *M. incognita*.

Variante Experimental ($mg.ml^{-1}$)	J_2 Totales	J_2 Muertos	Mortalidad a las 24 h (%)
Basamid® (0,01)	50	40	80
NEMACID (18,75)	52	49	94
NEMACID (3,75)	53	40	75
NEMACID (1,875)	50	15	30
NEMACID (0,1875)	50	5	10
NEMACID (0,01875)	52	2	4
Control$(NH_4)2SO_4$ (0,168)	50	0	0
Control H_2O	50	0	0

El principio activo del NEMACID, es el contenido de proteasas alcalinas, sustancias a las que se le atribuyen acción nematicida según Gómez (2001) y responsables de la mortalidad de los juveniles en este experimento, pues el otro componente del producto, el Sulfato de Amonio, no provocó ese efecto.

Este resultado fue obtenido por Mena y otros (2004) quienes señalaron que la excreción de quitinasas en la bacteria *T. paurometabolla* cepa C924, como el principio activo de este organismo contra *M. incognita*. y responsable por tanto de la mortalidad de los juveniles, en experimentos *in vitro* junto a la excreción de sulfuro de hidrógeno.

Los juveniles que fueron tratados con NEMACID a la concentración de 18,75 $mg.ml^{-1}$ presentan desorganización de los órganos internos (colapsados), con la aparición de vacuolas y "gránulos". Resultando evidente la muerte de los especímenes por la rigidez de estos al ser transferidos a agua luego de estar sometidos por 24 h a la solución de NEMACID, siendo imposible su recuperación posterior (Figuras 1 y 2). Estos resultados demuestran la acción nematicida del producto.

Según Mena y otros (2004) obtuvieron resultados similares a los nuestros en cuanto al efecto del HeberNem® sobre los juveniles, los cuales presentaron la formación de vacuolas gaseosas internas, que se hacen más grandes en este caso, acompañado de daños en la cutícula.

Figuras 1 y 2. Juveniles de *M. incognita* mostrando el estado natural y el colapso de las estructuras internas luego de su exposición al NEMACID (1000 aumentos).

Por último, se procedió al cálculo de la concentración letal 50 (LC_{50}) del NEMACID donde el valor medio fue de 1.94 $mg.ml^{-1}$ con un intervalo de confianza entre (1.22 – 3.12 $mg.ml^{-1}$) y de la concentración letal 90 (LC_{90}) el valor medio fue de 26.414 $mg.ml^{-1}$ con un intervalo de confianza entre (13.37 – 76.49 $mg.ml^{-1}$) respectivamente (Tabla III). Dichos valores permitieron determinar la dosis adecuada para los experimentos de campo subsiguientes.

Tabla III. Valores estimados de la LC 50 y LC 90 de NEMACID.

Variante Experimental	LC50 ($mg.ml^{-1}$)	LC90 ($mg.ml^{-1}$)
Basamid®	< 0,01	-
NEMACID	1,943	26,415

Nota: 95% intervalo de confianza

Efectividad del NEMACID en condiciones de producción protegida de tomate.

El NEMACID produjo una disminución en el grado de infestación sin diferir significativamente del Basamid® (Tabla IV).

Tabla IV. Efecto del NEMACID en indicadores agronómicos y grado de infestación comparado con el BASAMID®.

Producto	Altura planta (cm)	Racimos florales	Número frutos	Grado de infestación (Testigo)	Grado infestación (Tratada)
BASAMID® (400 kg/ha$^{-1)}$	148.62 a	3.70 a	6.00 a	3.70 a	0.63a
NEMACID (60 kg/ha^{-1})	141.75 a	4.20 a	6.95 a	3.70 a	0.50a

***** Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas para un $p \leq 0,05$.

Los tratamientos del Basamid® (400 kg.ha^{-1}) y NEMACID (60 kg.ha^{-1}) no mostraron diferencias significativas para un 95 % de confianza con relación a la altura de las plantas, racimos florales y número de frutos al final del ciclo de cultivo. De igual forma la aplicación de estos dos productos redujo significativamente el grado de infestación presente al inicio del experimento con una disminución de los mismos de 3.70 a 0.63 y 0.50 respectivamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Cuadra y otros (2008) donde informan una disminución significativa en el grado de infestación e índice de agallamiento cuando empleó nuestro producto comparado con el TRIFESOL (*Trichoderma viride*).

Resultados similares fueron obtenidos por Mena y otros (2004) cuando emplearon HeberNem® (*T. paurometabola* cepa 924) en condiciones de cultivo protegido, donde se redujo significativamente el grado de infestación.

Hidalgo y otros (2008), informaron que la aplicación de Klamic® (*P. chlamydosporia* var. c*atenulata*) redujo significativamente las poblaciones de *M. incognita* en condiciones semicontroladas y naturales de campo, indicando que este hongo puede proporcionar resultados satisfactorios en el manejo de *M. incognita* en la PPH.

Méndez y Polanco (2006), informan un notable decrecimiento de las poblaciones de nematodos formadores de agallas al aplicar una dosis de 8kg.ha^{-1} de *Trichoderma harzianum* Rifai en diferentes etapas del cultivo del tomate, al reducir las poblaciones de grado 3 y 4, de una escala de 5 grados a grado 1 y aumento de los rendimientos de 0,56 t. casa^{-1} a 1,73 t. casa^{-1}

También con relación a la efectividad del NEMACID, sobre poblaciones de *M. incognita*, nuestros resultados corroboran lo informado por Gómez y otros (2004), quienes evaluaron el producto en tomate desarrollado en condiciones de organopónico, donde se redujo el grado de infestación de 5 (máximo grado de la escala) a 0.6, lo que redundó en un 30% de incremento en los rendimientos. Mena y otros (2004), plantearon que la adecuada desinfección de suelos, contra nematodos, en los cultivos protegidos, ha sido, es y será el mayor reto a los resultados productivos – económicos de esta tecnología.

Efectividad del NEMACID en condiciones de producción protegida de pepino.

En este estudio, la aplicación del NEMACID provocó la disminución del grado de infestación de grado 5 en el cultivo precedente de tomate (Figura 3) a grados de 0 y 1 en el pepino (Figura 4), corroborando la efectividad del producto en el manejo de poblaciones de nematodos formadores de agallas en tomate y

pepino en la producción protegida. Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Cuadra y otros (2008) quienes informan disminuciones significativas en el grado de infestación e IA del pepino cuando demostró la efectividad del producto NEMACID en comparación con TRIFESOL (*Trichoderma viride)* individualmente.

Las deformaciones en las raíces de tomate cultivo precedente que no fueron tratadas (Figura 3), evidenciaron la presencia de los nematodos formadores de agallas, indicando que estos organismos representan uno de los principales agentes vinculados al acortamiento de la vida útil de estos cultivos en la producción protegida según Rodríguez y otros (2006).

Figuras 3 y 4. Raíces de tomate (cultivo precedente en la casa de cultivo) no tratadas con NEMACID, exhibiendo agallas provocadas por ***M. incognita*** y raíces del pepino tratado, sin agallas.

Las afectaciones significativas en el crecimiento de las plantas de pepino y la producción de frutos, provocadas por ***M. incognita*** en el tratamiento sin producto (NEMACID) y su comparación con el tratamiento que recibió el producto en estudio, se presentan en las Tablas V y VI.

En dicho experimento se pusieron de manifiesto las diferencias significativas entre las plantas tratadas con NEMACID y las testigos no tratadas en cuanto al crecimiento de las mismas desde el mismo inicio del cultivo (7 días) y así hasta el final del ciclo (Tabla V), sugiriendo la posible acción beneficiosa del producto sobre dos variables: la disminución de la plaga que resulta extremadamente dañina al pepino según Gómez (2007) y el posible efecto positivo del producto sobre el crecimiento de esta hortaliza.

El pepino en producción protegida, presenta una gran velocidad de crecimiento inicial, una producción precoz y un rendimiento entre 15 y 20% superior a la media de los valores que exhiben las variedades que se cultivan a cielo abierto según Casanova y otros (2007), pero es muy afectado por nematodos, Gómez (2007), conferir "protección" a este cultivo de rápido desarrollo desde la fase inicial es vital, Rodríguez y otros (2006).

Estos resultados coinciden con lo informado por otros autores en las evaluaciones realizadas del NEMACID. En este cultivo en condiciones de organopónico según Gómez (2004) informó mayor crecimiento en las áreas tratadas con el producto en estudio, mientras que según Cuadra y otros (2008) observaron que en parcelas de pepino tratadas con NEMACID, se produjo un incremento de más de 70% en el crecimiento, con relación a las plantas no tratadas, corroborando la efectividad del mismo en el cultivo desarrollado en diferentes sistemas de producción.

Con relación a la producción de frutos (Tabla VI), las diferencias significativas se comenzaron a hacer notables a partir de los 35 días de trasplantadas, momento que ha sido señalado por Casanova y otros (2007) como inicio de la cosecha. En ese periodo, las plantas tratadas con NEMACID poseían más de 21 frutos

como promedio, mientras las no tratadas unos 15. La producción total del bloque tratado con NEMACID fue mayor un 23%, mostrando diferencias significativas, con relación al bloque no tratado.

Tabla V. Crecimiento de las plantas de pepino (cm).

Evaluaciones (Días)	Tratadas con NEMACID	Testigo no tratado.	ESx
7	12.35a	8.88b	0.52
14	40.61a	13.6b	3.52
21	63.57a	21.81b	5.25
28	88.44a	32.64b	7.13
35	119.62a	46.25b	9.44
42	142.05a	66.78b	9.44
49	166.86a	84.06b	10.49
56	179.96a	97.36b	10.56
63	194.45a	118.31b	10.02
70	232.22a	149.65b	10.26
77	256.98a	185b	9.38
84	256.98a	187.74b	9.08

Letras desiguales en la misma columna difieren para $p \leq 0.05$.

Tabla VI. Número de frutos.planta^{-1} de pepino.

Evaluaciones (Días)	Tratadas con NEMACID	Testigo no tratado.	ESx
7	0	0	0
14	0	0	0
21	4.6a	0.57	0.57
28	12a	0.98	0.98
35	21.7a	1.49	1.49
42	27.9a	1.52	1.52
49	33.2a	1.58	1.58
56	39.8a	1.86	1.86
63	47.1a	1.88	1.88
70	53.5a	2.02	2.02
77	58.4a	1.82	1.82
84	64.3a	2.05	2.05

Letras desiguales en la misma columna difieren para $p \leq 0.05$.

CONCLUSIONES.

- El producto biológico NEMACID exhibió un efecto supresor sobre la población de *M. incognita* en experimentos *in vitro* y en condiciones de producción protegida de hortalizas, demostrando poseer potencialidades para su uso como parte de los programas de manejo de esta plaga en los sistemas productivos del país.
- En el estudio en condiciones *in vitro*, la concentración de 18,75 mg.ml^{-1} de NEMACID mostró un porcentaje de efectividad mayor que el del producto químico sobre la eclosión de los huevos y la supervivencia de los juveniles infestivos.

- En condiciones de producción protegida de tomate y pepino, el NEMACID produjo reducciones significativas del índice de agallamiento producido por ***M. incognita***, indicativo de la disminución de las poblaciones de la plaga en esas condiciones.
- El uso de NEMACID, propició el aumento en los rendimientos del pepino y un mejor desarrollo en tomate (expresado en número de racimos florales y de fruto.racimo^{-1}), lo que indica que resulta un producto compatible con ambos cultivos.

REFERENCIAS.

1. Carvalho, P; Machado, MC; Moretti, CL; Fonseca, ME. (2006). ***Horticultura Brasileira.*** 24, 397-404.
2. Casanova, A; Gómez, O; Hernández, M; Chailloux, M; Depestre, T; Pupo, F; y otros. (2007), en: F. Pupo y A. Casanova (Eds.). Manual para la producción protegida de hortalizas. La Habana, I.I.H. "L. Dimitrova", pp, 138.
3. Cuadra, R; Ortega, J; Morfi, O L; Soto,L; Zayas, M A; Perera, E. (2008), Efecto de los productos biológicos TRIFESOL y NEMACID sobre los nematodos de las agallas en la producción protegida de hortalizas. Rev. Protección Veg. 23(1), 59-62.
4. Gan, Z.; Jinkui Yang; Nan Tao; Lianming Liang; Qili Mi; Juan Li; Ke-Qin Zhang. (2007). Cloning of the gene *Lecanicillium psalliotae* chitinase Lpchi1 and identification of its potential role in the biocontrol of root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. ***Applied Microbiology & Biotechnology.*** 76 (6), 1309-1317.
5. García, O y Fernández, E. (1983). Metodología para determinar el comportamiento varietal de cultivos agrícolas a los nemátodos parásitos; La Habana - Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, pp, 8.
6. Gómez L. (2007), Diagnóstico de nematodos agalleros y prácticas agronómicas para el manejo de *Meloidogyne incognita* en la Producción Protegida de Hortalizas. Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana- Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, pp,100.
7. Gómez, E. (2001), Nematicida a partir del hongo *Verticillium lecanii.* ***Revista Terralia*** (ES). 24, 30.
8. Gómez, E; Álvarez, R; Zayas, M y Cruz, X. (2004), Efectividad biológica del NEMACID contra *Meloidogyne incognita.* ***ASCOLFI INFORMA***. 30(6), 40 - 42.
9. Hartmant, K y Sasser, J. (1985), Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perennial pattern morphology. En: K. R. Barker; C. C. Carter; J. N. Sasser (Eds.). *An Advanced treatise on Meloidogyne. Vol. II Methodology*. Dept. Plant Pathology and United State Agency for International Development. North Carolina State University Graphics, pp, 69-77.
10. Hidalgo, L., Montes de Oca, N; Puertas, Ana; Peteira, B; Arévalo, J; Hernández, M; Kerry, B.(2008),KLAMIC: bionematicida para el manejo de nematodos formadores de agallas en hortalizas. En VI Seminario Internacional de Sanidad Vegetal. Ciudad de la Habana, Cuba. DC ISBN: 978-959-282-080-7.
11. López-Llorca, L y Robertson, W. (1992), Immumocytochemical localization of a 32-kDa protease from the nematophagous fungus *Verticillium suchlasporium* in infected nematode eggs. ***EXP MYCOL.*** 16, 261–267.
12. Mena, J; Pimentel, E, Veloz, L; Hernández, A; Ramírez, Y; León L y otros. (2004), HeberNem: Posible sustituto del Bromuro de Metilo en los cultivos protegidos. V Seminario Internacional de Sanidad Vegetal. Mayo 24 al 28, Ciudad de la Habana, Cuba. Memorias: CD ISBN 959-246-137-6.
13. Méndez, M y Polanco, G. (2006), Método de control con *Trichoderma harzianum* en casas de cultivo. Taller Latinoamericano de Control Biológico de Fitopatógenos con *Trichoderma harzianum* en casas de cultivo. La Habana, Cuba. (Resumen).

14. Nguyen N; Young-Ju, K; Kyung-Yaek, O; Woo-Jin, J; Ro-Dong, P. (2007), The role of chitinase from *Lecanicillium antillanum* B-3 in parasitism to root-knot nematode *Meloidogyne incognita* eggs. *BIOCONTROL SCIENCE AND TECHNOLOGY.* 17(10), 1047-1058.
15. Rodríguez, M; Sánchez, L; Gómez, L; Hidalgo, L; González, E; Gómez, M; Díaz, L y otros. (2005), *Meloidogyne spp.,* Plagas de las Hortalizas: Alternativas para su Manejo en Sistemas de Cultivo Protegido. *Rev. Protección Veg*. (Cu). 20 (1), 1-10.
16. Rodríguez, M; Gómez, L; Cuadra, R; Díaz, L; Fernández, E Casanova, A y otros. (2006), Nematodos formadores de agallas en Sistemas de Cultivos Protegidos: Diagnostico y Manejo. Informe Final de Proyecto. Programa Ramal de Hortalizas – MINAG, pp, 171. (Inédito – Laboratorio de Nematología CENSA).
17. Yang, J, Huang, X; Tian, B; Wang, M; Niu, Q; Zhang, K. (2005), Isolation and characterization of a serine protease from the nematophagous fungus, *Lecanicillium psalliotae,* displaying nematicidal activity. *BIOTECHNOL LETT.* 27,1123–1.

ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL BIOLÓGICO – METABOLITOS MICROBIANOS.

ALTERNATIVES FOR THE BIOLOGICAL CONTROL - MICROBIAL METABOLITES.

[1]E. Nava Reyna, [1]C. Balvantín-García, [1]E. Leon, [3]G. Michelena-Álvarez, [1]A.I. Pérez Molina, [2]A. Iliná, [2]P. Segura Ceniceros, [2]J. L. Martínez-Hernández*

[1]Departamento de Biotecnología. [2]Grupo de Nanobiociencias. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza e Ing. J. Cárdenas V. POBox 252, Saltillo, Coahuila, México, ZIP 25000. [3]Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Cuba.
Email: jose-martinez@uadec.edu.mx

Resumen

En los sistemas de producción agroalimentario para ser efectivos se han empleado compuestos químicos para el control de plagas y con ello se han causado serios problemas al ecosistema y repercusiones importantes al campo y a los seres vivos. Por lo tanto el disminuir la aplicación fungicidas químicos y sustituirlos por compuesto amigables con el medio ambiente como son los compuestos biológicos es una tarea importante para la protección de nuestro ambiente. Se conoce que estos nuevos productos suelen ser menos costosos, biodegradables y seguros. El objetivo es dar a conocer los resultados y el análisis de los trabajos desarrollados por nuestro grupo de trabajo y describir la propia experiencia de alternativas de métodos de control biológicos de enfermedades de plantas, de forma particular se describen algunas alternativas de uso y aplicación de metabolitos microorganismos bacterianos y de enzimas libres e inmovilizadas para el control biológico.

Summary

In the agro-food production systems to be effective chemicals have been used for pest control and thus have caused serious problems to the ecosystem and important implications to the field and living things. Therefore, the chemical fungicides reduce the implementation and replacing compound friendly environment such as biological compounds is an important task for the protection of our environment. It is known that these new products are usually less expensive, biodegradable and safe. The aim is to present the results, analysis and described the experience of alternative methods of biological control of plant diseases, particularly described some alternative use and application of bacterial metabolites and enzymes free and immobilized for biological control.

Palabras clave: control biológico, métodos, enzyme immobilized, liposomas

keywords: biological control, methods, enzymes, immobilized, liposome.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la agricultura es el cultivo de plantas, semillas o frutos para la alimentación del ser humano y el ganado o para la obtención de productos industriales. En México se produce una gran variedad de especies entre las que destacan la caña de azúcar, maíz, sorgo, naranja, trigo, plátano, jitomate, limón, papa, entre otros, siendo esta actividad de gran importancia tanto alimentaria como económica. No obstante, los problemas asociados a microorganismos fitopatógenos producen grandes pérdidas en cultivos. Se estima que los daños a nivel mundial causado solo por los virus a las plantas ascienden a mas de 60 billones de dólares por año, afectando diversos cultivos de importancia económica (Benítez, 2005).

La solución primaria a este problema comprende la aplicación de plaguicidas químicos con sus característicos efectos negativos sobre el ambiente, y la calidad de vida de las poblaciones humanas. Además de que se ha demostrado que su eficacia puede ser de corta duración y que algunas plagas y patógenos pueden hacerse resistentes a ellos (López y col, 2005).

Las pérdidas de productos agrícolas debido al ataque de fitopatógenos (principalmente hongos) pueden alcanzar hasta el 50 % de la producción nacional. Debido a la importancia crucial que tiene la agricultura dedicada a productos de exportación en nuestro país, es importante desarrollar tecnologías para la producción, formulación y aplicación de agentes de control biológico (ACB) de fitopatógenos. La biotecnología propone la aplicación de biopesticidas, su principio activo está constituido por derivados de plantas, animales o microorganismos (principalmente bacterias y hongos), su acción es específica contra las plagas que atacan, no son perjudiciales para el entorno, generalmente son eficaces aun en pequeñas concentraciones y se descomponen rápidamente sin que permanezcan residuos dañinos en las plantas a diferencia de los pesticidas químicos. Sus principales desventajas radican en su sensibilidad a las condiciones ambientales y su dificultad para producirlos a gran escala. En el presente trabajo se analizan algunas experiencias de estas herramientas biotecnológicas, empleando extractos de microbianos y derivados de los mismos (enzimas) u otros metabolitos, formulados o no como alternativas para el control biológico.

Cada día la protección del medio ambiente se expresa en regulaciones exigentes, y el potencial de los beneficios económicos de subproductos biotecnológicos más eficientes y específicos, abren interesantes oportunidades para nuevas aplicaciones

Bacteria como agente de control biológico

Se han realizado estudios con éxito durante varias décadas, en el uso de bacterias como agentes de control biológico. Se sabe que algunas bacterias son el agente causal de enfermedades y responsables de muchas plagas, en el otro lado, otras bacterias pueden ayudar a la defensa de la planta frente a los microorganismos dañinos. La literatura ha descrito a grandes grupos que tienen efectos antagónicos contra otros microorganismos y esta acción puede ser utilizada como una forma de control biológico de patógenos de plantas.

Recientemente en nuestro grupo se evaluaron cuatro diferentes cepas de Bacillus (*Bacillus* sp., *B. subtilis*, *B. amylolyquefaciens* y *B. cereus*) para producir compuestos antifúngicos empleando a *Fusarium oxysporum* como hongo modelo. Se empleó caldo nutritivo como medio de referencia para comparar el rendimiento de la producción y actividad antifúngica de los extractos bacterianos con el caldo nutritivo adicionado al 4% con un residuo farmacéutico rico en aminoácidos (FERSINSA GB, S.A. DE C.V.), compuestos estimulantes para la producción de lipopéptidos. La actividad antifúngica de los extractos fue analizada empleando la técnica de medio envenenado y el método bioluminiscente descrito recientemente por nuestro grupo (Nava, 2011). El estudio cinético de la actividad antifúngica de los extractos por el método de bioluminiscencia de ATP demostró un aumento de la capacidad fungicida de los extractos con el paso del tiempo de fermentación, obteniendo un máximo de actividad entre las 12 y 16 horas para todas las cepas (Fig. 1), lo que corrobora que se trata de metabolitos secundarios que se metabolizan cuando los cultivos alcanzan la fase estacionaria (Jacques y col., 1999).

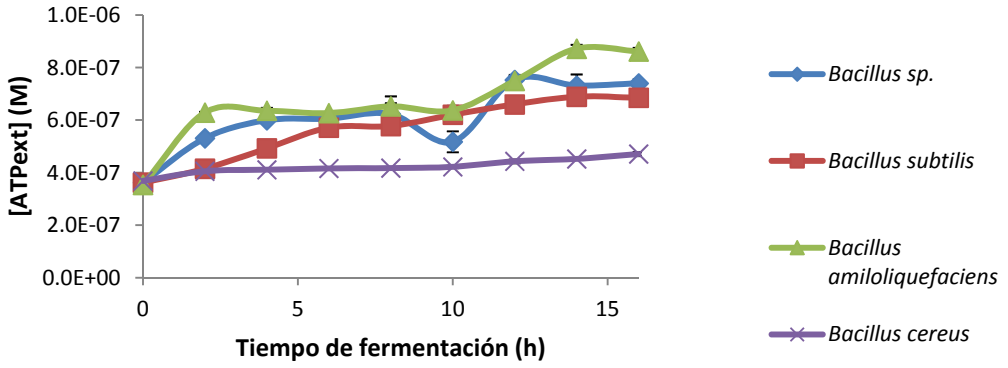


Fig. 1. Cinética del efecto micolítico de los extractos de las cepas de *Bacillus* obtenidos a diferentes tiempos de fermentación

La baja liberación de ATP de los cultivos de *F. oxysporum* tratados con los extractos de *B. cereus* por el método bioluminiscente y su incapacidad de inhibir el crecimiento radial del hongo permitió descartar a esta cepa. Existen reportes de la producción de metabolitos antifúngicos por algunas variedades de *B. cereus* como la zwittermicina A (Stabb et al., 1994) y quitinasa (Huang et al., 2005). La variedad de *B. cereus* utilizada en este estudio probablemente no produzca compuestos micolícos en cantidades suficientemente altas para utilizar sus extractos para el biocontrol de hongos pues el efecto antifúngico que presentó en ambos métodos fue muy bajo. Además, pudo observarse el mismo patrón de cambio de muerte celular con el método bioluminiscente (Δ[ATP]) y el conteo en placa (ΔUFC/ml). *B. subtilis* y *B. amyloliquefaciens* presentaron una mayor actividad antifúngica en caldo nutritivo, mientras que *Bacillus* sp. lo hizo en los extractos del cultivo en el medio adicionado al 4% con el residuo (Nava, 2011).

Las enzimas como agente de control biológico

Los grupos más grandes y especializadas de las moléculas proteinicas dentro de la célula son las enzimas. Son catalizadores orgánicos. Hay dos características principales de las enzimas, su especificidad y la velocidad de reacciones que pueden catalizar. Algunos microorganismos secretan enzimas capaces de antagonizar los hongos patógenos a través de la lisis celular. Las quitinasas y (3-1,3-glucanasas (laminarinasa) son enzimas hidrolíticas presentes en diferentes organismos, incluyendo las plantas. Se conoce que la quitinasa es antifúngico, también tienen actividad de lisozima, puede ser activo contra bacterias patogénicas. De manera similar, las laminarinasas han sido implicados en reacciones de defensa de las plantas contra patógenos por su actividad antifúngica. El sustrato de estas enzimas no está presente en las plantas, esto sugiere que estas enzimas están en la planta para su auto protección.

Existe una amplia gama de aplicaciones después de la comprensión general de las enzimas. Por ejemplo, muchos microorganismos patógenos del suelo tienen en sus paredes celulares glucanos y quitina. Estas paredes celulares pueden ser degradados por las enzimas segregadas por algunos microorganismos fúngicos para destruir los hongos fitopatógenos. Las enzimas aplicadas en el entorno del suelo se inhiben en poco tiempo por las condiciones ambientales y componentes del suelo, y sólo un pequeño porcentaje de la enzima activa pueden llegar a ser estabilizado. Se han descrito diferentes métodos para lograr la estabilidad enzimas, tales como microencapsulación, la reticulación, la formación del copolímero, la adsorción, atrapamiento, intercambio iónico, y la unión covalente

Una propuesta alternativa es la inmovilización de enzimas micoliticas, quitinasa y laminarinasa, en liposomas de lecitina de soja para analizar su estabilidad y su actividad *in vitro* contra hongo el fitopatógeno *Fusarium oxysporum* (Tabla I) (Leon, 2009). Las propiedades antifúngicas de mezclas de enzimas microencapsuladas se compararon con mezclas enzimas libres, así como un fungicida químico (tiabendazol).

El crecimiento de *Fusarium oxysporum* fue totalmente inhibido en presencia de mezclas de quitinasa y laminarinasa libre así como microencapsulada.

Tabla I. Porciento de inhibición de *Fusarium oxysporum* tratado con las mezclas de quitinasa y laminarinasa aplicadas en agar PDA en forma libre e inmovilizada en liposomas.

Mezclas de quitinasa y laminarinasa aplicadas en forma libre e inmovilizada (µg/ml: µg/ml)	**Porciento de inhibición (%) a**				
	2 días	**4 días**	**6 días**	**8 días**	**10 días**
Quitinasa-laminarinasa 10 µg/mL:10 µg/mL	33.84	52.04	59.09	73.78	74.46
Quitinasa-laminarinasa 5 µg/mL:5 µg/mL	35.38	53.06	63.63	76.69	77.02
Quitinasa-laminarinasa 10 µg/mL:5 µg/mL	100	100	100	100	100
Quitinasa-laminarinasa 5 µg/mL:10 µg/mL	100	100	100	100	83.02
Quitinasa-laminarinasa 10 µg/mL:10 µg/mL en liposomas	100	100	73.48	79.93	79.99
Quitinasa-laminarinasa 10 µg/mL:5 µg/mL en liposomas	100	100	100	100	100
Quitinasa-laminarinasa 5 µg/mL:10 µg/mL en liposomas	100	100	100	100	100

Usando 0,01 mg/ml de enzima laminarinasa y quitinasa libre o microencapsulada permite disminuir la concentración del fungicida químico en dos veces y obtener una inhibición total del crecimiento de hongos. Esto se puede traducir como una posibilidad de aplicar niveles más bajos de fungicidas químicos en los campos. Se observó un efecto sinérgico de ambas enzimas y el fungicida químico a través de la inhibición del crecimiento del micelio y la disminución del número de esporas *in vitro* de *Fusarium oxysporum* (Tabla II).

Tabla II. Porciento de inhibición de crecimiento radial y concentración de conidios recuperados de *Fusarium oxysporum* tratado con tiabendazol en presencia y ausencia de las enzimas laminarinasa o quitinasa aplicadas en forma libre e inmovilizada.

Ensayos con enzimas libres e inmovilizadas mezcladas con Tiabendazol (µg/ml: µg/ml)		**Porciento de inhibición (%) a**					**conidias/ml**
		2 días	**4 días**	**6 días**	**8 días**	**10 días**	
Tiabendazol (Fungicida)	**0:2500**	100	100	100	100	100	0
Tiabendazol (Fungicida)	**0:1250**	100	82	74	70	70	554
Quitinasa : fungicida	**10:1250**	100	100	100	100	100	0
Quitinasa : fungicida	**5:1250**	15.4	9.6	8.6	7.9	3.0	2.6E+06
Laminarinasa : fungicida	**10:1250**	100	100	100	100	100	0
Laminarinasa : fungicida	**5:1250**	17.6	17.9	19.1	20.4	25.5	3.4E+03
Quitinasa en liposomas : fungicida	**10:1250**	100	100	100	100	100	0
Laminarinasa en liposomas : fungicida	**10:1250**	100	100	100	100	100	0

Con el fin de reducir la dependencia de fungicidas químicos sintéticos se podría proponer el uso de enzimas micoliticas, libres e inmovilizados en liposomas, con el fin de controlar algunos patógenos. La inmovilización de enzimas hidrolíticas (laminarinasa y quitinasa) en liposomas puede considerarse como un método adecuado para aumentar la estabilidad de la enzima para su aplicación como agentes antifúngicos (Léon, 2009).

En un estudio reciente se realizó una investigación enfocada en la inmovilización de quitinasa y laminarinasa en bagazo de *Sargassum* spp con el propósito de analizar su estabilidad y su efectividad contra *Fusarium oxysporum* durante la producción de forraje verde hidropónico de trigo (FVH) (Balvantín, 2010). Al 10° día de producción de FVH se determinó la viabilidad fúngica expresada como UFC/ g de FVH, también se determinó masa fresca, masa seca y altura. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla III.

Tabla III. Efecto de la quitinasa y laminarinase libre e inmovilizadas en bagazo en las características del forraje verde hidropónico de trigo

Tratamiento	**Peso fresco (g)**	**Peso seco (g)**	**Altura (cm)**	**Viabilidad fúngica (UFC/g of FVH)**
Control sin F. oxysporum	38.23	5.74	19.33	5.5×10^5
Control	39.63	6.07	19.66	2.8×10^6
Quitinasa	49.86	5.85	20.33	8×10^4
Laminarinasa	47.33	5.7	20.16	1.5×10^6
Quitinasa inmovilizada	62.5	5.5	24.5	6×10^4
Laminarinasa inmovilizada	50.06	5.2	24.3	1×10^4

Los tratamientos con quitinasa y laminarinase inmovilizadas fueron efectivas para inhibir la viabilidad de los hongos comparados con el control (Tabla 1). Además, se demostró que la adición de bagazo en la producción de FVH permite incrementar su masa fresca y altura. Se puede concluir que la inmovilización de quitinasa y laminarinasa puede ser una buena alternativa para la estabilización de enzimas. Las enzimas micolíticas inmovilizadas en *Sargassum* spp pueden ser usada para el control de hongos fitopatógenos. También, la adición de bagazo en la producción de FVH permite incrementar la altura de las plantas y su rendimiento (Balvantín y col., 2013).

Conclusión

La utilización de productos naturales es la aplicación práctica cada vez mayor en la agricultura y se han desarrollado como respuesta de los organismos vivos a las condiciones cambiantes o como una forma de protección. La orientación estratégica para desarrollar nuevas formas de aplicación de estos productos que representen una ventaja mayor de estabilidad y de acción respecto a los tratamientos químicos, el desarrollo de nuevos métodos para la evaluación de estos productos, y la siembra de alternativas que represente un beneficio así como una contribución práctica al desarrollo de la agricultura son una necesidad que se requiere de manera urgente, y esto beneficiará a la protección de nuestro medio ambiente y la salud humana.

Referencias Bibliográficas

- Balvantín, G. C; Martínez, H.J.L; Hernández, H.M.L; Murillo, S.M.M; Segura, C.E.P; Ilyina, A. (2013). Afr. J. Microbiol, Res. 7(9): 1924-1932
- Balvantín, G. C. (2010), Desarrollo de la tecnología para el control de hongos fitopatógenos: estudio en forraje verde hidropónico. Tesis maestría. Universidad Autónoma de Coahuila, México.
- Benítez, B. A. (2005), Avances recientes en Biotecnología vegetal e Ingeniería Genética de plantas, Reverté, Barcelona España.
- León, J. E. (2009), Evaluación de la actividad y el efecto antifúngico sinérgico de un preparado lítico compuesto de glucanasa y quitinasa en forma libre y microencapsulada en liposomas de lecitina de soya contra *Fusarium oxisporum*. Tesis maestría. Universidad Autónoma de Coahuila, México.
- López, B. A; López B. S. R; Vázquez B. M. E.; *Rodríguez* H. S. A; Mendoza E. M., Padrón E., (2005), Revista Mexicana de Fitopatología. 23(2) 183-190
- Nava, R. E. (2011). Desarrollo de un método bioluminiscente para la evaluación del efecto antifúngico de compuestos bioquímicos en el modelo de hongos fitopatógenos *Fusarium oxisporum*. Tesis maestría. Universidad Autónoma de Coahuila, México.

EVALUACION ECONOMICA DE UN SISTEMA NOVEDOSO DE APLICACIÓN DEL BIOFERTILIZANTE ***NITROFIX***.

ECONOMIC EVALUATION OF A NEW SYSTEM OF ***NITROFIX*** BIOFERTILIZER APPLICATION

Autores: Ing.Yamila Angulo Zamora[1], Ing. Luis Mariano Oliva[2 ,], Alfredo Torres Fernández[1] y Dr. Rafael Molina[2].

yamila.angulo@icidca.edu.cu,

Institución: ICIDCA[1]-INICA[2].

RESUMEN

El precio de la urea se ha incrementado considerablemente en los últimos años en el mercado internacional, lo cual representa una fuerte erogación de divisas por parte del país. El empleo del biofertilizante ***NITROFIX,*** cuya tecnología la poseen el ICIDCA y el INICA, permite reducir en un 60 % el consumo de urea para la fertilización de la caña. De ahí la importancia de evaluar este novedoso sistema de aplicación del biofertilizante y compararlo con el sistema tradicional de fertilización.

En el trabajo se presenta la evaluación económica de un sistema de aplicación del biofertilizante ***NITROFIX*** con una máquina fertilizadora marca MARCHESAN TATU Modelo SACM[T,] que permite la aplicación de fertilizante en tres surcos simultáneamente, al centro del surco o ambos lados. Se preparó la fertilizadora agregando tres órganos de trabajo al centro de la cepa con el objetivo de enterrar el biofertilizante ***NITROFIX*** a la profundidad requerida. Con el objetivo de resolver la aplicación del biofertilizante líquido se utilizó un tanque, común a los utilizados en la tecnología de aplicación de amoniaco y el sistema neumático que poseen los tractores.
Palabras clave: *Biofertilizantes, **NITROFIX**, Evaluación económica, Aplicación agronómica*

ABSTRACT

The paper shows an economic evaluation of a biofertilizer system for ***NITROFIX*** application, using MARCHESE TATU brand fertilizer SACMT Model machine, which allows the application of fertilizer in three rows simultaneously. Fertilizer was prepared by adding three work bodies at the center of the strain with the aim of burying the bio ***NITROFIX*** at the required depth. In order to solve the application of biofertilizer liquid was used a common tank used of ammonia application and the own compressed air system of the machine.

Recently, the price of urea has increased considerably in the international market, which represents more expensive and less sustainability the process. The use of biofertilizer ***NITROFIX***, possess by both INICA ICIDCA, can reduce nearly 60% the consumption of urea content for the fertilization of sugarcane. Hence the importance of evaluating this new system and compared with the traditional one for a crop fertilization.

Key words: *Biofertilizers, **NITROFIX**, Economic evaluation, Agronomic application*

INTRODUCCIÓN

Los institutos de investigaciones del Grupo Empresarial Azucarero AZCUBA: ICIDCA- INICA, en trabajo colaborado desarrollaron la tecnología de producción del biofertilizante ***NITROFIX***, a partir de la cepa 8-INICA aislada de caña de azúcar (Fernández, 1999; Bashan y Levanony, 1990) y el ***AZOSPIRILLUM*** que es su principio activo. El producto comenzó a producirse de forma demostrativa en las instalaciones de la planta de Bioprocesos Cuba 10 desde el 2009, lo que permite ir ajustando el proceso para la producción a mayor escala contemplada en los planes inversionistas de AZCUBA, en Cuba.

El producto final se presenta en forma líquida, para ser disuelto en agua y aplicado en el campo preferentemente en forma enterrada al centro o ambos lados del surco (Fernández, 1999; Fages, 1992). En la agricultura cañera cubana se utiliza principalmente los fertilizantes minerales y el compost, la cachaza y otros tipos de materia orgánica de forma extensiva. En algunas locaciones se aplican las vinazas como un complemento nutricional a la plantación. La aplicación agronómica extensiva del ***NITROFIX*** en este cultivo es reciente después de validarse su efectividad en este cultivo (Okon y Labandera González, 1994; Roldos, Casas, Delgado y Pérez, 1994).

En el parque de maquinaria de AZCUBA existen los equipos idóneos para la aplicación de fertilizantes líquidos en forma enterrada en el suelo. Para la validación del producto ***NITROFIX*** en explotación se establecieron ciertas recomendaciones y requisitos:

- El biofertilizante sustituirá el 60% de la urea necesaria según la recomendación del SERFE.
- Las aplicaciones se realizaran de forma enterrada a una profundidad de 10 a 15 cm.
- Durante la aplicación del biofertilizantes este no debe tener contacto con el fertilizante nitrogenado utilizado.
- Preferentemente se aplicarán simultáneamente el biofertilizantes líquido y la cantidad recomendada de fertilizante inorgánico.

Para evaluar la efectividad del biofertilizante ***NITROFIX*** (líquido) en diferentes tipos de suelos en los que se cultiva la caña de azúcar, se diseño y construyó una máquina capaz de aplicar la solución del biofertilizante ***NITROFIX*** al centro de las cepas de caña enterrándolo a una profundidad entre 10 y 15cm (Oliva, 2010).

Este equipo consiste en un tanque de acero, cerrado herméticamente ubicado en un soporte en la parte frontal de los tractores al cual se conecta a un conducto que lo presuriza aire a 8 bar proveniente del compresor del tractor*, y un conducto que lleva el producto hasta los órganos de trabajo de la maquina fertilizadora. El sistema permite la variación de las dosis de la solución del biofertilizantes mediante la válvula reguladora de entrega en amplio diapasón. Formando agregado con un fertilizador TATU SACM^{T} para la aplicación de fertilizantes inorgánicos sólidos al centro ó a ambos lados de la hilera de caña según el requerimiento. Los órganos de trabajo originales de la maquina se modificaron para evitar atoros con la cobertura de paja y se adicionaron los dispositivos para aplicar la solución de biofertilizante. El diseño y construcción de esta máquina permite ser utilizada con cualquiera de los agregados ***tractor + fertilizadora*** de los introducidos en nuestra agricultura cañera posibilitando la aplicación enterrada de la solución de ***NITROFIX*** ya que no existen en nuestro parque de maquinaria agrícola agregados que puedan hacer simultáneamente la aplicación de fertilizantes inorgánicos sólidos y biofertilizantes líquidos en un solo pase de maquinaria en el campo por lo que se disminuye el consumo de combustible y se reduce la compactación al campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de evaluar la efectividad de biofertilizantes líquido ***NITROFIX***, aplicado a diferentes tipos de suelos en los que se cultiva la caña de azúcar, se diseñó un equipo que se agrega a los tractores utilizados en la tecnología de aplicación de fertilizantes. Los tractores introducidos en la agricultura cañera en nuestro país poseen, en su gran mayoría, un sistema de aire comprimido diseñado para el accionamiento de los frenos neumáticos de los remolques cañeros, estos sistemas trabajan a una presión constante no mayor de 800 kPa.

En nuestra agricultura cañera existe una tecnología de aplicación de amoniaco anhidro, constituido en otros aditamentos por un tanque de aproximadamente 500 litros de capacidad en el cual se coloca el gas a alta presión para ser aplicado en el campo. Estos tanques están sujetos a un control constante sobre su seguridad, por lo que cuando no cumplen ciertos parámetros son dados de baja y sustituidos.

Con el objetivo de resolver la aplicación del biofertilizantes líquido se utilizó un tanque, dado de baja, de los utilizados en la tecnología de aplicación de amoniaco y el sistema neumático que poseen los tractores.

Como se observa en la Fig. 1, las modificaciones del tanque consistieron en habilitar una conexión para la entrada de aire comprimido al tanque (4), una apertura para el llenado del tanque con la solución, la limpieza y esterilización (5), una válvula para el drenaje (4) y la válvula regulable de entrega con mando a distancia (3). Una vez modificado el tanque se coloca en la parte frontal del tractor a utilizar en unos soportes especiales y que son utilizados normalmente en los equipos para la aplicación del amoniaco anhidro.

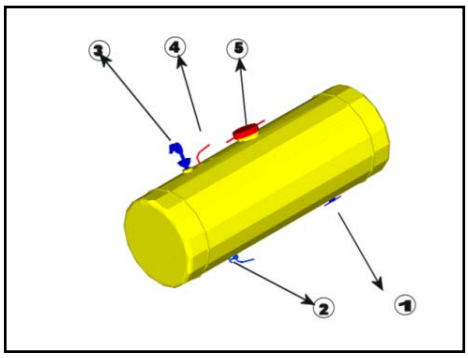


Fig. 1. Modificaciones del tanque de aplicación del biofertilizante:

A la salida de presión del tanque neumático se conecta una manguera que suministra el aire a presión al tanque con la solución. Desde la válvula regulable de entrega se lleva el producto por medio de una manguera a la máquina conectada al tractor, en la cual se disponen las boquillas de salida por las que se entregara el producto al suelo. Estas boquillas fueron calculadas para garantizar una entrega uniforme por cada una de ellas, en el caso de que se entregue el líquido a más de un surco simultáneamente.

Este tanque modificado denominado **APLICADOR INICA** se acopla a una máquina fertilizadora marca MARCHESAN TATU Modelo SACM^{T,} que permite la aplicación de fertilizante a tres surcos simultáneamente, al centro del surco o ambos lados. Se preparo la fertilizadora agregando tres órganos de trabajo al centro de la cepa con el objetivo de enterrar el biofertilizante ***NITROFIX*** a la profundidad requerida.

Finalmente, la tecnología de aplicación consiste en aplicar simultáneamente el biofertilizante líquido enterrado al centro de la cepa de caña y la dosis de urea recomendada por el SERFE a ambos lados con el siguiente equipamiento:

- Tractor Bielarus 1221
- Fertilizador TATU SACM^{T}.
- Aplicador INICA.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El costo de aplicación del biofertilizante líquido se calculó teniendo en cuenta los indicadores de consumo establecidos por AZCUBA y a las características técnicas de los tractores y equipos agrícolas utilizados durante la validación. Se consideró como base para el cálculo una jornada de trabajo de 8 horas en campo, teniendo en cuenta la efectividad de cada tipo de agregado. Se incluyó la estimación del combustible consumido en cada tecnología, según los indicadores dados en las fichas de costo vigentes. En la Tabla 1 se muestran los indicadores del costo del sistema propuesto y de la tecnología de fertilización tradicionalmente empleada.

Tabla I. Costo de aplicación del biofertilizante líquido ***NITROFIX***

Diferentes Tecnologías de Aplicación Analizadas.	Área total por jornada de 8 horas de trabajo (ha)	Costo tecnología por hectárea		Costo de insumos por hectárea (CUC/ha)	
		$/ha	CUC/ha	**NITROFIX**	Urea
Agregado Tractor Bielarus 1221 + TATU SACMT+Fertilizador F-350 (40%) + APLICADOR INICA.	**9,6**	**275,40**	**152,84**	**25,00**	**25,29**
Agregado Tractor IUMZ-6M + Fertilizador F-350 SERFE (100%)	**4,5**	**273,68**	**192,30**	**0,00**	**31,60**

Nota: Elaboración Propia.

Se aprecia en la tabla 1 como la aplicación del nuevo sistema provoca una reducción del 20% en los costos de fertilizantes químicos, expresados en moneda libremente convertible (**MLC**), lo que hace el sistema más compatible con el medio ambiente. Por otra parte, se observa una reducción del 20,6 % en el costo de aplicación, al expresarlo en moneda libremente convertible, al compararlo con la tecnología de fertilización tradicional. Si este sistema de aplicación se extendiera al 30 % del área actual dedicada al cultivo de la caña de azúcar (180 Mha), se obtiene un ahorro neto al país, por concepto de sustitución de importaciones de 7,1 MMCUC.

CONCLUSIONES

- El uso de la máquina diseñada y construida **Aplicador INICA** permite ser utilizada para aplicar fertilizantes líquidos con cualquier agregado de fertilización introducido en el país.
- La tecnología de aplicación de biofertilizantes líquidos ***NITROFIX*** con la tecnología que utiliza el **Aplicador INICA** logra una disminución en el costo de aplicación de 39,46 CUC por hectárea en comparación con la tecnología de fertilización tradicional
- Este sistema representa un ahorro de 6,31 CUC por hectárea por concepto de urea empleada (fertilizante químico).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Fernández, R. (1999). Obtención y evaluación de un inoculante microbiano a partir de Azospirillum sp. Tesis para optar por el título de maestro en microbiología, Mención Fermentaciones, La Habana.
2. Bashan, Y.; Levanony, H. (1990). Current status of Azospirillum inoculation technology: Azospirillum as a challenge for agriculture. Can J. Microbiol. 36: pp.591-608.
3. Fages, J. (1992). An Industrial view of Azospirillum Inoculants: formulation and application technology. Symbiosis, 13: pp. 15-26.
4. Okon, Y.; Labandera González, C. (1994). Agronomic application of Azospirillum: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation: A review. Soil Biol. Biochem, 12: pp.1591-1601.
5. Roldos, J.; Casas M., Delgado A. y Pérez, J. (1994). La biotecnología aplicada a la agricultura. XVII Reunión latinoamericana de rhizobiología. Resúmenes, 109-110. La Habana.
6. Oliva, M. L. (2010). Diseño y construcción de equipo para la aplicación de biofertilizantes líquidos (soluciones de Azospirillum) conectadas con las fertilizadoras integrales. Ponencia, La Habana.

EFECTO DE LOS BIOPRODUCTOS GLUTICID Y FITOMAS-E EN EL CULTIVO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum L.)*

EFFECT OF THE BIOPRODUCTS GLUTICID AND FITOMAS-E IN THE CULTIVATION OF THE TOMATO (*Solanum lycopersicum L.)*

Maida Calderón [1], Orlando Padrón[2], Josefa Ruiz [1], Felipe Burón [1], Miguel Ángel Hernández [3].

[1] ***Instituto Nacional d Ciencias Agrícolas (INCA)***
[2] ***CCS Manuel Fajardo.***
[3] ***Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA)***
e-mail: maida@inca.edu.cu

Resumen.

El presente trabajo se realizó en un huerto intensivo de San José de las Lajas con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de los bioproductos Gluticid y Fitomas-E en el cultivo del tomate, var. Mara, Se realizaron diferentes evaluaciones en algunas variables del crecimiento y desarrollo, así como se determinó su rendimiento. Los resultados mostraron la efectividad agrobiológica de los bioproductos utilizados en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo, confirmándose la efectividad de los mismos como bioestimulantes del crecimiento vegetativo y su contribución al rendimiento agrícola, además de demostrar el aporte que realizan a la producción ecológica de esta hortaliza.
Palabras claves: Tomate, productos biológicos, crecimiento, desarrollo.

Abstract.

The present work was carried out in area of San José de las Lajas with the objective of evaluating the effect of application of the bioproducts: Gluticid and Fitomas-E in the cultivation of tomato, var. Mara. Different evaluations were carried out in some growth and development parameters, as well as the yield was determined. The results showed the effectiveness of bioproducts in the growth and development in this crop, standing out the treatments that they received the applications of same; being confirmed the bioproducts effectiveness on vegetative growth and high yields, besides, it allows an ecological production of this crop.
Key words: Tomato, bioproducts, growth, development.

Introducción.

El cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum L*.) es uno de los cultivos mas importantes, al ser considerada la hortaliza mas codiciada por su gran demanda para el consumo fresco y como producto industrial, ya que es en una de las fuentes principales de vitaminas y minerales para la población. Sin embargo, este cultivo requiere de la aplicación de nutrientes para obtener buenos rendimientos, el empleo de bioestimulantes o bioproductos es una alternativa económica y ecológica que logra estos resultados, por medio de la misma las plantas, son capaces de poner a disposición de las mismas mediante su actividad biológica, una parte importante de las sustancias nutritivas que estas necesitan para su crecimiento y desarrollo, dado que el uso indiscriminado de productos químicos en la agricultura ha provocado un efecto desfavorable sobre la calidad biológica de los alimentos y sobre la calidad del hombre, ya que son altamente derrochadores de energía y

alteran completamente las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos según Altieri, (1997). Todo esto ha traído consigo que se mejore la calidad biológica de los alimentos a través de la utilización de los recursos naturales disponibles en los agroecosistemas.

De Liñan, (2000) plantea que la aplicación de bioproductos a los cultivos va teniendo cada vez mas importancia desde el punto de vista económico y ecológico, además de que actúan como estimuladores o reguladores del crecimiento de las plantas. Los bioestimulantes contienen principios activos, que actúan sobre la fisiología de las plantas, que aumentan su desarrollo y mejoran su productividad , un ejemplo de estos se encuentra el Fitomas y el Gluticid. Este último además de ser un bioestimulador es considerado un biocontrolador porque protege a la planta contra el ataque de hongos.

El Fitomas-E, producto natural derivado de la industria azucarera. Fitoestimulante de aplicación foliar o radicular, ayuda a la superar las afectaciones por déficit nutricional, sequía, exceso de humedad, y ataque de plagas (Montano, 2008).

El Gluticid es un biofungicida de naturaleza bioquímica, *para uso fitosanitario, c*onstituido por metabolitos antifúngicos de naturaleza fenólica, sideróforos, (Pioverdin Tipo II), ácido salicílico y sulfato de amonio como soporte. Su modo de acción es la inhibición de los hongos patógenos por medio de metabolitos antifúngicos de naturaleza fenólica y la competencia por el hierro trivalente. Su efecto resulta comparable con el Mancozeb y Zineb, se sugiere su empleo en los programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y su mayor contribución está en la protección preventiva y al inicio de la incidencia de los patógenos (Villa, 2000).

Teniendo en cuenta estas características, se realizó este trabajo con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación del Gluticid y el Fitomas en el cultivo del tomate, var. Mara.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el período 2009-2010 en un huerto intensivo perteneciente a la CCS Manuel Fajardo de San José de las Lajas, provincia Mayabeque. La variedad de tomate empleada fue Mara, y se estudiaron 3 tratamientos, dos recibieron la aplicación de los bioproductos: Gluticid, Gluticid + Fitomas-E y un tratamiento Control. El diseño fue un completamente aleatorizado.

Los bioproductos fueron aplicados de forma foliar, es decir asperjados, el Fitomas a una dosis de 1 ml/L una aplicación a los 15 días después de la siembra y otra a los 15 días posteriores a la plantación. El Gluticid se aplicó sumergiendo las semillas por 15 minutos en dosis de 6 g/L.

Se realizaron evaluaciones de crecimiento como altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas a la postura y a parámetros del rendimiento como número de racimos, flores y frutos y su rendimiento.

Los resultados se procesaron estadísticamente a través de un Análisis de Varianza de Clasificación Simple y a las medias se les aplicó la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan en caso de existir diferencias significativas entre los tratamientos.

Resultados y Discusión

En la Tabla I se presentan los primeros resultados referentes al crecimiento de las plántulas en la evaluación realizada en el trasplante. Como se aprecia, no se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos referentes a la altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas siendo el tratamiento que recibió la combinación de los bioproductos el mejor comportamiento, demostrando la efectividad de los mismos en la obtención de una postura de buena calidad, sana y con buen crecimiento.

Tabla I. Influencia de los bioproductos en algunos parámetros del crecimiento.

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Número de Hojas
Gluticid + Fitomas-E	19.4 a	0.50 a	7.0 a
Gluticid	14.8 b	0.29 b	4.6 b
Control	13.2 b	0.38 b	5.3 b
ES x	1.13 ***	0.02***	0.31***

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p< 0.05$ y $p<0.001$

En la tabla II se muestran los resultados de algunos de la influencia de los bioproductos en parámetros del rendimiento, donde se volvió a obtener que la combinación de los bioproductos fue la de mayor número de racimos por planta, número de racimos y flores (13.00 y 28.50 respectivamente), esto demuestra que al aplicar los mismos se estimuló el desarrollo de las plantas, aumentando su potencial productivo, además que presentaba menos posibilidad de contraer una enfermedad, con relación al control. Resultados obtenidos por Méndez y otros (2009) destacan la efectividad del Fitomas sobre la estimulación del rendimiento así como Carballo y otros (2003) plantean que el Gluticid le confiere a la planta mejores condiciones para enfrentar el ataque de un agente patógeno al hacerlas mas resistentes.

Tabla II. Influencia de los bioproductos sobre componentes del rendimiento.

Tratamientos	Número de Racimos	Número de Flores	Número de Frutos
Gluticid + Fitomas-E	13.00 a	28.50 a	11.80 a
Gluticid	6.50 c	18.20 b	8.80 b
Control	9.80 b	13.50 b	7.10 b
ES x	0.93 ***	2.23 ***	0.66 ***

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p< 0.05$ y $p<0.001$

De forma similar, se obtuvo en los valores de rendimiento (tabla III), donde se demostró la efectividad de los bioproductos en la obtención de mayores resultados, siendo superior el rendimiento (1.87 kg).por planta en el tratamiento que recibió la combinación de ambos bioproductos

Tabla III. Influencia de los bioproductos sobre el rendimiento

Tratamientos	Peso de un fruto (g)	Rendimiento por planta (kg)
Gluticid + Fitomas-E	158.66 ab	1.87 a
Gluticid	179.16 a	1.58 ab
Control	102.49 b	0.72 b
ES x	21.1 **	0.15 **

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p< 0.05$ y $p<0.001$

Esto corrobora lo planteado por Carballo y otros (2003), a cerca del uso de los bioproductos dado que los mismos presentan sustancias que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de conferirles propiedades protectoras contra el ataque de patógenos.

Conclusiones

De forma general, se puede concluir que la combinación de los bioproductos Gluticid+Fitomas- E resultó ser muy efectiva en la obtención de una postura de buena calidad y una planta con buen desarrollo productivo y mayor rendimiento agrícola.

Esto es posible porque el Fitomas-E es un producto biológico que no produce daños al medio ambiente, resaltando de esta forma las ventajas de su utilización en la agricultura sostenible. De igual forma, el empleo

del Gluticid también aporta beneficios al proteger las plantas contra el ataque de hongos lo que posibilita igualmente, el aumento de los rendimientos

Recomendaciones

Se recomienda la aplicación combinada de Gluticid y el Fitomas en el cultivo del tomate.

Bibliografía

1-Altieri, M. (1997). Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. *CLADES. ACAO*, 3ra Ed. La Habana, 249p.

2-Carballo, O., Trujillo J., Álvarez E. Pomares Y. y Villa**,** Pilar. (2003). Toxicidad aguda del fungicida biológico Gluticid en planta acuática: *Lemna minor*. *RETEL Sertox* © Copyright Pág/21.

3-De Liñan, V. (2000). *Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales*. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España., 655 p.

4-Méndez, J., Chang, R. y Salgado, Y. (2011). Influencia de diferentes dosis de Fitomas-E en el cultivo del fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Granma Ciencia*, 15 (2). Recuperado en abril 20, 2012 disponible en www/revistas/grciencia.

5-Montano, R. (2008). FitoMas E, bionutriente derivado de la industria azucarera. Composición, mecanismo de acción y evidencia experimental. *Boletín Informativo*. ICDCA.

6-*Villa, P*. (2000). Gluticid *Expediente preliminar.*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA.

LEBACID: BIOPRODUCTO CON EFECTIVIDAD AGROBIOLÓGICA EN EL CULTIVO DEL TOMATE (SOLANUM LICOPERSICUM M)

LEBACID: BIOPRODUCT WITH AGROBIOLOGICAL EFFECTIVITY ON TOMATO CROP (*SOLANUM LICOPERSICUM* M)

Autores: Yudines Carrillo Sosa[1], Elein Terry Alfonso[1]; Josefa Ruiz Padrón[1] y María E Díaz de Villegas[2]

1. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Cuba. yudines@inca.edu.cu
2. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)

RESUMEN

La inoculación de Microorganismos Eficientes al ecosistema mejora la calidad y salud del suelo, así como el crecimiento, producción y calidad de los productos, ayuda al proceso de descomposición de materiales orgánicos así como, mejora el sistema inmunológico de las plantas. El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar la efectividad del bioproducto *Lebacid*, obtenido a partir de microorganismos eficientes, evaluando la respuesta de las semillas de tomate así como de las plántulas a diferentes concentraciones del producto y a dos momentos de aplicación a las plantas. Para ambos casos, se tuvo en cuenta las dosis de 20 y 25 $l.ha^{-1}$, la evaluación en semilla tuvo en cuenta tres tiempos de imbibición y la aspersión a las plantas se realizó indistintamente a los 10 y 20 días después de la siembra. Los resultados mostraron una respuesta positiva del tomate al producto *Lebacid*, el porcentaje de germinación se vio estimulado por la dosis de 25 l.ha con un tiempo de imbibición de 3 y 6 horas las cuales difirieron estadísticamente del tratamiento control. En el caso de las plántulas, el mayor estímulo del crecimiento a los 15 después de la siembra (DDS), se obtuvo con la dosis de 20 $l.ha^{-1}$ asperjada a los 15 DDS; en cambio, a los 25 DDS el mayor estímulo se obtuvo con la dosis de 25 $l.ha^{-1}$, sobresaliendo un 38% de incremento de rendimiento de masa seca con respecto al tratamiento control

Palabras clave: Microorganismos Eficientes, germinación, crecimiento, tomate

ABSTRACT

The inoculation of Efficient Microorganisms to the ecosystem improves the quality and health of soil, as well as the growth, production and quality of the products, help to the process of decomposition of organic materials as well as, it improves the immunologic system on plants. The present work was developed with the objective of evaluating the effectiveness of the bioproduct *Lebacid*, obtained starting from efficient microorganisms, evaluating the answer of the tomato seeds as well as of seedlings to different product concentrations and two application moments on plants. For both cases, doses of 20 and 25 $l.ha^{-1}$ were studying, the evaluation in seed had three times of imbibition and the foliar aspersion was carried out indistinctly to the 10 and 20 days after sowing seeding. The results showed a positive answer from tomato to bioproduct *Lebacid*, the germination percentage was stimulated by the dose of 25 $l.ha^{-1}$ with a time of imbibition of 3 and 6 hours which differed statistically of control treatment. In the case of seedlings, the biggest stimulus on growth at the 15 after sowing seeding, it was obtained with the dose from 20 $l.ha^{-1}$ to the 15 after sowing seeding; on the other hand, to the 25 sowing seeding, the biggest stimulus was obtained with

the dose of 25 $l.ha^{-1}$, standing out 38% of increment on yield of dry mass with regard to the control treatment.

Key words: Efficient microorganims, germination, growth, tomato.

INTRODUCCIÓN

Conforme van pasando los años se hacen más evidentes los daños que causa el uso indiscriminado e inconsciente de fungicidas, plaguicidas y fertilizantes químicos; provocando efectos negativos y acumulativos en suelo, plantas, animales y el hombre. Las prácticas agrícolas llevadas a cabo durante décadas, en las cuales se ha hecho una explotación exhaustiva del recurso suelo, aunado a la adición excesiva defertilizantes y agroquímicos, han conducido a un desequilibrio de la ecología microbiana del suelo según Terry y Ruiz (2005), lo cual se manifiesta en aspectos físicos,químicos y biológicos.

Un papel importante para las plantas es representado por las bacterias benéficas del suelo, ya que al asociarse con ellas les permiten, por una parte, aumentar su crecimiento y desarrollo y, por otra, las protegen contra otros organismos del suelo que causan enfermedades. El uso a gran escala de estos microorganismos como biofertilizantes en cualquier sistema de producción agrícola traería grandes beneficios, puesto que son más baratos que los de origen inorgánico, tienen efectos positivos en las plantas (similares a los de un fertilizante químico) y no ejercen un impacto ecológico perjudicial en el ambiente ni en la salud humana según Idris y otros, (2008)

Dentro la amplia gama de productos orgánicos utilizados en los sistemas de producción agrícola y que pueden emplearse en diferentes fases fisiológicas de las plantas favoreciendo el desarrollo radicular, reciclaje y asimilación de nutrientes así como el control antagónico de patógenos, son utilizadas ciertas especies de Microorganismos Eficientes (ME) de diversos géneros los cuales han sido empleados en la práctica para incrementar la producción de múltiples cultivos, ya sea por su participación en el control biológico de hongos y bacterias fitopatógenos, por su relación con la inducción del estado de resistencia sistémica adquirida, o por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, entre una diversidad de actividades biológicas según Carrillo y otros,(2000).

La tecnología Microorganismos Eficientes está siendo utilizada para reemplazar agroquímicos y fertilizantes sintéticos en varios cultivos, los (ME) en la agricultura se enfocan en el mejoramiento de la calidad del suelo construyendo una microflora balanceada con la mayoría de especies de microorganismos benéficos y también se consideran un efectivo estimulador del crecimiento de las plantas. De acuerdo a estos antecedentes, el presenta trabajo tuvo como objetivo general, evaluar el efecto agrobiológico del producto Lebacid obtenido a partir de microorganismos eficientes en la germinación y el crecimiento de plántulas de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA -Provincia Mayabeque), entre los meses de septiembre – diciembre de 2012.
El suelo en el cual se desarrollaron los trabajos experimentales, se clasifica como Ferralítico Rojo compactado, según el mapa 1.25 000 de la Dirección Nacional de Suelos del MINAG según Hernández, (1999), mostrándose alguna de sus características químicas en la Tabla I; donde, a excepción de la materia orgánica que es baja, tanto el pH como los cationes cambiables, se encuentran en el rango considerado adecuado para el normal desarrollo del cultivo.

Tabla I. Características químicas del suelo.

Profundidad (cm)	pH H_2O	M.O (%)	P_2O_5 (ppm)	Cationes cambiables ($cmol.kg^{-1}$)		
				K+	Ca++	Mg++
0-12	7.5	1.61	298.0	0.5	16.0	2.0
12-22	7.4	1.67	2.95.0	0.5	17.5	2.5

El cultivo estudiado fue el tomate (*Solanum licopersicon* M.), cultivar ´Mara´ procedente del Programa de Mejoramiento Genético del INCA. El bioproducto *Lebacid* es obtenido por el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y el mismo está compuesto por los microorganismos *Bacillus Subtilis*, *Lactobacillus bulgaricum* y *Saccharomyces cervisiae*, contando con un título de 10^6 ufc.ml^{-1}. La investigación se desarrolló en dos etapas del cultico: I. Efecto del *Lebacid* en la germinación de las semillas y II: Efecto del *Lebacid* en el crecimiento de las plántulas.

Para el experimento de germinación, se emplearon tres tiempos de imbibición y dos dosis. Las semillas de tomate se embebieron durante una, tres y seis horas, en las dos dosis del bioproducto concebidas para este experimento, D1 (20 $l.ha^{-1}$) y D2 (25 $l.ha^{-1}$) (Tabla II).

Tabla II. Tratamientos estudiados

Tratamientos	Tiempos de imbibición.	Dosis de aplicación de ME
T1	1 Hora	100 $ml.l^{-1}$
T2	3 Hora	100 $ml.l^{-1}$
T3	6 Hora	100 $ml.l^{-1}$
T4	1 Hora	125 $ml.l^{-1}$
T5	3 Hora	125 $ml.l^{-1}$
T6	6 Hora	125 $ml.l^{-1}$
T7 control	1 Hora	agua
T8 control	3 Hora	agua
T9 control	6 Hora	agua

Se colocaron 20 semillas por placas petri para lo cual se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 9 tratamientos, cinco repeticiones y un control, el cual se embebió en agua para cada tiempo, para un total de 45 placas Petri; las mismas se mantuvieron en la oscuridad y se evaluó diariamente el total de semillas germinadas. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante un Análisis de Varianza simple.

Las evaluaciones realizadas fueron el porcentaje (%) de semillas germinadas, tomándose como criterio de germinación la emisión de la radícula, estos datos fueron transformados mediante la fórmula arcos√ (%) y el Índice de Velocidad de Germinación (IVG) mediante la fórmula:

$$IVG = \sum (ni/ti)$$

Donde:

IVG – Índice de velocidad de germinación

ni – número de semillas germinadas

ti – tiempo necesario para alcanzar el mayor porcentaje de germinaciónPosteriormente, se evaluaron 20 plantas por cada tratamiento a las que se les midió el largo del hipocotilo (cm) y el largo de la radícula (cm).

Para evaluar el efecto en las plántulas, se partió de un semillero tradicional donde se estudiaron 5 tratamientos distribuidos en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Los tratamientos estudiados fueron los siguientes:

Tabla III. Tratamientos estudiados en semillero

Tratamientos	Dosis	Momentos de aplicación
T1.	20 $l.ha^{-1}$	10 DDS
T2	25 $l.ha^{-1}$	10 DDS
T3	20 $l.ha^{-1}$	10 y 15 DDS
T4	25 $l.ha^{-1}$	10 y 15 DDS
T5	Control (sin Lebacid)	

Las aspersiones foliares se realizaron temprano en la mañana (8:00-9:00 am), para aprovechar la apertura estomática de las hojas; las mismas se hicieron manualmente utilizando una mochila de 16 L de capacidad con boquilla de cono a presión constante.A los 15 y 25 días después de la siembra (DDS), a 20 plantas por tratamiento se les realizaron las evaluaciones del crecimiento, tales como el número de hojas por planta, la longitud radical (cm), diámetro del tallo (cm) y las masas fresca y seca foliar y radical (g).

Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente a través de un Análisis de Varianza de Clasificación Simple y a las medias se les aplicó la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, en caso de existir diferencias significativas entre los tratamientos. Se utilizó el programa SPSS (versión 9.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- **Efecto del *Lebacid* en la germinación de semillas de tomate**

En la Tabla IV se muestra el efecto del producto en el porcentaje de germinación y algunas variables relacionadas con el crecimiento de las plántulas. En el caso del porcentaje de germinación, se obtienen resultados muy similares entre los tratamientos, se evidencian porcentajes alrededor del 50% lo cual se considera bajo, este resultado está relacionado con la calidad de la semilla utilizada la cual no contaba con un poder germinativo adecuado. En cuanto al índice de velocidad de la germinación en general se obtuvo un comportamiento similar entre los tratamientos estudiados.

Por otra parte, referido al largo de la radícula, el mejor comportamiento se obtuvo en el tratamiento testigo con 3 horas de imbibición (imbibición en agua) el cual difirió estadísticamente de los restantes tratamientos. Para la variable largo del hipocotilo, no existen diferencias entre la imbibición durante 3 horas a la dosis de 20 $l.ha^{-1}$ con respecto al testigo durante esta misma cantidad de horas; también la dosis de 25 $l.ha^{-1}$ pero con 1 hora de imbibición, no difirió del testigo, los tratamientos con el producto independientemente de la dosis y del tiempo de imbibición no difirieron entre sí para esta variable.

Tabla IV. Efecto del *Lebacid* en la germinación de las semillas.

Tratamientos		Variables evaluadas			
Dosis	**Tiempos de imbibición**	**Largo de la Radícula (cm)**	**Largo del Hipocotilo (cm)**	**IVG**	**Germinación %**
20 l.ha-¹	1 Hora	5.24 de	4.24 b	**3.26 ab**	49 ab
	3 Hora	6.30 dc	**4.52 ab**	**3.13 ab**	47 ab
	6 Hora	4.93 e	4.37 b	2.60 b	39 b
25 l.ha-¹	1 Hora	4.93 e	**4.53 ab**	**3.2 ab**	48 ab
	3 Hora	7.14 b	4.08 b	**3.13 ab**	**52 a**
	6 Hora	5.83 cde	4.17 b	**3.66 a**	**55 a**
Control	1 Hora	6.97 b	4.27 b	**2.86 ab**	43 ab
	3 Hora	**8.18 a**	**5.0 a**	**3.46 a**	47 ab
	6 Hora	6.70 bc	4.35 b	**3.33ab**	50 ab
ESx		0.35*	0.18*	0.30*	4.50*

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p≤0,05

- **Efecto del Lebacid en el crecimiento de plántulas de tomate**

El efecto del *Lebacid* en la etapa del semillero del cultivo, se aprecia en la Tabla V, a los 15 DDS, sólo se obtuvo diferencias significativas para la variable masa fresca foliar, siendo superior en el tratamiento donde se utilizó la dosis de 20 $l.ha^{-1}$.

Tabla V. Efecto del *Lebacid* a los 15 días después de la siembra

Tratamientos	No Hojas	Altura (cm)	L. Raíz (cm)	Diámetro (cm)	M. F. Foliar (g)	M.F. Radical (g)	M. S. Foliar (g)	M.S. Radical (g)
T1 (20 l.ha-10 DDS)	4.0	10.27	7.48	0.42	**3.83 a**	0.38	0.31	0.032
T2 (25 l.ha-10 DDS)	4.4	10.26	7.65	0.42	3.60 ab	0.39	0.28	0.028
T3 (20 l.ha-15 DDS)	4.1	10.45	7.63	0.40	3.53 ab	0.35	0.28	0.031
T4 (25 l.ha-15 DDS)	4.0	9.5	7.75	0.39	3.34 ab	0.28	0.26	0.028
T5 (Control)	4.2	10.21	7.55	0.39	3.10 b	0.34	0.32	0.032
ESx	0.15 NS	0.46 NS	0.34 NS	0.01 NS	0.25*	0.05 NS	0.024 NS	0.003NS

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p≤0,05

En cambio, a los 25 DDS (Tabla VI), se obtienen diferencias significativas entre las variables evaluadas, excepto para el diámetro del tallo. En el caso del número de hojas por planta, todos los tratamientos fueron superiores al control; para la altura de las plantas y el largo de la raíz fue superior el crecimiento con la dosis de 25 $l.ha^{-1}$ asperjada a los 10 DDS la cual no difirió de los tratamientos con Lebacid pero sí fue

estadísticamente diferente del tratamiento control. Para el caso de la masa fresca foliar y radical, todos los tratamientos con Lebacid superan al control.

Tabla VI. Efecto del *Lebacid* a los 25 días después de la siembra

Tratamientos	No Hojas	Altura (cm)	L. Raíz (cm)	Diámetro (cm)	M.S. Foliar (g)	M.F. Radical (g)	M.S. Foliar (g)	M.S. Radical(g)
T1 (20 l.ha-10 DDS)	**6.3 a**	23.95 ab	8.66 ab	0.52	**18 a**	0.68 ab	0.82ab	0.14ab
T2 (25 l.ha-10 DDS)	**6.15a**	**25.22 a**	**9.28 a**	0.52	**17.7a**	0.68 ab	**0.86 a**	**0.20 a**
T3 (20 l.ha-15 DDS)	**5.95 a**	23.87 ab	8.85 ab	0.48	14.5 bc	0.54 bc	0.77 ab	0.14 ab
T4 (25 l.ha-15 DDS)	**6.00 a**	23.02 ab	8.12 ab	0.48	17.0 ab	0.67 b	0.68 ab	0.11b
T5 (Control)	5.30 b	22.26 b	7.98 b	0.52	13.25 c	0.43 c	0.62 c	0.09 b
ESx	0.18*	0.80*	0.42*	0.01 NS	1.15*	0.06 *	0.06*	0.25*

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p≤0,05

Una manera de evaluar el rendimiento en la fase de semillero, es a partir del comportamiento de la masa seca de las plantas. Como se observa existieron diferencias significativas entre los tratamientos tanto para la masa foliar como para la radical. En el caso de la foliar, los tratamientos con *Lebacid* superan al tratamiento Control, con la dosis de 25 $l.ha^{-1}$ aplicada a los 10 DDS, se obtiene un incremento del 38 % con respecto al control. En el caso de la masa seca radical es diferente el comportamiento entre los tratamientos, solo el T2 supera al control en más de un 100%, lo cual confirma la efectividad del producto en esta etapa del crecimiento de las plantas.

Los resultados obtenidos mostraron la capacidad de este grupo de microorganismos de modificar la ecofisiología de las plantas. Algunos autores refieren que la interacción cepa-planta-ambiente es relevante para los resultados de inoculación que se pueden obtener; además, plantean que la respuesta a la inoculación puede ser variable y que los microorganismos presentes pueden colonizar y permanecer en la rizosfera y que, los incrementos en producción de biomasa deberían ser considerados de relevancia ecológica y ser estudiados desde el punto de vista de la ecología microbiana. García de Salamone, (2012).

Al respecto, Lindani (2012), plantea que los microorganismos eficientes pueden coexistir en culturas mixtas y que son fisiológicamente compatibles unos con otros y que además, tienen la capacidad de desarrollar efectos beneficiosos en suelos y plantas. También, Madera, Millas y Tabora (2009) plantean que en semilleros, los ME ejercen las funciones de aumentar la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico; aumentar el vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas, por su efecto como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal; incrementar las probabilidades de supervivencia de las plántulas, así como, asegurar una mejor germinación y desarrollo de las plantas.

CONCLUSIONES

Se demuestra el efecto agrobiológico positivo del bioproducto ***Lebacid*** al estimular el proceso de germinación de las semillas de tomate, así como, el estímulo del crecimiento de las plántulas a partir de un

mayor incremento del rendimiento en masa seca a los 25 días de edad de las plantas, por lo que se considera un producto promisorio para la agricultura cubana.

BIBLIOGRAFÍA

-Carrillo-Castañeda, G; Juárez, J; Ruiz, D; Müller, (2000). R. Aumento del rendimiento de tomate (Lycopersicon esculentum *Mill*) cuando la raíz se desarrolla colonizada por microorganismos. *Biotecnología Aplicada,* Vol. 17: 171-176

-García de Salamone, I. (2012) Microorganismos promotores del crecimiento vegetal**.** IAH (5): 12-16.

-Hernández, A.J. (1999) Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba.. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba. 23 p.

-Idris I. Idris, Mohamed T. Yousif, Mohamed E. Elkashif, Fadil M.Baraka. (2008). Response of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) to application of effective microorganisms. *Gezira Journal of Agricultural Sciences*. Vol 6(1)

-Lindani, N y Olivier, (2012). M. Effects of the integrated use of effective micro-organisms, compost and mineral fertilizer on greenhouse-grown tomato. *African Journal of Plant Science*. Vol. 6(3): 120-124

-Madera, T. Millas, R. & Tabora, (2009) P. The beneficial microorganisms contained in EM produce plant hormones, may have been healthier because of the inoculation of beneficial microorganisms. [On-line]. Disponible en: www.effectivemicroorganismstechnology.com

-Terry, E y Ruiz, J. (2005).Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate *(Lycopersicon* del tomate *(Lycopersicon* e*sculentum*). *Biotecnología Agrícola* No. 7:47-54.

Eficiencia industrial y calidad

INFLUENCIA DEL TIEMPO PERDIDO INDUSTRIAL SOBRE LA ECONOMÍA DE INGENIOS AZUCAREROS

INDUSTRY DOWNTIME EFFECT IN SUGAR FACTORY ECONOMY.

Autores: Indira Pérez Bérmudez, Héctor Navarro Hernández, Norge Garrido Carralero

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca 804 esq. Carretera Central. San Miguel del Padrón. Ciudad Habana.
Email: indira.perez@icidca.edu.cu, hector.navarro@icidca.edu.cu, norge.garrido@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se analizó el efecto del tiempo perdido industrial (TPI) sobre las pérdidas de azúcar en proceso y su repercusión sobre la producción de azúcar y alcohol en un ingenio que procesa 9000 toneladas de caña por día. El estudio de caso arrojó que un aumento del tiempo perdido provoca una disminución en el rendimiento industrial de la fábrica que puede llegar a ser igual a 0,5 unidades porcentuales para un TPI del 20 %. Por otra parte, las ganancias decrecen entre 5 y 21 % en el rango de tiempo perdido comprendido entre 5 y 20 %.

Palabras claves: Tiempo perdido industrial, pérdidas en proceso, economía

ABSTRACT

Sugar industry downtime effect in sugar losses and its impact on sugar and alcohol production was analyzed in a 9000 TCD sugar mill. The results show that 20 % downtime causes a decrease in factory sugar yield up to 0,5 percentage units. A 5- 21 % profits reduction was obtained according to 5-20% downtime range.

Keywords: Industry downtime, process losses, economy

INTRODUCCIÓN

Los indicadores económicos de una planta industrial son altamente dependientes del aprovechamiento de la capacidad instalada. Las fábricas de azúcar no son excepción y tienen la particularidad de que la materia prima básica (caña) se deteriora fácilmente en el tiempo, Rein, (2007). Paradas imprevistas de la industria dan lugar a atrasos en el procesamiento de la caña previamente cosechada que significan pérdidas de azúcar tanto en la caña como en el proceso industrial. El propio deterioro de la caña da lugar a la formación de no azúcares que limitan la recuperación de la sacarosa por la fábrica, Ravno (2005).

El incremento de las pérdidas de azúcar que se produce en el central azucarero como consecuencia de tiempo perdido industrial (en lo adelante TPI) está especialmente localizado en las mieles finales y en lo que comúnmente se define como indeterminados. Al aumentar el TPI se favorecen la inversión de sacarosa y la formación de polisacáridos (dextrana incluida) y oligosacáridos, reacciones promotoras de aumentos de la cantidad de miel y de su pureza. Por otra parte, al producirse una interrupción en el proceso industrial

prolongada es común que se “liquide” parte del material azucarado existente en el proceso lo que normalmente da lugar a pérdidas que se incluyen en la categoría de indeterminadas.

El presente trabajo analiza el efecto de la disminución del aprovechamiento de la capacidad instalada por concepto de TPI sobre la eficiencia y economía de una fábrica de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se toma como referencia el empleo del esquema combinado azúcar- energía- alcohol mostrándose su ciclo de producción en la Figura 1.

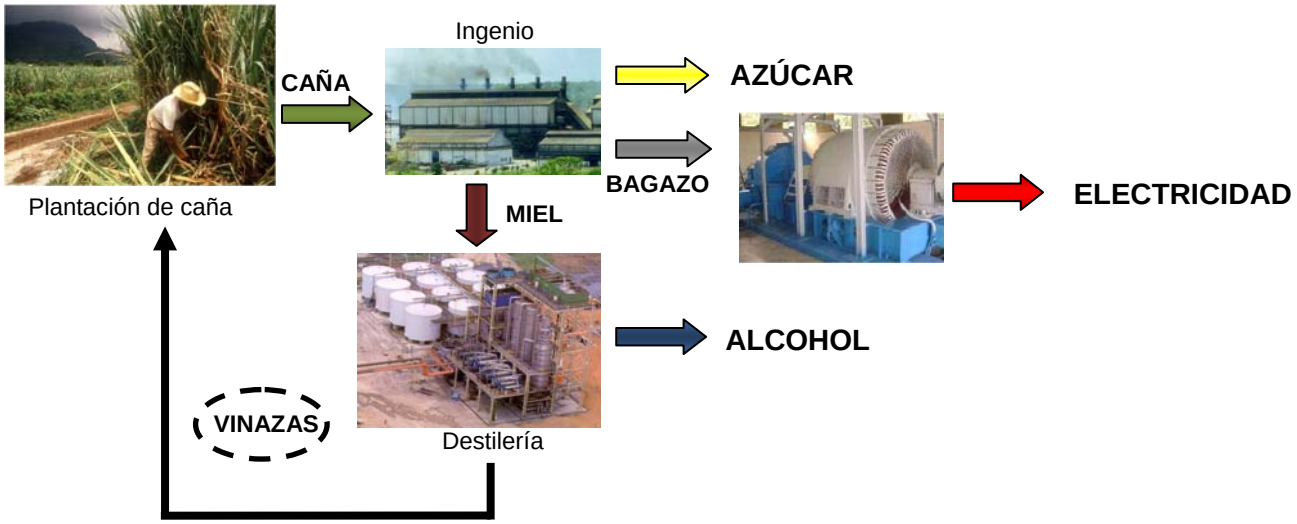


Figura 1. Esquema general del ciclo de producción del esquema combinado de energía- azúcar-alcohol.

Para el estudio que se propone se tomó como base un complejo agroindustrial integrado por un ingenio azucarero de 9000 t de caña/d como capacidad de molienda que destinará la miel final para la producción de alcohol durante el período de zafra. Se consideró para todos los casos un tiempo de operación de 120 días tanto para el ingenio como para la destilería y el bagazo sobrante será utilizado en la generación de electricidad para su venta al Sistema Electro Energético Nacional (SEN) en tiempo de zafra. Adicionalmente se consideró que el ingenio entregará a la destilería los servicios auxiliares (vapor y electricidad).

Para los cálculos se emplearon los valores promedios de operación de un ingenio en la zafra y se utilizaron hojas de Excel confeccionadas para realizar los balances de masa y energía. La relación para el cálculo de las pérdidas en proceso (agrupan las pérdidas en mieles y en indeterminados) fueron tomadas del análisis realizado por Rodríguez, (2013), a partir de los datos del comportamiento de estos parámetros en todos los ingenios del país en la zafra 2012-2013. Las premisas generales consideradas se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Premisas para el balance de masa y energía.

Molienda (t/d)	9000	Cachaza % caña	3,5
Días de zafra	120	Bagacillo % caña	3,5
Fibra en caña	16,0	JF%jugo mezclado	1,0
Agua imbibición % caña	32,0	Lechada de cal (%)	1.15
Humedad bagazo	50,0	Presión caldera (bar man)	28
Pol bagazo	2,06	Temperatura (ºC)	300
Pureza jugo residual	73,0	Índice de consumo caldera (t vapor/t de bagazo)	2,2
Bx de la caña	14,8	Presión vapor escape (bar man)	1,8
Pol en Caña	12.5	Eficiencia de generación (%)	80

Solamente se tuvo en cuenta que la variación del aprovechamiento de la capacidad en el ingenio azucarero está dada por el aumento del tiempo perdido industrial, donde un 100 % de la capacidad corresponde a un TPI de 0% y un 80 % a un TPI de 20%, por citar ejemplo. El análisis técnico-económico se concretó según variaciones del TPI de 5 unidades de por ciento.
En cuanto a las pérdidas en proceso, fue considerado el efecto del TPI sobre las pérdidas en mieles finales e indeterminadas, al considerarse como las más sensibles ante variaciones de la variable independiente.

Para el análisis económico se fijaron las siguientes premisas:

- La moneda utilizada para el análisis es la divisa (CUC).
- Tasa de cambio de 1 USD = 1 CUC
- Los insumos así como otras materias primas y materiales, se sustentan en índices de consumo previamente establecidos en las fichas de costo elaboradas por el Grupo Empresarial Azucarero AZCUBA.
- Los precios de los insumos (productos comprados o importados) se tomaron de la base de precios establecidos por AZCUBA.
- Para el cálculo de los Ingresos por ventas se utilizaron los precios de los productos en el mercado internacional tomando como base el Boletín “Mercado azucarero y más”, emitido por el Dpto de Evaluación Técnica Económica del ICIDCA. Se consideró 0,18 USD/lb para el azúcar crudo y 0,66 USD/L para el alcohol Técnico B.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se muestran los valores de rendimiento industrial y las pérdidas en proceso. Como puede apreciarse el aumento del TPI provoca una disminución en el rendimiento industrial de la fábrica de hasta 0,5 unidades porcentuales para 20% de TPI. El incremento de las pérdidas en mieles se relaciona con destrucción de sacarosa por vías química y microbiológica, tanto en la caña atrasada como en los materiales azucarados retenidos en el central, mientras que el aumento de las indeterminadas se asocia con frecuentes liquidaciones de los materiales en proceso.

Tabla II. Comportamiento del rendimiento industrial y pérdidas en el proceso

TPI	**%**	**0**	**5**	**10**	**15**	**20**
Aprovechamiento de la capacidad	%	100	95	90	85	80
Rendimiento industrial	**%**	**11,24**	**11,11**	**10,97**	**10,87**	**10,75**
Pérdidas en mieles % pol en caña	%	7,48	8,40	9,49	10,24	11,05
Pérdidas en indeterminados% pol en caña	%	0,02	0,04	0,07	0,11	0,16
Pérdidas totales en proceso	**%**	**7,50**	**8,54**	**9,56**	**10,35**	**11,20**

En la Figura 2 aparecen los valores en cuanto a producción de azúcar y miel en el ingenio. Mientras mayor es el tiempo perdido menor será la cantidad de azúcar producida, llegando a ser la disminución de 23% para un 20% de TPI, lo que equivale en este caso a unas 60 t/d de azúcar. En el caso de la producción de miel final la disminución es menos acentuada obteniéndose valores de 12 t/d menos para igual valor de TPI.

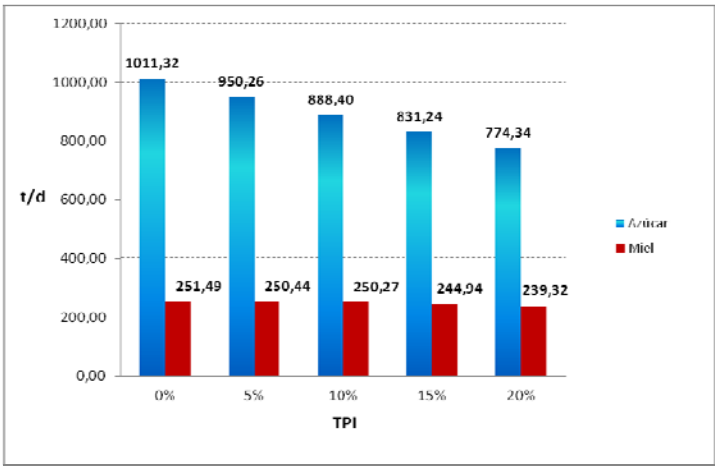


Figura 2. Producción de azúcar y miel

El aumento del TPI en el ingenio favorece la producción de alcohol ya que, aún cuando disminuye la producción de miel final, se incrementa el contenido de azúcares en la misma, siendo este último más pronunciado. La producción de alcohol (ilustrada en la figura 3) se incrementa en 138 Hl/d para el valor máximo de TPI asumido.

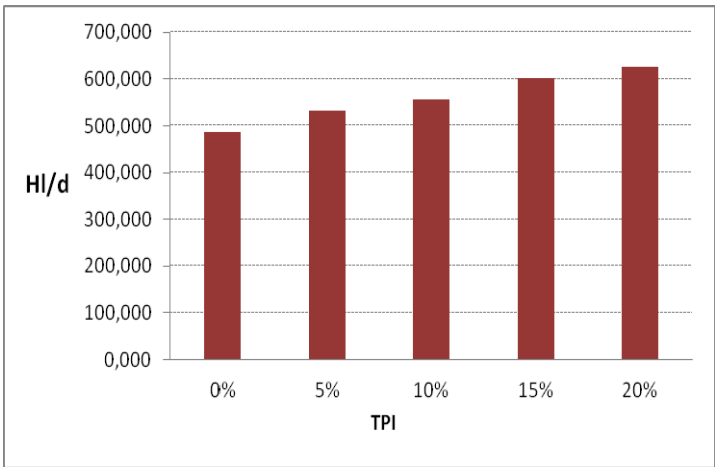


Figura 3. Producción de alcohol

Desde el punto de vista económico la influencia del aumento del TPI en los costos de producción unitarios tanto para el azúcar como para el alcohol se muestran en la Figura 4.

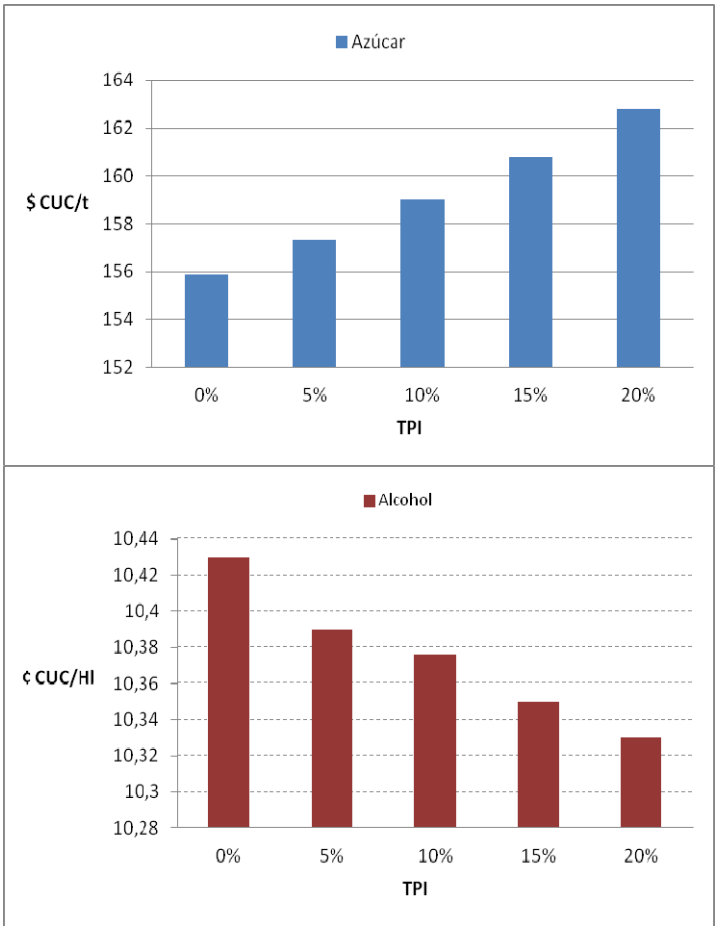


Figura 4. Costos de producción unitarios

A medida que se incrementa el tiempo perdido industrial el costo de producción de azúcar aumenta. En este caso el costo de producción unitario de azúcar aumenta desde 155,87 USD/t hasta 162,82 USD/t, lo que equivale a 4-5 % de incremento. Si se analiza el costo de producción del alcohol, este tiene un comportamiento inverso, ya que la producción de alcohol se ve favorecida por el incremento de los azúcares en la miel final obteniéndose una disminución del costo de aproximadamente un 1,0 % para el valor máximo del TPI considerado.

De la Figura 5 puede apreciarse que tanto los costos de producción totales del complejo como las ventas totales tienen algún nivel de disminución. El balance da lugar a una reducción de las ganancias totales que van desde un 5,15 % (TPI igual a 5 %) hasta un 20,74 % (TPI igual a 20%).

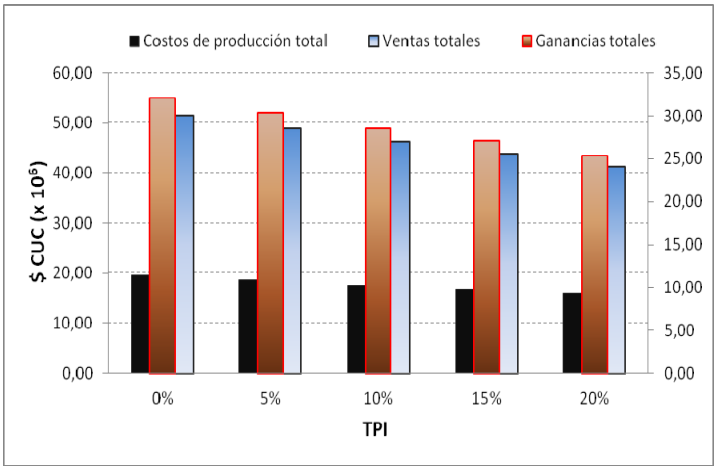


Figura 5. Comportamiento de las ganancias anuales del complejo agroindustrial

CONCLUSIONES

Las ganancias del complejo productor de azúcar y alcohol disminuyen apreciablemente en la medida en que se incrementa el tiempo perdido industrial. Lo anterior está dado fundamentalmente por la reducción del rendimiento industrial derivado del incremento de las pérdidas en proceso. La disminución de ganancias en el caso objeto de estudio estuvo comprendida entre 5 y 21 % ante variaciones del TPI en el intervalo entre 5 y 20 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ravnö, A B; Purchase B S. (2005). Dealing with dextran in the South African sugar industry. Proc S Afr Sug Technol Ass. 79, pp 28-47.
- Rein, P. (2007). Cane Sugar Engineering. Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlín, pp 31-63.
- Rodríguez, A. (2013). Encuentro Nacional de Eficiencia Industrial. CNCA, Marzo.

IMPACTO DE LA MATERIA EXTRAÑA EN LA CALIDAD DE LOS JUGOS DE CAÑA Y EN LOS INDICADORES DE EFICIENCIA DE UN CENTRAL AZUCARERO.

EXTRANEOUS MATTER IMPACT ON JUICE QUALITY AND SUGAR MILL EFFICIENCY RESULTS.

Autores: Héctor Navarro Hernández, Leopoldo Rostgaard Beltrán

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: hector.navarro@icidca.edu.cu
leopoldo.rostgaard@icidca.edu.cu

RESUMEN

Actualmente en Cuba más del 85% de la caña disponible para producir azúcar se cosecha en verde mediante el sistema de cosecha mecanizada. La cosecha en verde incrementa considerablemente la cantidad de materias extrañas (ME) y la concentración de compuestos no-azúcares en el proceso de elaboración de azúcar. En este trabajo se analizó el comportamiento de la calidad del jugo mezclado y la eficiencia industrial de un central azucarero, ante incrementos del contenido de ME en la caña. El análisis se sustentó en información disponible acerca de las características y composición (fibra, pol, brix, pureza y humedad) de las ME y de supuestos tecnológicos propios de zafras cubanas. Los resultados obtenidos a partir de los balances de masa y energía realizados en la hoja de cálculo Excel muestran, como efecto más impactante, la reducción en un 6% de la producción de azúcar por cada 5 unidades porcentuales de incremento del contenido de ME.

Palabras claves: materias extrañas, pureza, compuestos no-azúcares, recobrado, rendimiento.

ABSTRACT

In Cuba more than 85% of cane available for sugar production is currently harvested either green or burned by an integral harvesting system. Green harvesting increases the amount of extraneous matter (ME) and the concentration of non-sugar elements in juice. The analysis of the behavior of mixed juice quality and process efficiency indicators of a sugar factory with ME increments is described in this paper. The analysis was based on available information about extraneous matter characteristics and its composition (fiber, pol, brix, purity and humidity) and according to Cuban sugar seasons typical results. The results obtained from material balances done in Excel spreadsheet models show, as most relevant impact, a 6% sugar production reduction due to 5 percentage units of extraneous matter rise.

Key words: extraneous matter, purity, non sugar compounds, recovery, yield.

INTRODUCCIÓN

Cuando se procesa caña verde mediante el sistema de cosecha mecanizada se introducen a las fábricas de azúcar niveles elevados de materias extrañas (ME), incrementándose la cantidad de impurezas que tienen influencia sobre diversos parámetros en el jugo de caña de azúcar, tales como brix, pol, pureza (Pz), azúcares reductores, cenizas, almidón y aquellos compuestos que aportan color.

El tema de la influencia de las ME sobre el desempeño de las fábricas azucareras ha sido objeto de estudio en el sector azucarero mundial. Muchos autores han reportado trabajos al respecto (Bernhardt (2000), Bovi (2001), Gomez (2006), Kent y otros (2003), Kent (2007), Thai (2011), Thai (2012), Zossi y otros (2010)) y están de acuerdo en que el incremento de las ME entrando a fábrica provoca generalmente los siguientes efectos:

1. Disminuye la carga útil por envío debido a la baja densidad de la ME, ocasionando un incremento en los costos de transportación por cantidad de azúcar producida.
2. Reducción de la productividad y potencial de extracción en la planta moledora por concepto de aumento de fibra.
3. Provoca resbalamiento de los molinos debido al elevado contenido de hojas.
4. Las cuchillas y desfibradoras tienden a atascarse producto del incremento de la fibra.
5. Disminuye la extracción de azúcar debido a las pérdidas de sacarosa por un incremento en los volúmenes de bagazo.
6. Incremento en el contenido de humedad del bagazo.
7. Aumento del color del jugo mezclado entre 350 a 400 ICUMSA (UI) por cada 1 por ciento de ME.
8. Se reduce la pureza del jugo mezclado debido al incremento de las impurezas.
9. El pH del jugo mezclado disminuye debido a la presencia de ácidos orgánicos, aumentando el consumo de lechada de cal.
10. Bajo agotamiento de las masas cocidas, provocando pérdidas de sacarosa en la miel final (por la presencia de polisacáridos, modificación de los contenidos de azúcares reductores y cenizas especialmente potasio).

El presente trabajo tiene como objetivo analizar, sobre la base de condiciones típicas de zafras azucareras cubanas, el efecto que producen variaciones del contenido de ME sobre importantes indicadores de la eficiencia industrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los valores adoptados en el trabajo acerca de la composición de los materiales que conforman las materias extrañas se muestran en la Tabla 1 y corresponden a lo reportado por Rein (2007), sobre trabajos realizados por diferentes autores.

Tabla I. Valores de los principales parámetros de caña limpia, cogollo y hojas.

Materiales	Referencia	Brix (g/100 g muestra)	Pol (g/100 g muestra)	Pureza Aparente (%)	Fibra (g/100 g muestra)	Humedad (g/100 g muestra)
Tallo limpio	Scott y otros (1978)	16,7	14,8	89,0	12,8	70,5
cogollo	Scott y otros (1978)	6,7	1,4	21,0	16,6	77,7
Hojas	Scott y otros (1978)	7,8	1,5	19,0	58,6	33,6
Tallo limpio	Ivin y Doyle (1989)	16,6	15,1	91,0	12,5	70,9
Cogollo	Ivin y Doyle (1989)	5,5	2,0	36,0	14,8	79,7
Tallo limpio	Birkett (1965)	15,3	12,9	84,0	13,0	71,7
Cogollo	Birkett (1965)	9,7	5,5	57,0	11,2	79,1
Hojas	Birkett (1965)	-	-	-	61,0	-
Tallo limpio	Gil (2003)	14,2	11,9	83,6	12,7	73,1
Cogollo	Gil (2003)	5,1	1,2	24,1	17,7	77,2
Hojas	Gil (2003)	4,2	0,1	2,7	32,2	63,5

Los materiales que componen las ME considerados en este trabajo fueron las hojas y el cogollo, por ser los materiales extraños que con más frecuencia se encuentran en la caña que ingresa a la fábrica. La composición de cada componente de la ME, se definió como el promedio de los valores reportados en la Tabla I. Las cantidades de cogollo, hojas y tierra (material que no está incluido en la ME en este trabajo) asociado a la caña es muy variable y depende entre otros factores de la eficiencia de la cosecha, el rendimiento agrícola y del régimen de lluvias durante la zafra. Para cualquier cantidad de ME se asumió que esta tendría un 45% de cogollo y un 55% de hojas, lo que corresponde a valores típicos de despalillos realizados durante la zafra 2012/2013 en los ingenios Ciudad Caracas, Héctor Molina y Jesús Rabí.

Para realizar el análisis del impacto de las ME se tomó como referencia un central azucarero cubano con una capacidad de molienda de 3450 $t_{caña}$/d. Los balances de materiales y energía fueron desarrollados utilizando la hoja de cálculo Excel. Los valores de entrada adoptados para el cálculo de los balances de masa y energía del ingenio analizado se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Premisas para el balance de masa y energía.

Molienda (t/d)	3450	Número de calderas	2
Días de zafra	150	Capacidad de caldera (tvapor/h)	35
Agua imbibición % caña	Doble de la fibra.	Eficiencia de generación (%)	70
% Pol en Bagazo	2,10	Índice de generación caldera (t vapor/t de bagazo)	2,0
Pureza del bagazo	65,0	Presión caldera (bar abs)	18
% Humedad bagazo	49,0	Temperatura (ºC)	320
% bagacillo en cachaza	9,0	Presión vapor escape (bar abs)	2,5
% pol en cachaza	2,4	Potencial de agotamiento MCA	17
% humedad en cachaza	75	Potencial de agotamiento MCB	18
Brix jugo de los filtros	12,0	Potencial de agotamiento MCC	21
Pureza jugo de los filtros	79,0	Potencial de agotamiento banco de cristalizadores	3
Kg de $Ca(OH)_2$/t caña	0,8	Pol del azúcar crudo	99,10

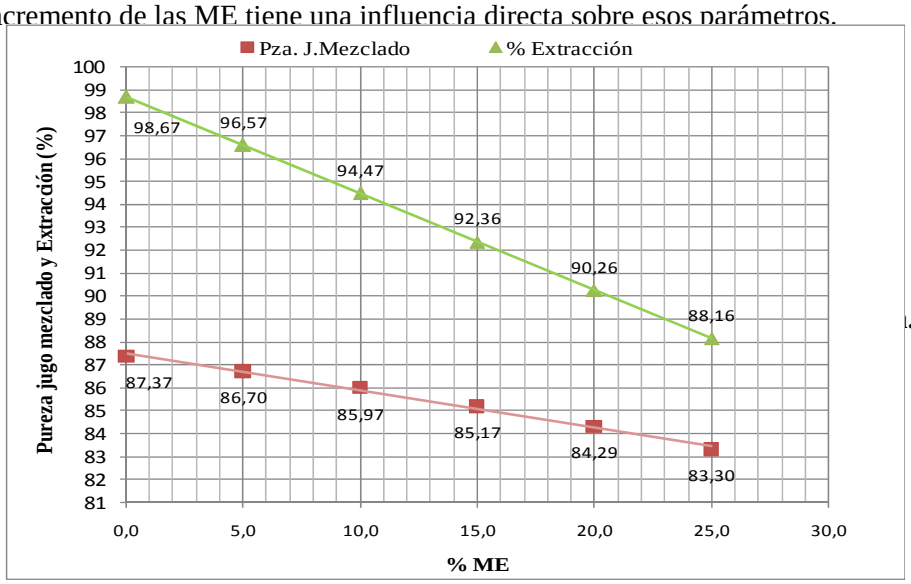
Inicialmente se simuló el central con caña limpia y despuntada con las características que se muestran en la Tabla III, y aunque este tipo de cosecha no es la modalidad actual de la actividad, fue útil para definir la calidad del jugo que entra a la fábrica, así como para definir los indicadores de eficiencia del ingenio cuando se procesa este tipo de caña. Tomando como referencia la calidad de la caña limpia se procedió a simular el incremento de ME desde 5% hasta 25% (este valor corresponde a la cosecha menos eficiente en la actualidad).

Tabla III. Parámetros de calidad de caña limpia.

Parámetros	Unidad	Valor
Brix	%	15,7
Pol	%	13,5
Pureza	%	86,0
Fibra	%	14,2
ME	%	0,0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los valores obtenidos de la extracción de jugo mezclado (JM) % caña y su Pz, después de realizar los balances de materiales con el incremento de ME señalado anteriormente. Como puede apreciarse el incremento de las ME tiene una influencia directa sobre esos parámetros.



La disminución del porciento de extracción de JM está relacionado con el incremento de la fibra en caña al aumentar los niveles de ME entrando a la fábrica. Esto repercute directamente en el incremento de las pérdidas de azúcar en bagazo, el aumento de bagazo %caña y en los niveles de bagazo sobrante. El bagazo sobrante, si bien puede ser utilizado para generar más electricidad y vender este excedente al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), pudiera ocasionar problemas en el ingenio si este no dispone de alternativas viables para su almacenamiento. En la Figura 2 se muestran los valores obtenidos del % fibra en caña, las pérdidas de azúcar en bagazo, las toneladas por hora de bagazo sobrante y el bagazo %caña cuando se incrementa las ME desde 0 hasta 25%.

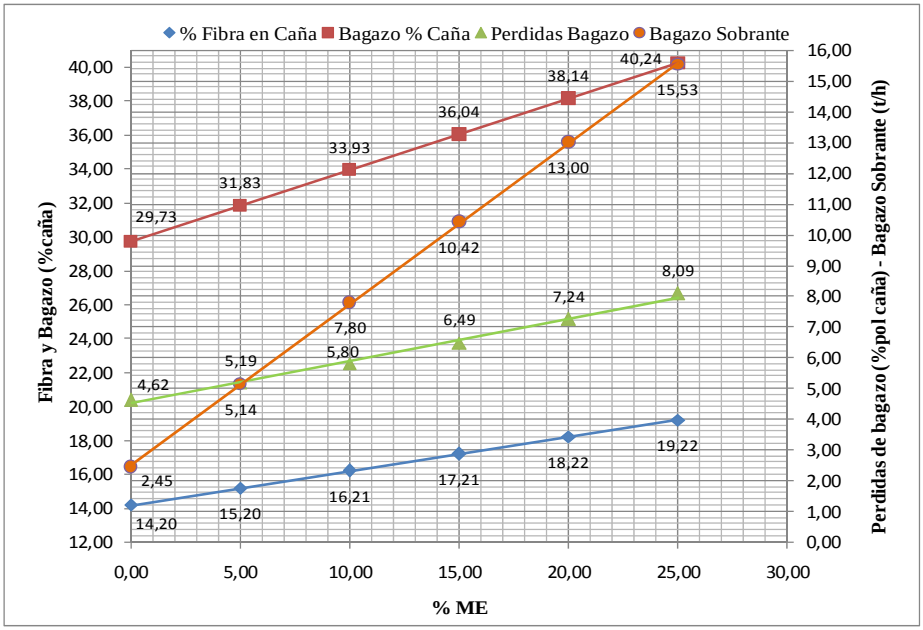


Figura 2. Efecto del % ME en el %de fibra en caña, bagazo %caña, perdidas en bagazo y bagazo sobrante.

El contenido de humedad del bagazo es un parámetro que también se ve afectado por el incremento de la ME, el valor obtenido por cada 1 por ciento adicional de ME fue de 0,12%. En la Figura 3 se puede observar como el poder calórico neto del bagazo (determinado por la ecuación reportado por Hugot (1986)), disminuye al incrementar la ME. Este efecto provoca que la energía entregada por el combustible sea menor y como consecuencia, disminuya el índice de generación de las calderas (toneladas de vapor generado/toneladas de bagazo consumido).

En la Figura 4 puede apreciarse el aumento de la cantidad de cachaza y el porciento de recirculación de jugo de los filtros % caña con el incremento de ME, situación que significa mayor recirculación de no azúcares e incremento de las pérdidas de azúcar en la cachaza para igual % de pol en ésta.

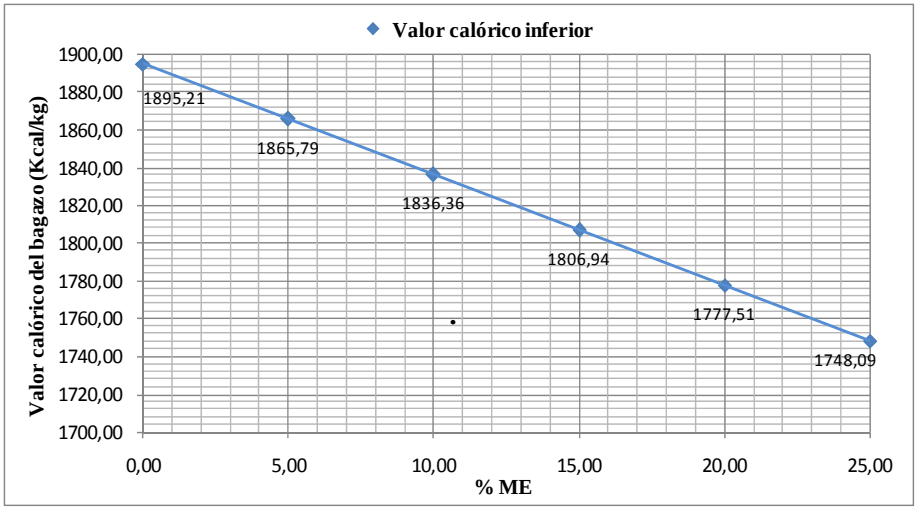


Figura 3. Efecto de las ME en el valor calórico neto del bagazo

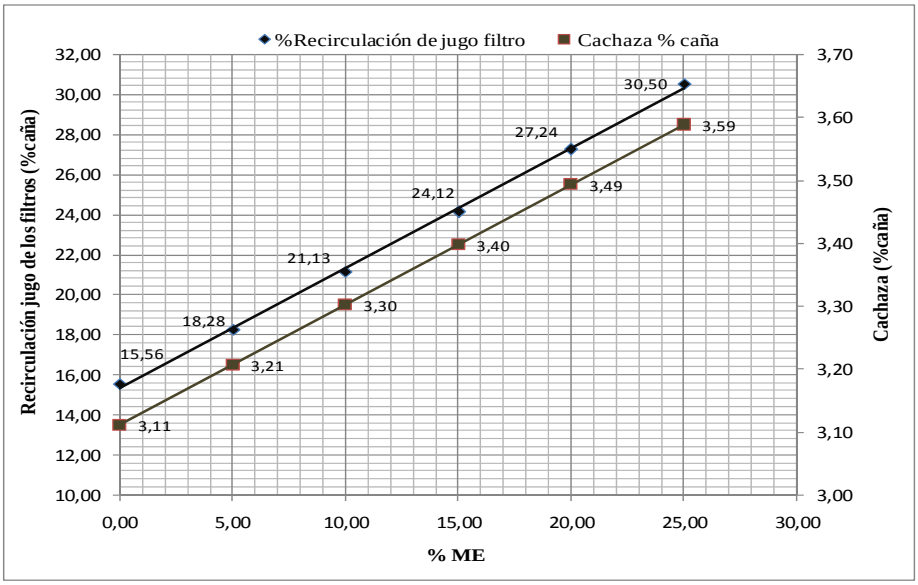


Figura 4. Recirculación de jugo de los filtros y cachaza versus % de ME.

En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos de los potenciales de agotamiento de las masas cocidas A, B y C respecto a sus mieles correspondientes y la pureza de la masa cocida C (MCC) en función del porciento de incremento de las ME. Como se puede apreciar, el aumento de los materiales extraños que acompañan la caña presenta un marcado efecto sobre los parámetros antes señalados, llegando a disminuir entre el 3,8 y 4% el potencial de agotamiento de las masas cocidas, provocando que la pureza de la masa de tercera aumente en 1,34% por cada 5 por ciento de incremento de ME. La cantidad de impurezas solubles que acompañan al jugo mezclado y que van aumentando en relación directa con el aumento de la ME ejercen cierto poder inhibitorio en la cristalización de la sacarosa.

La cantidad de miel final (MF) depende fundamentalmente de tres factores que son:

1. La cantidad de sólidos no azúcar (SNA) contenida en el jugo mezclado.
2. La cantidad de miel producida en el proceso por conversión de sacarosa a no azúcares (efectos químico y microbiológico)
3. La cantidad de sacarosa contenida en la miel final.

Para el caso en estudio, cuando el % de ME es cero (caña limpia), el valor de los SNA en jugo mezclado es de 1,89%, aumentando en un 2,5% este valor por cada 5 por ciento de ME adicional. Si la miel final formada en el proceso es función de la cantidad de SNA que acompaña a la materia prima, es de esperar que la cantidad de MF obtenida aumente en la medida que se incorporen más ME al ingenio, hecho que se ejemplifica convenientemente en la Figura 6.

Como se observa en la figura anteriormente mencionada la Pz de la miel final, se ve afectada debido al poder inhibitorio de las impurezas sobre la cristalización de la sacarosa. Tanto el incremento de la cantidad de miel como el de la pureza dan lugar al consecuente aumento de las pérdidas de sacarosa en las mieles finales. Todos estos fenómenos incrementan también las perdidas de sacarosa en la MF llegando a valores de 10,77% de incremento por cada 5 unidades porcentuales de incremento de ME.

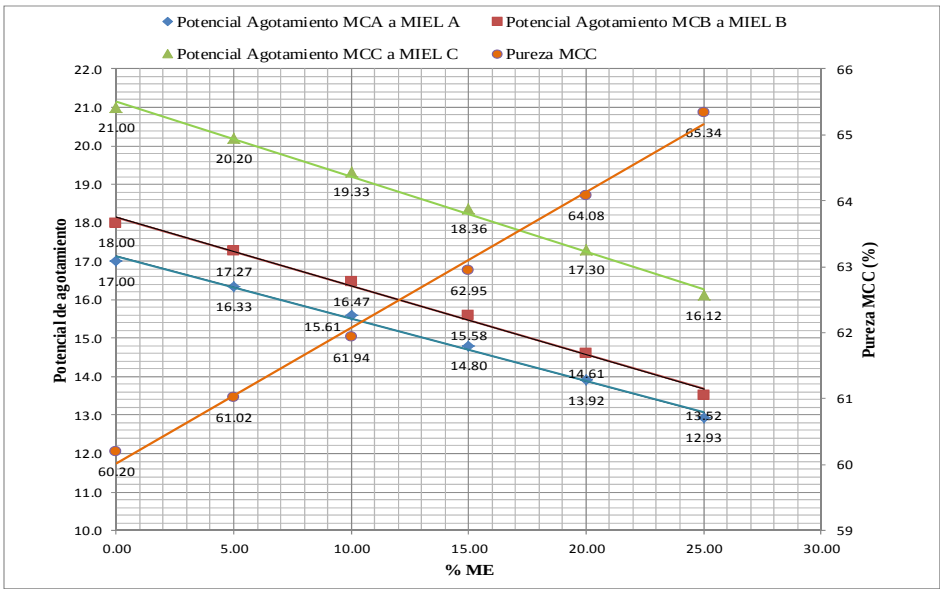


Figura 5. Potenciales de agotamiento de las masas cocidas A, B, C y pureza de MCC versus ME.

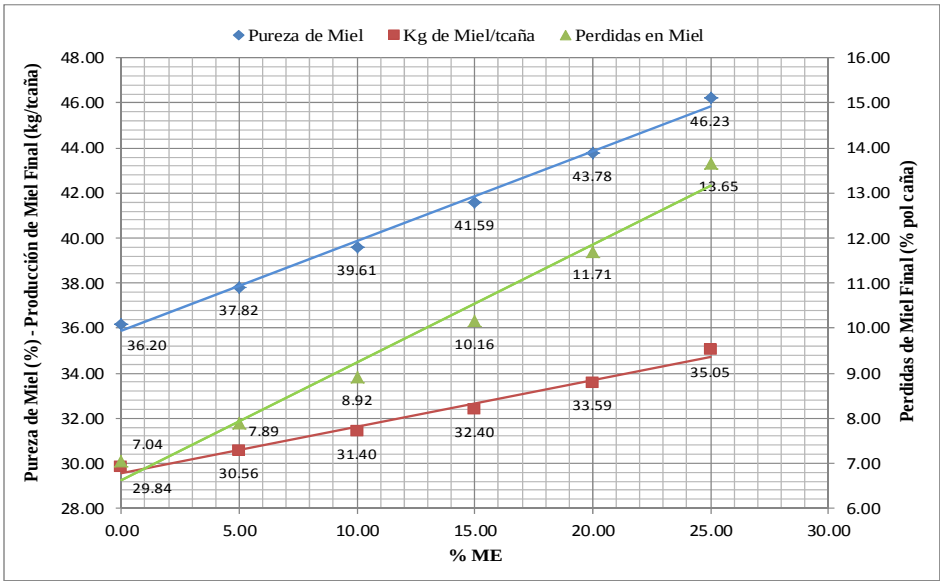


Figura 6. Efecto de las ME sobre las perdidas en MF, la pureza y la formación.

En la Figura 7 se puede observar como el % de pol en caña disminuye a medida que se incrementan los niveles de ME, debido a que la composición y la calidad de los jugos de estos materiales es muy inferior comparada con la caña limpia. Por cada 1 unidad porcentual de ME que se incremente, la pol en caña se afecta en un 0,9%. Este efecto simultáneamente con las perdidas en bagazo, la disminución de la extracción, las perdidas en cachaza y las perdidas en MF, provocan que el rendimiento industrial base 96 y el recobrado disminuyan en un 6,1 y 1,7% respectivamente por cada 5 por ciento de incremento de ME.

Conforme a los resultados analizados anteriormente, el incremento de las ME según el intervalo analizado significa una reducción de la producción de azúcar en el orden de 6,14% por cada 5 por ciento de incremento de las ME (ver Figura 8).

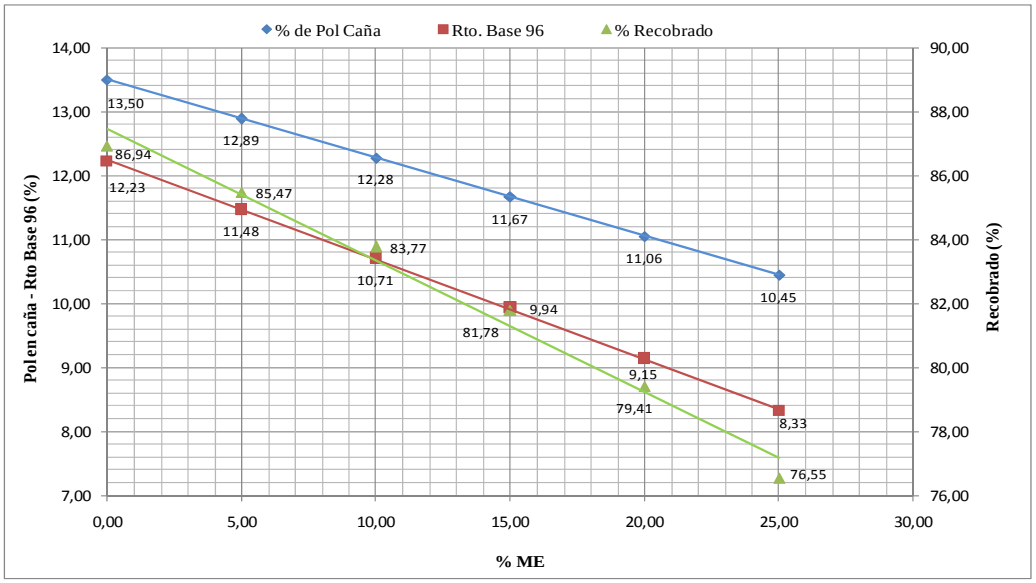


Figura 7. Efecto de la ME en % de pol en caña, rendimiento industrial y recobrado.

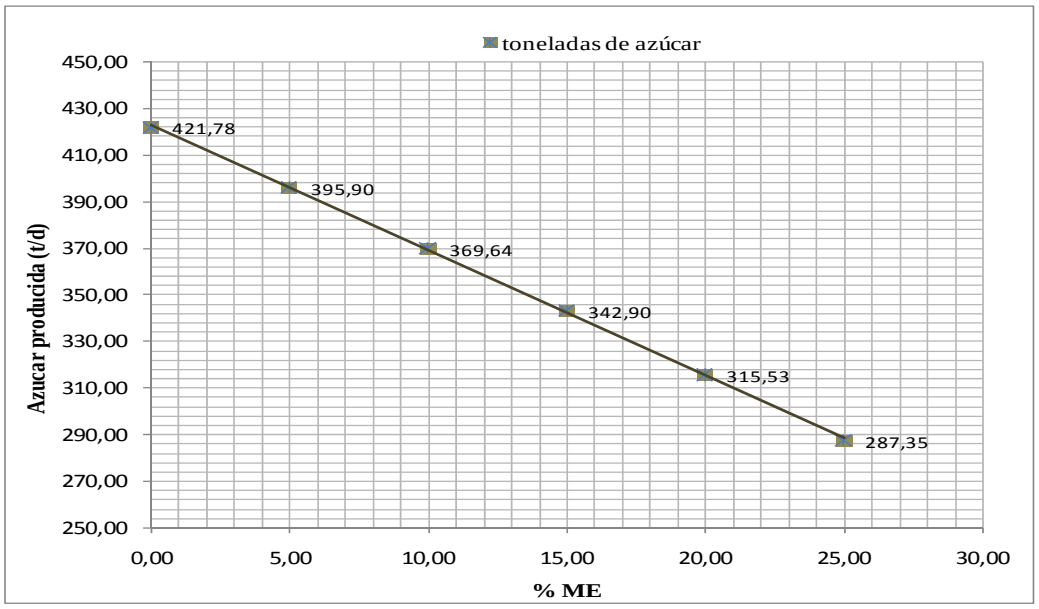


Figura 8. Efecto de las ME en la producción de azúcar.

CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo indican que el incremento del contenido de ME da lugar a disminución de la eficiencia fabril, lo que en este caso objeto de estudio se refleja según:

1. Las pérdidas en bagazo se incrementan en un 2% por cada unidad porcentual de ME y el poder calórico del bagazo disminuye producto del incremento de la humedad.
2. Se reduce la pureza del jugo mezclado entrando a fábrica en 0,81 unidades porcentuales de pureza por cada 5 unidades porcentuales de ME.

3. Se incrementan las pérdidas en mieles fínales en 10,77 % por cada 5 unidades porcentuales de ME.
4. Se reduce la producción de azúcar en 6,14% por cada 5 unidades porcentuales de incremento de ME.

REFERENCIAS

- Bernhardt, H. W.; Pillay, V.; Simpson, A. (2000). Impacts of green cane harvesting on sugar factory operation at Sezela. *Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists* 74, pp. 369–372.
- Bovi, R.; Serra G.E (2001). Folhas verdes, folhas secas, fibra do colmoe a clarificacao do coldo de cana de acúcar. *Scientia Agricola*, 58 (3): Jul/Sep, pp. 457-463.
- Gomez, J.; Chapple, D.; McDonald, L. (2006). Sugar losses in burnt and green harvesting in Argentina. *Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists* 28, pp 8.
- Hassuani, S.J. (2001). Sugar cane trash recovery for use in power generation. *Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists* 24, pp 192-195.
- Hugot, E. (1986). Manual para ingenieros azucareros. 1 ed. en español. CECSA, México.
- Ivin, P.C.; Doyle, C.D. (1989). Some measuremets of the effect of tops and trash on cane quality. *Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists* 11, pp. 1-7.
- Kent, G.A.; Hoare, C.P.; Miller, K.F.; Allen, W.J. (2003). Harvest and factory data to assist in evaluating the effect of extraneous matter on sugar production costs and revenues. *Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists* 25, pp 14.
- Kent, G.A. (2007). The effect of trash on the operation and performance of a raw sugar factory. *Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists* 26, pp. 1622-1628.
- Muir B.M.; Eggleston G.; Barker B. (2009). The effect of green cane on downstream factory processing. *International Society of Sugarcane Technologists* 82, pp. 164-199.
- Purchase, B.S.; Wynne A.T, Meyer E.; Van Antwerpen R. (2008). Is there profit in cane trash? Another dimension to the assessment of trashing versus burning. *South African Sugar Technologists Association* 81, pp. 86-99.
- Rein, P. (2007). Cane sugar engineering. Ed. Bartens, Berlin, Germany.
- Scott, R.P.; Falconer, D.; Lionnet G.R.E. (1978). A laboratory investigation of the effects of tops and trash on extraction juice quality and clarification. *South African Sugar Technologists Association* 52, pp. 51-53.
- Thai, C.; Doherty, W. (2011) The composition of sugarcane juices dervied from burnt cane and whole green cane crop. *In Bruce, Robin (Ed.) 33rd Annual Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists 2011, Curran Associates, Inc., Mackay, Qld*., pp.368.
- Thai, C.; Doherty, W. (2012). Characterisation of sugarcane juice particles that influence the clarification process. In Bruce, Robin (Ed.) *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists,Cairns.*
- Valsechi, A.O. (2008). Características tecnológicas e avaliacao da qualidade industrial da cana de acúcar. 1st Ethanol week: Shaning the Brazilian Experience Araras, SP, 1 a 5/Sept.
- Zossi, B.S.; Cárdenas, G.; Sorol, N.; Sastre, M. (2010). Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán (Argentina). Parte 1: caña limpia y despuntada. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 87 (1).
- Zossi, B.S.; Cárdenas, G.; Sorol, N.; Sastre, M. (2011). Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán (Argentina). Parte 2: caña verde y quemada. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 88 (1), pp. 13-21.

“EVALUACION DE FACTORES CRITICOS QUE HAN AFECTADO EL RENDIMIENTO INDUSTRIAL EN LAS ULTIMAS ZAFRAS”

"EVALUATION OF FACTORS CRITICS THAT HAVE AFFECTED THE INDUSTRY'S PERFORMANCE IN THE LAST HARVESTS"

Estuardo Edmundo Monroy Benítez

Ingeniero Químico
ingmonroy1@yahoo.com
Consultorías Especializadas Monroy, S. A.
Guatemala, C. A.

RESUMEN

El trabajo presenta evaluaciones de parámetros o factores que afectan el rendimiento agrícola e industrial, en base a experiencias de evaluaciones y/o auditorias especificas en el ***campo agrícola*** e ***industrial de las últimas zafras en Guatemala***, donde se observan “potenciales causas raíz” relacionados directamente con bajos resultados de rendimiento (libras de azúcar por tonelada de caña) o pérdidas importantes en cada área (agrícola e industrial), lo cual nos lleva a considerarlos como críticos y estadísticamente representativos de una situación existente en la industria azucarera de los últimos años, y si no se le pone la atención adecuada, o toman acciones, seguirá generando pérdidas, desde el campo hasta la fabrica, y no podremos esperar rendimientos superiores a los 220-235 lb./TC.

El trabajo aplica ante todo, la técnica estadística de análisis de ideas, denominada “Diagrama de Ishikawa o de Causa-Efecto” o más conocida como “La Espina de Pescado”.

Utilizando dicho diagrama, con sus cinco (5) principales factores, unido a experiencias de casos y cálculos reales de la gestión agrícolas y de fabricación, dan como resultado.... Que junto a efectos medio ambientales, y entre otros factores, se caracterizan como críticos en las últimas zafras los factores de variedades de caña, Aplicación de madurantes, estrategia de riego, Trash, Lavado en mesas de caña, Imbibición caña, Extracción Diluida, Agotamiento de sacarosa en Miel final.

Se presenta un análisis teórico-práctico de evaluaciones, de tendencias gráficas y fotográficas de los parámetros en campo y fábrica, que infieren, desde mi punto de vista de consultor externo.

PALABRAS CLAVES

Diagrama Ishikawa: Diagrama que representa las relaciones entre un "Efecto" y sus "Causas" potenciales, facilitando la solución de problemas desde los "síntomas".

Rendimiento Industrial: Resultado real o estimado de la cantidad de azúcar por tonelada de caña, normalmente expresado en libras o kilogramos/tonelada de caña

Variedades de caña:

Trash: Cuantificación de la cantidad de basura, fuera de la caña "moledera" existente, expresado normalmente en porcentaje (%) peso.

Lavado en mesas de caña: Proceso de aplicación de agua a la caña recibida en las mesas recolectoras de ingreso a preparación y molienda, con el objetivo de eliminar tierra (sólidos insolubles).

Imbibición %caña: Operación de aplicación de agua a la caña durante su etapa de "molienda", normalmente cuantificada en porcentaje (%) en peso de caña molida.

%Extracción Diluida: Cuantificación de la cantidad de jugo de caña, proveniente del tándem de molinos, que incluye al jugo puro + el agua de imbibición aplicada, expresado normalmente en porcentaje (%) peso de la caña molida.

INTRODUCCION

Las evaluaciones agroindustriales azucareras, son en general un análisis de parámetros o factores que afectan el rendimiento agrícola e industrial, a los cuales en temporada de zafra se les da un seguimiento o monitoreo muy especial y sistemático, en busca de lograr o mantener buenos resultados de las operaciones.

En el área agrícola, se analizan por lo menos los siguientes factores:

1. Efectos de Condiciones climatológicas durante la época de no cosecha y cosecha de las zafras, tales como luminosidad, precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc.
2. Operaciones de Gestión de Cosecha, como programación de cosecha, madurez de la caña, edad al corte, horas-quema, aplicación de madurantes, Trash o basura, composición varietal, riegos, etc.

En el área industrial, se analizan por lo menos los siguientes factores:

1. A través del seguimiento por el análisis de Balances de Sacarosa, se evalúan potenciales pérdidas de sacarosa por procesos de lavado de caña, inversión en molinos, sobre-pérdidas en bagazo, cachaza, Recirculación de mieles, agotamiento de masas a mieles, la famosa pérdida en miel final, etc.
2. Eficiencias y Recuperaciones en Molinos, Extracción Diluida, Extracción de Sacarosa, Imbibición % Caña, Fibra % Caña, Recuperación, Retención, Eficiencia de Fabricación, %

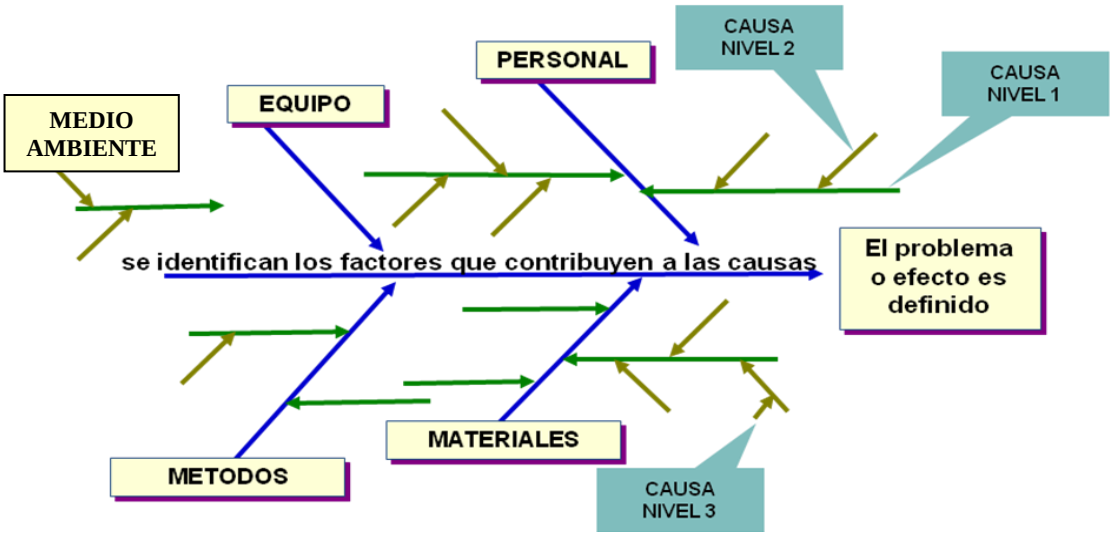
En el presente trabajo, se incorporan todos estos factores en dos (2) diagramas de Ishikawa para hacer un análisis de relaciones entre "causas" y el "efecto", uno para el área agrícola y otro para el industrial.

Se reclasifican los potenciales "síntomas" en los 5 factores típicamente influyentes en un "Efecto" que define Ishikawa como lo son: **Materiales, Mano de Obra (personal), Medio Ambiente, Métodos y Maquinaria,** y a través de esta técnica se percibe finalmente aquellas "causas mayores" que generan el "efecto" analizado.

El efecto definido es: "**Bajo Rendimiento Azucarero**", que para el caso agrícola es en el punto de ingreso a fabrica (típicamente Core-Sample o muestreo de caña) y para el área industrial, es en el punto final del envasado, empaque o almacenaje.

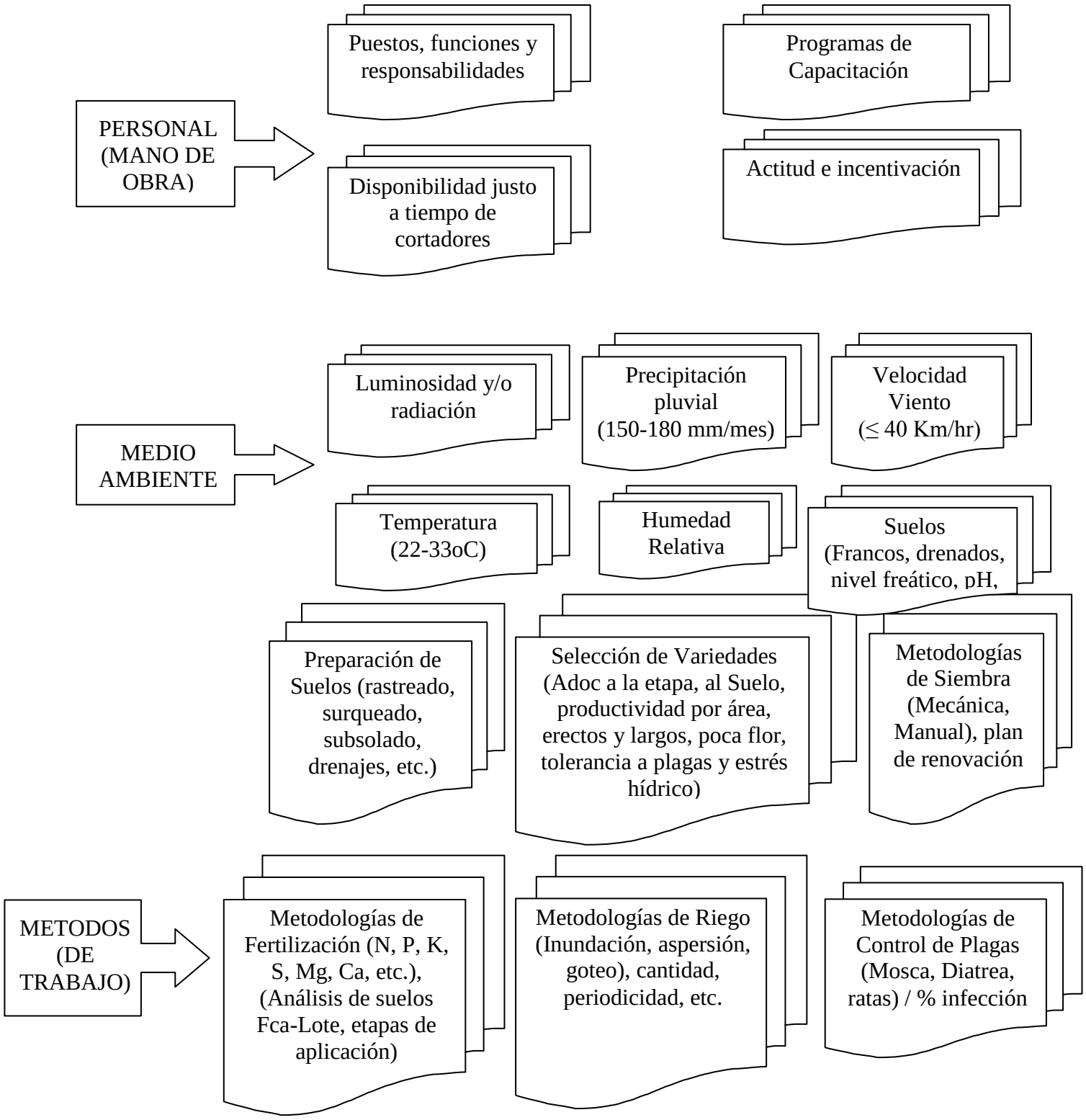
RESULTADOS Y DISCUSION

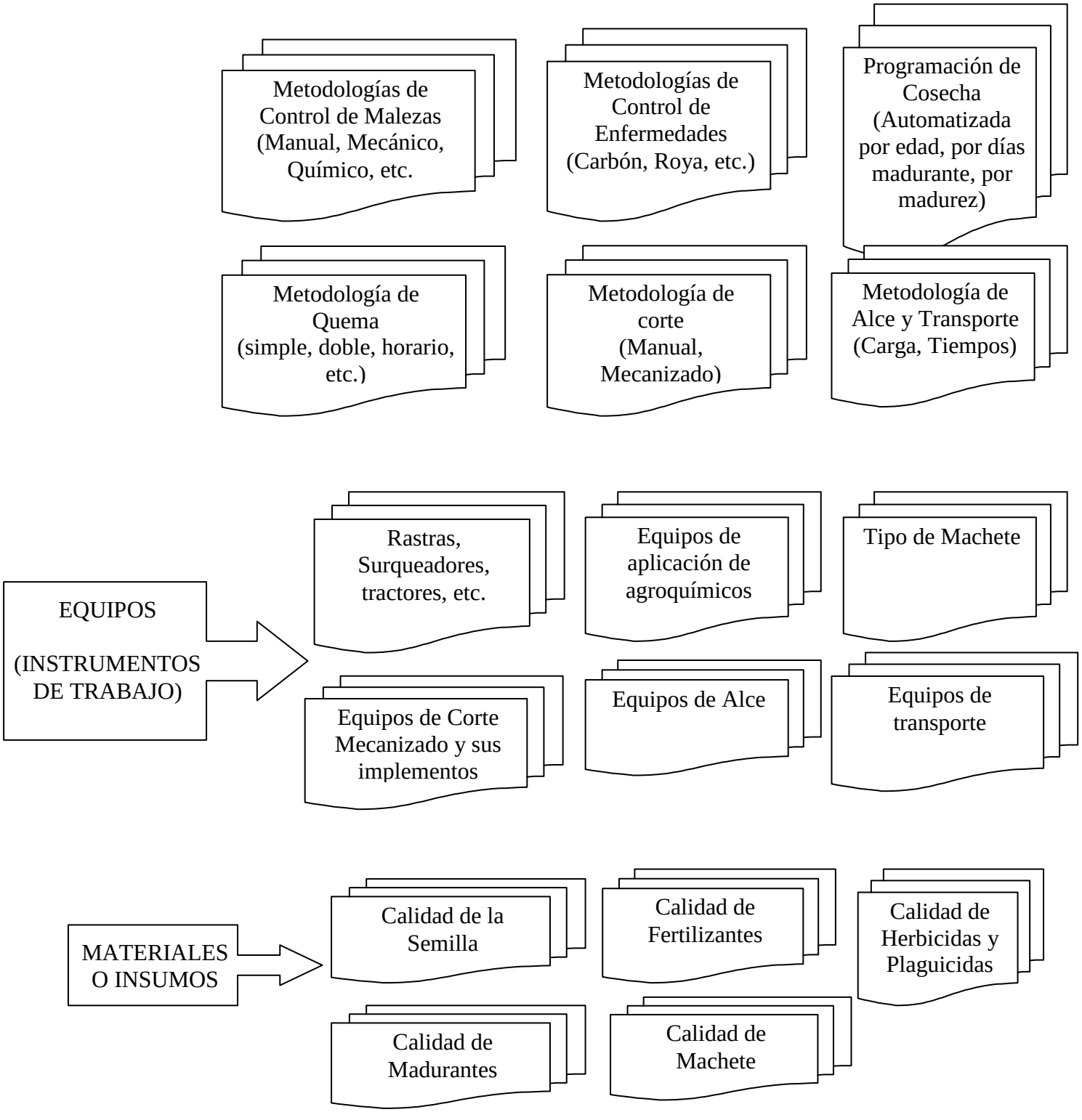
El Diagrama de Ishikawa:



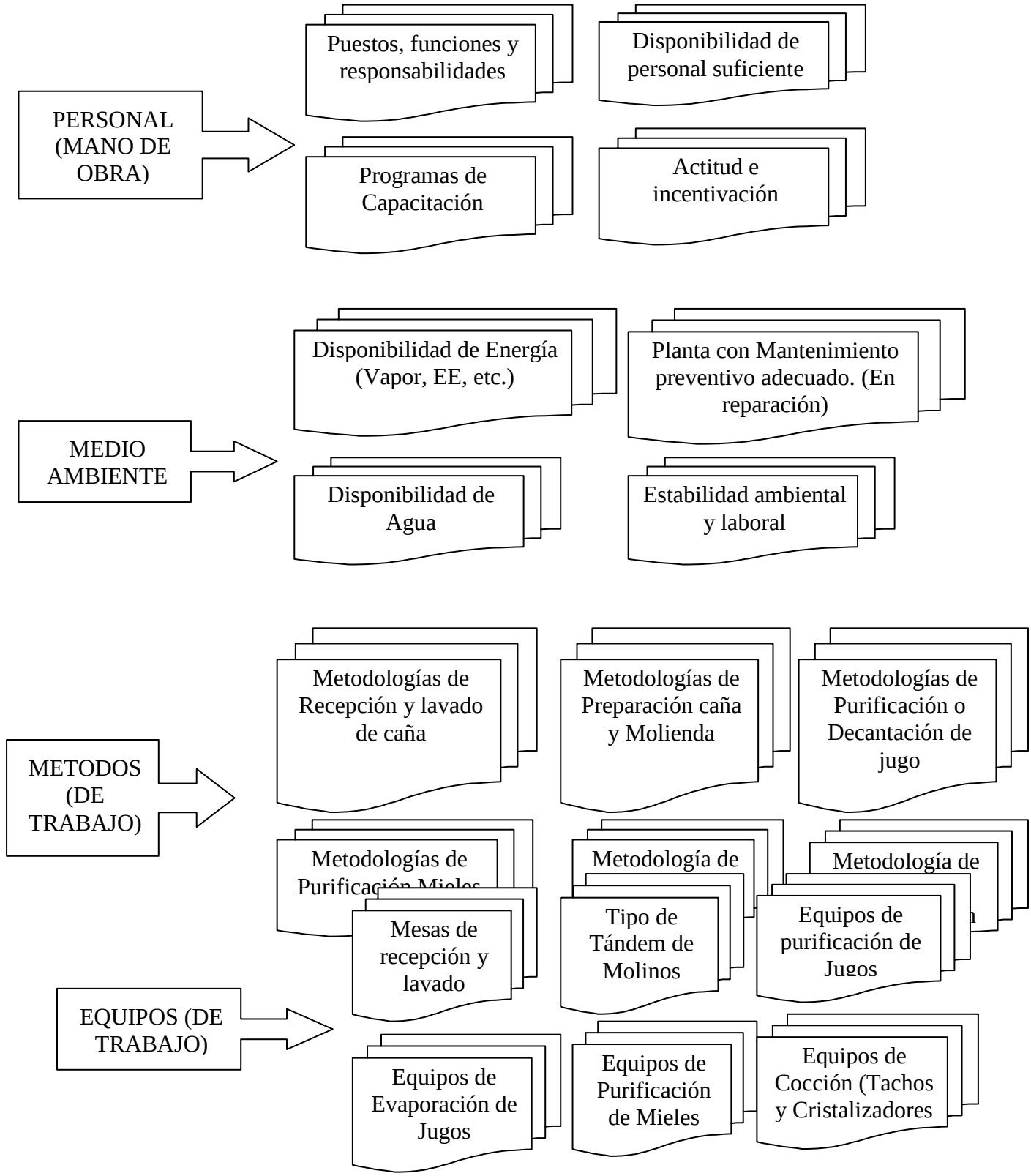
El trabajo divide el análisis de "Causa-Efecto" en dos (2) diagramaciones o análisis, una para el área agrícola y una para el área industrial, y en cada una de ellas se hace las clasificaciones de causas y sub-causas, dentro de los factores definidos en el diagrama:

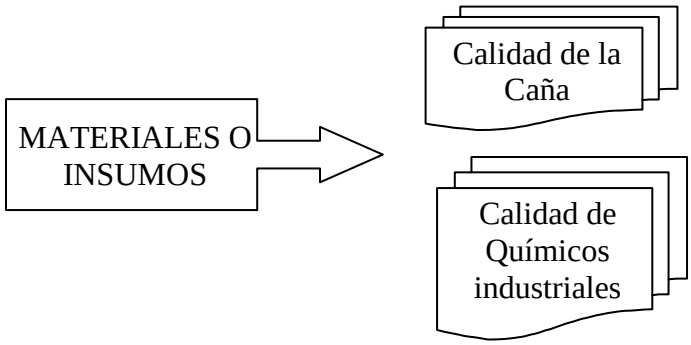
1. **Evaluación agrícola o en campo**




Metodologías de Control de Malezas (Manual, Mecánico, Químico, etc.
Metodologías de Control de Enfermedades (Carbón, Roya, etc.)
Programación de Cosecha (Automatizada por edad, por días madurante, por madurez)
Metodología de Quema (simple, doble, horario, etc.)
Metodología de corte (Manual, Mecanizado)
Metodología de Alce y Transporte (Carga, Tiempos)
EQUIPOS
(INSTRUMENTOS DE TRABAJO)
Rastras, Surqueadores, tractores, etc.
Equipos de aplicación de agroquímicos
Tipo de Machete
Equipos de Corte Mecanizado y sus implementos
Equipos de Alce
Equipos de transporte
MATERIALES O INSUMOS
Calidad de la Semilla
Calidad de Fertilizantes
Calidad de Herbicidas y Plaguicidas
Calidad de Madurantes
Calidad de Machete

2. Evaluación industrial





CONCLUSIONES

En conclusión, luego del análisis y discusión realizada en la presentación final del trabajo y exposición detallada de casos, se termina definiendo "causas" que se consideran críticas para cada área, y que le debería planear o tomar acciones correctivas. A continuación se presentan los diagramas resumen:

DIAGRAMA DE ISHIKAWA - ANALISIS AGRICOLA

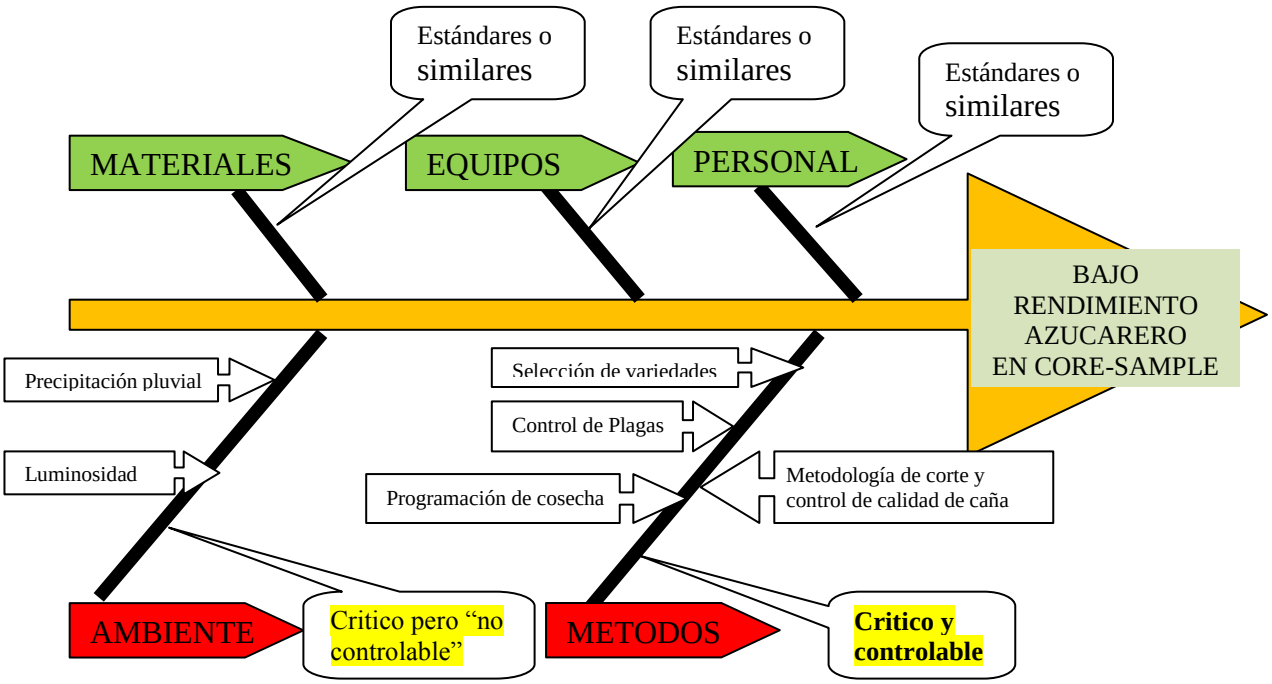
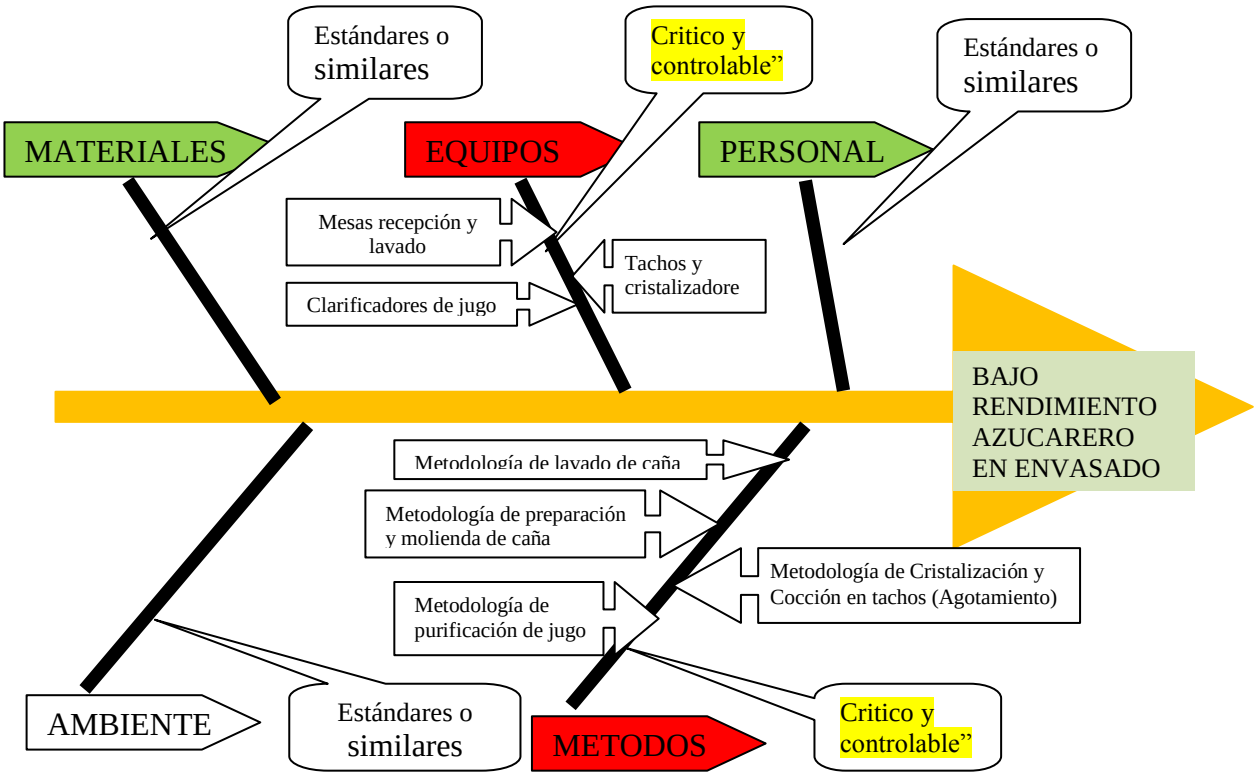


DIAGRAMA DE ISHIKAWA - ANALISIS INDUSTRIAL



BIBLIOGRAFIA

- CENGICAÑA, Guatemala, Julio 2004. Catalogo de Variedades promisorias de Caña de Azúcar de la Agroindustria Azucarera Guatemalteca
- Castro Loarca, Otto René, Ingenio Santa Ana, Febrero 2011 "Análisis y Expectativas del Comportamiento del Clima 2011"
- Castro Loarca, Otto René, CENGICAÑA, Febrero 2010 "Estudio del Clima en la Acumulación del Azúcar, estudio preliminar"
- Pérez Capote, José. EPICA de Villa Clara, Cuba 2000 "Evaluación de variedades de caña de azúcar, atendiendo a la calidad de sus jugos"
- Valdez Sáenz, María Adela, Universidad de Pinar del Rio, Cuba 2005 "Época agroclimática optima para la zafra en la empresa azucarera 30 de Noviembre",
- C.P. Chen, James. Editorial Limusa,1991 "Manual de la caña de azúcar"
- Gómez Ferreria, Edgar, José. Revista Investigación Operacional, No.1, 2008 Piracicaba, SP. Brasil "La Optimización del cultivo de Caña de Azúcar",
- Calero, Liliana María. Informe 1992-2010 CENICANA, Colombia.
- Larrahondo, Jesús. CENICAÑA, Colombia 1995 "Calidad de la caña de azúcar",
- Giraldo, Fernando. CENICAÑA, Colombia 1995 "Cosecha, Alce y Transporte",

PRODUCCIÓN DE PANELA, NUEVA EXPERIENCIA EN CUBA
PANELA PRODUCTION, NEW EXPERIENCE IN CUBA

Ing. Jorge Luís Cárdenas Morales
Ing. Dania Garcés Delgado
Ing. Enrique Rojas Munevar

ATAC CHIQUITICO FABREGAT, VILLA CLARA. sala.chiquitico@vc.azcuba.cu

RESUMEN

Llamamos **Panela** a un alimento muy tradicional en algunos países latinoamericanos y asiáticos, cuyo ingrediente es el jugo de caña de azúcar. A diferencia del azúcar que es básicamente sacarosa, la panela es un alimento más nutritivo, pues en ella encontramos además de la sacarosa; glucosa; fructosa; proteínas; minerales tales como: calcio, hierro, y fósforo y vitaminas como el ácido ascórbico.
En la inversión de Planta de Panela propuesta en Cuba, en la UEB Derivados Chiquitico Fabregat de Villa Clara, se logra la instalación de equipos que permiten la producción de panela de **alta calidad** con buenos rendimientos y bajos costos de instalación, considerando la inclusión de equipos de norma en el proceso azucarero, sin alejarse del concepto de planta piloto. Además de Panela esta planta produce Melado de caña. Y algo muy significativo es que las producciones se realizan con el uso exclusivo de **biomasa** como combustible, usando para ello una caldera diseñada e instalada a estos efectos.
La presente investigación tiene entre sus objetivos fundamentales describir la efectividad de la planta instalada para la producción de Panela y de Melado de caña en Cuba, a través de sus **ventajas** sobre una planta panelera tradicional; insertando en el mercado cubano nuevos productos para la **alimentación humana**.

PALABRAS CLAVE: Panela, alta calidad, biomasa, ventajas, alimentación humana.

SUMMARY:

Panela is a very traditional food in some Asian and Latin American countries, whose ingredient is sugar cane juice. Unlike sugar which is basically sucrose, panela is a more nutritious food, as in it we find besides sucrose, glucose, fructose, proteins; minerals such as: calcium, iron, and phosphorus and vitamins such as: Ascorbic acid.
On the investment of sugar plant in Cuba, the UEB derivatives “Chiquitico Fabregat” in Villa Clara, is accomplished the installation of equipment that allow the production of panela of **high quality** with good yields and low installation costs, whereas the inclusion of standard in the sugar mill process equipment, without straying from the concept of pilot plant. In addition to Panela, this plant produces “melado” of cane. And something very significant is that productions are performed with the use of **biomass** as fuel, using a boiler designed and installed for this purpose.
This research has its fundamental objectives describe the effectiveness of the plant for the production of Panela and Melado of cane in Cuba, through its **advantages** over a traditional panela plant; by inserting into the Cuban market new products for **human consumption**.

KEYWORDS: Panela, high quality, biomass, advantages, human consumption.

INTRODUCCIÓN:

A través de los últimos años la industria azucarera en Cuba se vio obligada a realizar diferentes transformaciones con el objetivo de aligerar estructuras y lograr que sus entidades fueran rentables y eficientes. Dentro de ellas, el antiguo Complejo Agro-Industrial (CAI) Chiquitico Fabregat, se convirtió en una Unidad Empresarial de Base (UEB) Derivados, con la función de producir azúcar refino y sus derivados (glucosa y sirope rico en fructosa), y otras producciones a menor escala.

Un proyecto surge como respuesta a la concepción de una "idea" que busca la solución de un problema o la forma de aprovechar una oportunidad de negocio, es una ruta para el logro de conocimiento específico en una determinada área o situación en particular, a través de la recolección y el análisis de datos, *Bueno (1983).* Algunos autores lo definen como: "Una herramienta o instrumento que busca recopilar, crear, analizar en forma sistemática un conjunto de datos y antecedentes, para la obtención de resultados esperados, es además de gran importancia porque permite organizar el entorno de trabajo", *Sapag (1988).*

Por lo tanto, se puede decir que un proyecto no es más que la búsqueda de una solución inteligente de forma sistemática al planteamiento de un problema, sin tener en cuenta el tipo de proyecto. Estos surgen de las necesidades individuales y colectivas de las personas, pues son éstas las que importan, son sus necesidades las que deben ser satisfechas a través de una adecuada asignación de recursos, teniendo en cuenta la realidad social, cultural y política en la que el proyecto pretende desarrollarse.

Teniendo en cuenta las directivas del Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ), hoy Grupo Empresarial Azucarero AZCUBA, se determina realizar un proceso de inversiones en sus unidades para garantizar como objetivo estratégico resultados económicos y productivos superiores en cada una de ellas. Dentro de este proceso se propone la realización de la inversión de la Fábrica de Panela en nuestra unidad, cuyos beneficios son diversos, al garantizar nuevas producciones para el consumo humano, sin ninguna afectación al medio ambiente, pues los residuales no son significativos, y porque se realizan con el uso exclusivo de la biomasa, a través de una caldera diseñada e instalada a estos efectos.

Como ya se ha dicho, llamamos panela a un alimento muy tradicional en algunos países latinoamericanos y asiáticos, cuyo ingrediente es el jugo de la caña de azúcar.

El jugo obtenido en la molienda de la caña de azúcar es cocido a altas temperaturas hasta formar una miel de alta viscosidad que tras llegar a su punto, es enfriado y moldeado en diversas formas donde se deja secar hasta que se solidifica. *Barona (2008), Castro (2006).*

La producción de panela es efectuada por lo general por pequeños agricultores de caña en zonas tropicales y a muy baja escala por unidades de producción a las cuales se denomina trapiche.

La palabra trapiche viene del latín “trapetum ó trapetus” que significa molino de aceite; así pues, el nombre de “trapiche” que se ha generalizado a la planta de producción de panela, se toma directamente del nombre que recibe el molino de caña en el cual se hace la extracción del jugo o guarapo.

La India es el primer productor de panela en el mundo, seguido por Colombia, país que a su vez es el mayor consumidor por habitante. *Osorio (2007)*

En los países latinoamericanos se produce panela de manera artesanal, dado que son en su mayoría los mismos cultivadores de caña quienes procesan la panela en los trapiches ya descritos, los cuales en su mayoría no cuentan con el equipamiento requerido para el control de la calidad. *Mosquera (2007)*

Existen también pequeños y medianos productores de panela en plantas con algún concepto de innovación tecnológica apropiada del sector azucarero; estas plantas se encuentran mayormente en las áreas de influencia de los ingenios.

En Cuba constituye un proyecto novedoso a gran escala, por cuanto es la primera vez en la historia de la industria azucarera cubana que se proyecta e instala una Planta con estas características para la producción de este alimento, pues solo a menor escala a través de pequeños productores privados se tiene la única referencia de su producción. Por tanto, su introducción trae no solo curiosidad y expectativas, sino también cierto escepticismo.

Súmese además que la Planta en sí no constituye un trapiche tradicional, sino que tiene sus propias características de instalación y procesamiento, incluyendo equipos que se usan como norma en la industria azucarera.
A la tarea de evaluar los resultados obtenidos con la puesta en marcha de esta Fábrica comparándolos con los de un trapiche tradicional, se encamina en gran medida la elaboración del presente estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Los materiales y métodos usados para desarrollar este estudio están encaminados a proporcionar mayor eficiencia en el proceso y calidad en el producto Panela que se elabora en Cuba, a partir de una comparación del proceso instalado cubano con el proceso tradicional colombiano.
Partiendo de un diagrama de Ishikawa o Causa-Efecto realizado al proceso de producción de Panela por el método tradicional en Colombia, se analizan todas las causas que afectan la calidad del producto Panela y la ineficiencia del proceso de producción.
A su vez se realiza un análisis de costo-beneficio, consistente en la estimación de los costos conocidos y de los beneficios potenciales asociados a la propuesta, por lo que en Cuba la instalación se realizó siguiendo el principio de los trapiches tradicionales, pero incluyendo equipos de norma en el proceso azucarero, lo que garantiza eficiencia industrial y mayor calidad del producto final, por ende menor costo de producción y mayor beneficio.
El equipo de trabajo compuesto por técnicos y especialistas colombianos y cubanos utilizando la técnica de Lluvia o Tormenta de ideas, enfocó el uso eficiente del pensamiento creativo dando oportunidad a que todos los miembros participaran libremente y aportaran ideas sobre el tema. Esto permitió la reflexión y el diálogo sobre el problema igualitariamente, llevando a efecto la realización de un mapeo de procesos, detallando etapas y variables del mismo, teniendo en cuenta todo el proceso productivo en la espera de lograr lo deseado.

Proceso de Producción de Panela Tradicional:

Cultivo:

- Corte
- Alce
- Transporte
- Recibo de caña (Patios de caña en piso)

Trapiche:

- Molienda (Extracciones muy bajas por lo general con un solo molino y sin preparación de caña)
- Pre limpiador (Separador de arenas y sólidos precipitables)

Horno:

- Clarificación (Descachazado y limpieza manual)
- Evaporación
- Concentración - “Punteo”

Panelería:

- Batido (Enfriamiento)
- Moldeo
- Empaque
- Almacenamiento

Comentarios:

- El corte es manual y el transporte se hace por lo general en mulas.
- La materia prima se deja en patios por prolongados períodos de tiempo en tanto se inicia la molienda y producción.

- Se cuenta con un solo molino y no se prepara la caña., por lo que la extracción es muy baja oscilando ésta entre un 52 % a 58 %.
- La clarificación se efectúa en un caldero tradicional y en la misma línea de producción, utilizando floculantes naturales como el cadillo o el balso lo que como agente natural es bueno, pero son productos de bajo efecto sobre las partículas a tratar y que afectan el ecosistema por la deforestación.
- Por lo general el proceso de evaporación se efectúa en una hornilla u horno en el cual los calderos y pailas reciben la energía de la quema directa del bagazo.
- El bagazo es dejado por 2 a 3 semanas en las bagaceras o zonas de acopio para su secado.
- No se controlan variables durante el proceso ni se cuenta con un laboratorio para su seguimiento y ajuste.
- La producción de panela por tonelada de caña molida está entre un 9.5 a 10 %

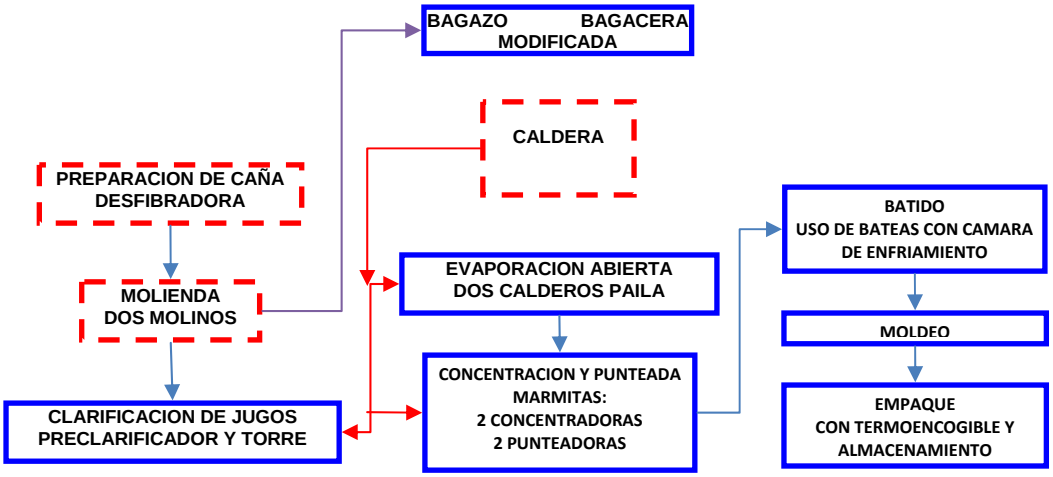
Proceso de Producción de Panela en Cuba:

La capacidad de la Fábrica es de 2-3 toneladas de caña/h, para obtener entre 300-360 kg/h de panela y cuenta con cuatro etapas fundamentales de acuerdo al proceso: preparación de la caña, trapiche, horno y panelería.

1.- Proceso de producción del proyecto cubano

TRAPICHE PANELERO

PROCESO OPTIMIZADO



Proceso de Producción:

Preparación de la caña:

- Se cuenta para ello con una desfibradora de martillo con una capacidad de 3.0 ton caña/h

Trapiche:

- Para la molida se tienen 2 molinos cubanos con capacidad de 5 ton caña/h
- Pre limpiador: Tipo SIMPAC de 0,6 m^3.
- Microemulsionador: Para mayor limpieza del jugo.

Horno:

- Clarificación de jugos: Se cuenta con un pre-clarificador, y un clarificador de 2 m^3
- Evaporación: 2 evaporadores abiertos de 1x2 m.
- Concentración y punteada: Para ello existen 4 marmitas, 2 concentradores y 2 de punteo

Panelería:

- Batido: 4 bateas refrigeradas de 0,9 x 1,9 m.
- Moldeo.
- Empaque y almacenamiento.

Comentarios:

- El corte de la caña puede ser manual o mecanizado (siempre que su transportación se realice con el balance de frescura planificado).
- La transportación de la caña es en camiones de volteo.
- Se prepara la caña con la desfibradora, logrando más de un 75% de preparación y se entrega a los molinos por medio de conductores de tornillo.
- La caña preparada pasa por dos molinos donde se extrae entre 60% y 65% del jugo de la caña.
- La clarificación se efectúa en dos etapas, comenzando en un preclarificador donde manualmente se le extrae cachaza por suspensión y posteriormente pasa al clarificador, y utilizando como floculante Quimiflot 724, se extrae cachaza por decantación.
- El proceso de evaporación se efectúa en 2 evaporadores abiertos cada uno con dos etapas, una para limpieza y evaporación, y la otra para comenzar la concentración.
- El proceso de evaporación y cocción se hace con el vapor proveniente de una caldera de 2 toneladas, montada de forma paralela a la planta y que puede utilizar leña, paja, el bagazo extraído de la molida o combinación de ellos. Esta caldera se diseñó y fabricó en Cuba con perfectas condiciones de funcionamiento.
- Todas las variables durante el proceso se controlan con técnicas analíticas, contando con un laboratorio para su seguimiento y ajuste.
- La producción de panela por tonelada de caña molida está entre un 10% y un 12%

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Evaluación Productiva:

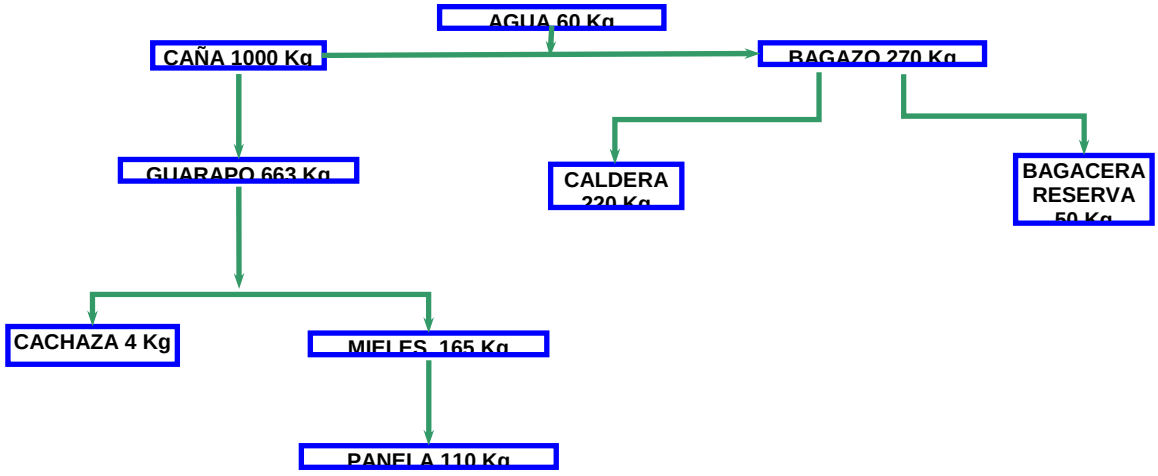
A diferencia del proceso tradicional, el proyecto cubano no se desarrolla en un solo plano donde la transportación de productos es manual o con la utilización de muchos equipos de bombeo, sino que se montó en forma de torre para aprovechar al máximo el efecto de la gravedad con la utilización de equipos normados en el proceso azucarero y que dan la posibilidad de usar la infraestructura para otras producciones además de estas.

Se realiza el montaje de una desfibradora de alta velocidad que permite una buena preparación de la caña y así lograr la máxima extracción del jugo en el área de molinos y hacer más eficiente el proceso de producción, permitiendo además la utilización directa del bagazo en la caldera para la producción de vapor.

2.- Flujo proceso de producción

FLUJO DE UNA TONELADA DE CAÑA

TRAPICHE PANELERO: DESFIBRADORA Y DOS MOLINOS



La clarificación del jugo se realiza en dos etapas: en el tanque pre-clarificador realizado manualmente donde juega un papel importante el operador en esa área con el control del ph y la temperatura; y en el clarificador, equipo diseñado para esas funciones con ayuda de floculantes químicos.
A partir de la salida del jugo clarificado se diseñó el trabajo a través de dos líneas de producción, pues se montaron dos evaporadores, dos marmitas concentradoras y dos marmitas de punteo, con conexión entre ellas evitando rigidez de trabajo en ambas líneas y facilitar la agilidad en la producción.
El enfriamiento de la torta se realiza en bateas refrigeradas lográndose más rapidez y calidad del producto final.
El proceso de producción se realiza con el vapor proveniente de una caldera cuya eficiencia, pemite su utilización no solo para fabricas de poca capacidad de producción, sino para cualquier tipo de producción o servicio y en cualquier lugar, aun en los mas intrincados.
Evaluación económico-financiera:
El financiamiento de esta inversión fue mediante cuenta bancaria del Grupo Empresarial Azucarero AZCUBA. El valor total de la inversión inicial fue de $860 000,00 MN.
El saldo real de la inversión culminada el 31 de Diciembre del 2012 fue $812 431.63 MN.
Al realizar el cálculo preliminar del costo-beneficio de la Fábrica se obtiene que por cada $1.00 invertido o de costo, se obtenga $3,93 de beneficio.
El análisis del punto de equilibrio o análisis de costo-volumen-beneficio, está íntimamente relacionado al concepto del apalancamiento operativo. Permite que la Entidad determine el nivel de operaciones que debe mantener para cubrir todos sus costos de operación y evaluar la rentabilidad o falta de rentabilidad a diferentes niveles de ventas.
Se realizan análisis del punto de equilibrio financiero para las producciones propuestas en la Fábrica: Panela y Melado de Caña, basado en el equilibrio de ambas producciones valoradas.
Una vez realizados estos cálculos queda demostrado que aún dejando de producir Panelas, que será la producción insigne de la Fábrica y que será quien más ganancias aporte a la misma, se obtienen altos niveles de ingresos si se produce solo melado de caña y viceversa, pues la producción de ambas, independientemente que sea de una u otra, siempre dará ganancias para la Fábrica. Por tanto el punto de equilibrio calculado expresa que la fábrica independientemente de la producción que realice siempre obtendrá ganancias para la UEB.
El Período de Recuperación calculado es de 1 año y 4 meses, por lo que se devolverá en este lapso de tiempo el desembolso realizado para acometer la inversión.
La Tasa Interna de Rendimiento es 85.26%, lo que representa que la fábrica gana más que el rendimiento requerido.
Del análisis de sensibilidad realizado se puede argumentar que disminuyendo los ingresos en un 20%, aumentando los costos en un 20% y aumentando el costo capital en un 15%, todavía la fábrica tiene rentabilidad.
Evaluación medio ambiental:
El manejo ambiental requiere de una planificación que incluye las actividades y obras necesarias para proteger el medio ambiente, garantizar la calidad e inocuidad del producto y la salud de la comunidad que se ve afectada, directa e indirectamente, por las acciones derivadas de la operación del trapiche panelero.
En los países productores de Panela la agroindustria no constituye un ejemplo de sistema sostenible, ya que desde la misma ubicación del lote para el cultivo de la caña hasta la obtención de la panela, está afectando el equilibrio del sistema. Actividades como la tala de árboles para el establecimiento del cultivo, la preparación del terreno y la aplicación de agroquímicos para su manejo, el uso de llantas y leña como combustibles, sumado a la baja eficiencia de los procesos de combustión y transferencia de calor en la hornilla, generan cambios negativos en la calidad ambiental.
En la mayor parte de los trapiches las instalaciones sanitarias y el tratamiento de afluentes son ineficientes o inexistentes. El agua de lavado de los moldes, por ejemplo, presenta altos índices de fermentación y contaminación, y se convierte en caldo de cultivo para el desarrollo de microorganismos que contaminan el producto. Al ser vertidas no se les hace ningún tipo de tratamiento para reducir su carga contaminante.

Por otra parte, los combustibles auxiliares utilizados, producen graves problemas de contaminación, debido a la emisión de gases tóxicos como monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. La leña cortada nunca se repone, lo que produce la deforestación de las zonas aledañas al trapiche y de las cuencas hidrográficas.

En la Fábrica Panelera instalada en Cuba se previeron los posibles efectos contaminantes a partir del estudio previo de los problemas medioambientales descritos anteriormente y se trabajó para erradicarlos o minimizarlos a su expresión más baja.

Teniendo en cuenta que la UEB Derivados Chiquitico Fabregat constituye la única entidad de la provincia que tiene como objeto social producir de forma mayorista azúcares y sus derivados; así como energía eléctrica con el uso exclusivo de la biomasa cañera como combustible, la Fábrica de Panelas se instaló para que sus producciones se realicen igualmente con el uso exclusivo de la biomasa.

La caldera de biomasa instalada es una caldera Pirotubular, con un Horno para quemar combustible, y superficies recuperativas (Economizador y Calentador de Aire), con Ventiladores de Tiro inducido y forzado, y cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

Generación de Vapor	1.80	t/h
Eficiencia Bruta	85.41	%
Pérdida de gases de salida	10.89	%
Índice de Generación	2.41	Kg/Kg
Temperatura Gases de Salida	170	º C
Temperatura Agua Alimentar	60	º C
Temp. agua salida Ecónomo.	64	º C
Combustible Consumido	747	Kg/h
Volumen de gases por VTI	4485	M³/h
Volumen de Aire por VTFp	1930	M³/h
Temp. De Vapor Saturado	180	º C

Este prototipo de caldera puede utilizar como combustible (biomasa: bagazo, paja de arroz y de café, aserrín, viruta de madera y cáscara de coco), estos últimos con una preparación adecuada. El consumo de combustible de esta caldera es de 740 kg/h (0.740 t/h) de biomasa para producir 1.8t/h, convirtiéndolo a petróleo equivalente sería de 132 kg/h (0.132 t/h). El consumo de la caldera Pirotubular PKM 2.5 t/h es de 184 kg/h de petróleo. Es decir que se ahorraría por este concepto 52 kg/h de petróleo. La utilización de esta caldera trae consigo un ahorro de combustible (gas oil y fuel oil) y se dejan de expulsar a la atmósfera más de un millón de toneladas de CO_2, por tanto protección y cuidado al medio ambiente, garantizando una producción limpia que no daña el ecosistema de la zona, ni la calidad de vida de la comunidad donde está instalada la Fábrica.

Por otro lado el tratamiento de los residuales se realiza según lo establecido en la Estrategia Territorial de Medio Ambiente Villa Clara 2011-2015.

En el caso de la cachaza que es un desecho líquido por no estar totalmente agotada se envía para un caldero paila donde se une con los desechos de las limpiezas realizadas a los demás calderos. Allí es tratada con vapor logrando un melote usado como alimento animal.

La ceniza resultante del proceso se usa para el arreglo de jardines y organopónicos de la misma UEB.

Las aguas residuales son en menor cuantía, pues son el resultado del lavado de calderos y el 90% de ellas se usa para la producción del melote. Y el vertimiento se realiza siguiendo el mismo sistema de zanjas empleado en la Fábrica de Refino, cuyo destino es una laguna de oxidación y una vez realizado su tratamiento es usada en el fertirriego de las plantaciones cañeras aledañas a la entidad.

<u>Evaluación como fuente de empleo:</u>

La Fábrica de Panela labora durante todo el año, con una plantilla de 19 trabajadores en jornadas diarias de 8 horas con descanso los sábados alternos y los domingos, y se emplea un mes laboral para realizar mantenimientos y reparaciones.

El otrora Complejo Agroindustrial donde existía un Ingenio productor de Azúcar Crudo y Refino dejó de existir, dejando en su lugar una pequeña refinería y algunas instalaciones de derivados de la caña; por ende

se disminuyó la plantilla de personal y muchos de los recursos humanos se perdieron. Con la instalación de esta nueva Fábrica se logra en la UEB y en la comunidad una nueva fuente de empleo, pudiendo incorporar a la plantilla oficial, 19 plazas de nueva creación.

Evaluación de la Calidad:

La aceptación de la panela por sus consumidores depende fundamentalmente de sus atributos sensoriales (Color, textura, apariencia y sabor) los cuales son traducidos en valores analíticos como: Color, contenido de humedad, azúcares reductores, cenizas, ph y material insoluble. Bajos contenidos de azúcares reductores, baja humedad, cenizas y color son asociados a la buena calidad de la panela.

En la Fábrica se crearon las condiciones y se capacitó al personal técnico del área de Laboratorio para que todas las variables durante el proceso se controlen con técnicas analíticas dispuestas por normas cubanas emitidas por la Oficina Nacional de Normalización. Así también la conservación y almacenamiento del producto terminado.

La Norma para la producción de Panela está regida por la Norma Empresa (Proyecto) 1:2013, con nombre: Panela. Requisitos de Calidad.

La Norma para la producción de Melado está regida por la Norma Empresa (Proyecto) 2:2013, con nombre: Melado de Caña. Requisitos de Calidad.

Evaluación de usos:

Como la Panela es un producto poco conocido en Cuba, también sus usos son desconocidos, por lo que ha sido una tarea de primer orden divulgar de manera incansable los innumerables usos que tiene el producto.

Se ha transmito oralmente, a través de murales informativos, en reuniones, charlas, conversaciones amistosas, etc. Siempre tratando de brindar la mayor información posible con la mejor claridad, incluso se han propuesto recetas con Panela en los distintos encuentros realizados. El trabajo es aun amplio, pero muy necesario para lograr su total aceptación.

- Uso doméstico: agua de panela, limonada, jugos, bebidas, dulces y postres, fritos y carnes.
- Uso industrial: galletas, panadería, lácteos, chocolates, tortas y pasteles, postres, golosinas, compotas, mermeladas y caramelos.
- Uso medicinal : mascarillas, cicatrización de heridas

CONCLUSIONES:

1. La Fábrica instalada en la UEB Derivados Chiquitico Fabregat con la utilización de una tecnología y un esquema de producción apropiado, logra costos de producción inferiores, con una eficiencia industrial y calidad del producto superiores a las de un trapiche tradicional.
2. Se logra una producción limpia, con una acertada planificación de actividades y obras necesarias para proteger el medio ambiente, garantizar la calidad e inocuidad del producto y la salud de la comunidad que se ve afectada, directa e indirectamente, por las acciones derivadas de la operación del trapiche panelero.
3. Se llevan al mercado dos nuevos productos que más que edulcorantes, constituyen alimentos por mantener al 100% el contenido de vitaminas y proteínas provenientes de su materia prima.
4. El montaje de esta nueva fábrica desde sus inicios ha constituido una estrategia para una posible etapa de guerra y para otras situaciones de desastre natural por la durabilidad y los poderes de este producto, por lo que se puede considerar de seguridad nacional.
5. Dada la infraestructura y equipos montados da la posibilidad, no solo de la producción de la panela y melado, sino permite en un futuro producir otras variantes de panela como la granulada y la pulverizada, además de otras producciones durante la etapa en que la caña de azúcar tenga bajos rendimientos.
6. La caldera instalada garantiza protección y cuidado del medio ambiente con la utilización de biomasa como combustible; por tanto mejor calidad de vida de los habitantes de la comunidad. Además de acuerdo a sus resultados es un punto de partida para generalizar su uso en otras instalaciones industriales del país.

REFERENCIAS:

1.- Barona A. (2008), Proceso de Elaboración de Panela. gloriapatriciamera.blogspot.com/2008/01/proceso-de-elaboracion-de-panela.htlm.
2.- Bueno Campo, E. (1983); Economía de la Empresa. Análisis de las decisiones empresariales.
3.- Castro A.; Morales J.; Bueno C. (2006); Proceso de producción y Fabricación de la Panela. www.slideshare.net/julystefanny/fabricacin-de-la-panela.
4.- CITMA (2011); Estrategia Territorial de Medio Ambiente Villa Clara 2011-2015.
5.- Mosquera A.; Carrera J.; Villada H. (2007); Variables que Afectan la Calidad de la Panela Procesada en el Departamento del CAUCA. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol 5, No. 1, pp 18 – 24.
6.- Osorio G. (2007); Buenas Prácticas Agrícolas y Buenas Prácticas de Manufactura en la Producción de Caña y Panela. Manual Técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).
7.- Sapag, R. (1988); Fundamentos de Preparación y Evaluación de Proyectos, México, Ediciones McGraw-Hill.

TÍTULO: ACERCA DEL CONTENIDO DE MATERIAS EXTRAÑAS EN LA CAÑA Y SU RELACIÓN CON RESULTADOS INDUSTRIALES.

TITLE: EXTRANEOUS MATTER IN CANE AND ITS RELATION WITH MILLS PERFORMANCE.

Ing. Msc Marlen de la C. Alfonso Lorenzo.

Ing. Dr. Ramón Consuegra del Rey

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

e-mail: marlen.alfonso@icidca.edu.cu

RESUMEN:

Sobre la base de la información de los análisis de materias primas a través del despalillo en el basculador y de valores de fibra, pol y brix de la caña limpia, cogollo y hojas, se formuló un balance de materiales que permitió evaluar el efecto de la materia extraña (ME) sobre importantes indicadores relacionados con la eficiencia industrial.

SUMMARY: Extraneous matter (EM) effect in sugar mills performance was studied using a material balance procedure which contains information about brix, pol and fiber of each EM component.

Palabras clave: caña, materia extraña, eficiencia, industria.

Keywords: cane, extraneous matter, efficiency, industry.

1. INTRODUCCIÓN:

En Cuba se ha producido un notable incremento del contenido de materias extrañas (en lo adelante ME) en la caña que procesan los centrales debido al aumento del tiro directo de caña al basculador. El valor promedio en el 2005 frisaba el 5 % y en la actualidad el valor está en el entorno de 10 % con valores puntuales de hasta un 15 %.

El % de ME de la caña que se procesa en los centrales depende de indicadores de la caña planta (variedad, cepa, edad….) y de los sistemas de cosecha y limpieza en explotación. Forman parte de la ME desde el punto de vista vegetativo el cogollo y las hojas, sobre los que se reportan

valores de pol, brix, pureza y fibra por Scott (1978) y otros. Aún cuando hay diferencia en lo reportado por distintos autores según Rein (2007), se concuerda en lo siguiente:

- El % de pureza del jugo de hojas y cogollo es muy inferior al de la caña limpia, por lo que la mayor presencia de ambas ME significará menor pureza del jugo procesado en los centrales.
- Aún cuando se reporta que tanto cogollo como hojas tienen contenidos de fibra superiores a los de caña limpia, la mayor diferencia (especialmente significativa) está dada por las hojas.
- Las diferencias anteriores respecto a caña limpia son tales que es posible evaluar impactos de la ME sobre el proceso industrial, aunque se puntualiza que los mismos pueden variar en función de las particularidades cualitativas de la caña y de los sistemas de cosecha.

Sobre la base de valores reportados por la literatura acerca de los constituyentes de la ME, a continuación se analiza el efecto de éstas sobre importantes indicadores de la eficiencia industrial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los valores de pol, brix y pureza de cogollo y hojas se derivan del reporte de Scott contenido en la tabla 1. La selección se sustentó en similitud con información de Casanova (1994) y por correspondencia con resultados típicos de la industria nacional. Usando la información anterior se realizó un balance de materiales que incluye el conjunto de variables de entrada y salida contenidas en la tabla 2.

TABLA I. ANÁLISIS DE CAÑA LIMPIA, COGOLLO Y HOJAS

	BRIX (%)	POL (%)	PUREZA APARENTE (%)	FIBRA (%)
Caña limpia	16,7	14,3	86,0	12,8
Cogollo	7.8	1.5	19.0	33.6
Hojas	6,7	1,4	21,0	77,7

TABLA II: RELACIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA Y DE SALIDA

VARIABLES DE ENTRADA	VARIABLES DE SALIDA
Caña molida (limpia + ME) = 100	Masa de ME
Fracción de ME	Masa de caña limpia
Fracción de cogollo en ME	Masa de cogollo en ME
Fracción de hoja en ME	Masa de hoja en ME
Fracción de fibra en cogollo	Masa de fibra en caña limpia
Fracción de fibra en hoja	Masa de fibra en cogollo
Fracción de brix de cogollo	Masa de fibra en hoja
Fracción de pol de cogollo	Masa de fibra en caña con ME
Fracción de brix de hoja	Masa de Brix en caña limpia
Fracción de pol de hoja	Masa de Brix en cogollo
Fracción de brix caña limpia	Masa de Brix en hoja

Fracción de pol caña limpia	Masa de Brix en caña + ME
Extracción reducida 12,5 (%) fibra	Masa de Pol en caña limpia
Azúcar en miel final / Impurezas caña	Masa de Pol en cogollo
Fracción de fibra en bagazo	Masa de Pol en hoja
Cachaza % caña	Masa de Pol en caña + ME
Fracción de pol en cachaza	Masa de impurezas en caña limpia
Pérdidas indeterminadas % pol caña	Masa de impurezas en cogollo
	Masa de impurezas en hoja
	Masa de impurezas en caña + ME
	Masa de jugo
	Masa de Brix en jugo
	Masa de Pol en jugo
	Masa de impurezas en jugo
	% de pureza del jugo
	% de fibra en caña + ME
	% de pol en caña + ME
	Fracción de impurezas en caña sucia
	Fracción de impurezas en caña limpia
	% de pureza en jugo caña limpia
	Bagazo en caña + ME
	Extracción de Pol
	Masa de Pol en bagazo
	% de pol en bagazo
	Masa de Pol en miel final
	Masa de Pol en cachaza
	Masa de Pol indeterminada
	Recobrado
	Masa de azúcar producida
	Rendimiento base 96
	Pérdidas en bagazo % pol caña
	Pérdidas en miel final % pol caña

El estudio consistió en variar el contenido de ME en la caña y la solución del balance de materiales constituyó la base para aportar información acerca de su efecto sobre:

- Contenido de fibra en la caña
- Producción de bagazo
- Extracción de pol en la planta moledora y pérdidas en bagazo % de pol en caña.
- Pérdidas en miel final
- Recobrado de azúcar
- Rendimiento Industrial

Se aclara que en la determinación de las pérdidas en mieles se consideraron solamente las variaciones de la cantidad de miel y no de la pureza de la miel final al no disponerse de data fiable acerca de la variación de la relación reductores/cenizas en el jugo mezclado por concepto de los cambios del contenido de ME en la caña.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 ilustra el incremento del % de fibra en caña con el % de ME. El resultado cobra significado desde más de un punto de vista. La tabla 2 ofrece información sobre el impacto en la producción de bagazo y las pérdidas de azúcar en éste por concepto de la disminución de la extracción de Pol en la planta moledora.

FIGURA 1. EFECTO DE ME SOBRE LA FIBRA EN CAÑA

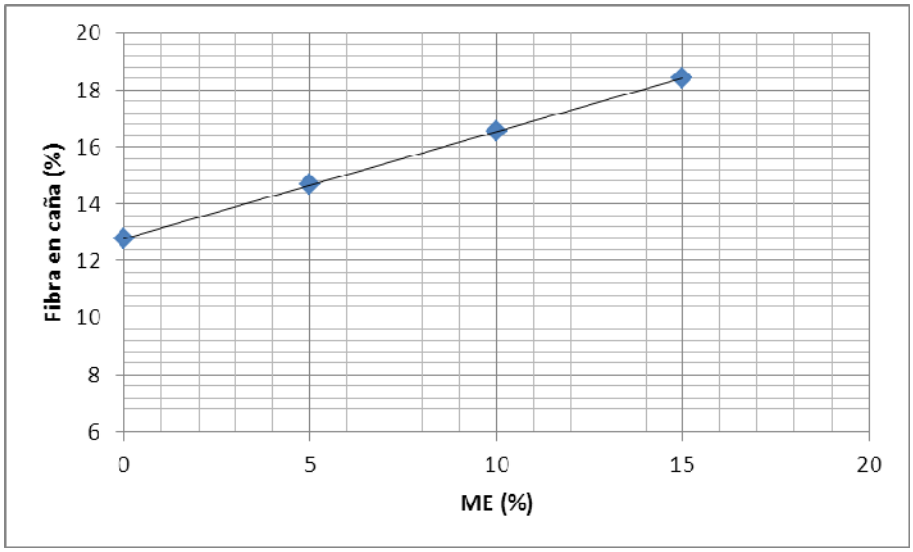


TABLA III. EFECTO DE ME SOBRE PRODUCCIÓN DE BAGAZO Y EFICIENCIA EN LA EXTRACCIÓN

% ME	0	5	10	15
% Fibra en caña	12,80	14,67	16,54	18,41
Bagazo % caña	27,23	31,21	35,19	39,17
Extracción de Pol (%)	95,88	95,18	94,45	93,68
Pérdidas en bagazo % pol en caña	4,11	4,81	5,54	6,31

Acorde a las cotas contenidas en la introducción (5 y 10 % de ME para 2 etapas de las zafras cubanas) la producción de bagazo aumenta en cerca del 25 %. Considerando un consumo de vapor en el proceso industrial igual a 50 % de la caña procesada y una relación de 2,2 toneladas de vapor producidas en los generadores de vapor por tonelada de bagazo combustible, el sobrante de bagazo en el primer caso (5 % de ME) sería de 0,085 t / t de caña, mientras que, consecuentemente, en el segundo caso sería un 25% superior. La gran dificultad que representa el bagazo sobrante si no se dispone de alternativa para su uso es bien conocida y el cuadro reflejado acerca de la influencia de la ME sobre la situación debe valorarse en cualquier análisis al respecto.

El incremento de la fibra al aumentar ME da lugar a la disminución de la extracción de Pol en la planta moledora y, por ende, al incremento de las pérdidas en bagazo. Acorde con la tabla 2, procesar caña con 10 % de ME significa un % de incremento de pérdidas en bagazo (respecto a caña con 5 % de ME) del orden de 15 %. Cualquier valoración acerca del comportamiento de la

planta moledora, así como la comparación entre ingenios deberá considerar el marcado impacto de la ME sobre los resultados.

La menor pureza de los jugos contenidos en la ME necesariamente influye sobre la pureza del jugo que procesa la fábrica. De igual forma influirá sobre la cantidad de miel final producida y sobre las ´pérdidas de azúcar en esta última corriente. La figura 2 ilustra la influencia del % de ME sobre la pureza del jugo que procesa la fábrica y la tabla 3 contiene el efecto de lo anterior sobre las pérdidas de azúcar en miel final % pol en caña.

FIGURA 2. EFECTO DEL % DE ME SOBRE LA PUREZA DEL JUGO

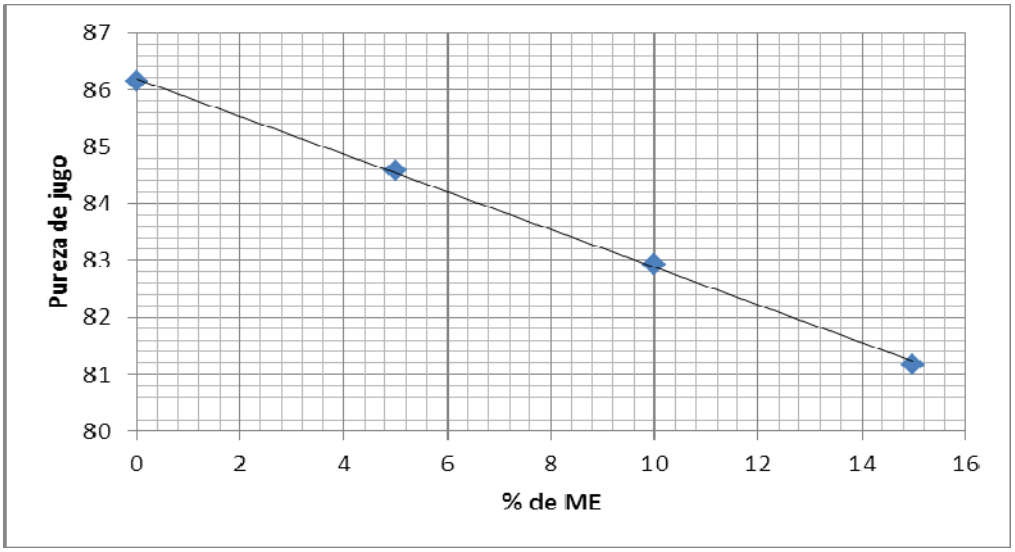


TABLA IV. EFECTO DE % ME SOBRE PUREZA DE JUGO Y PÉRDIDAS EN MIEL FINAL (MF)

% ME	0	5	10	15
Pureza del jugo	86,14	84,58	82,92	81,17
Pérdidas en MF % pol en caña	8,04	9,11	10,29	11,59

La Tabla precedente indica que las pérdidas en miel final ascienden en cerca de un 13 % cuando el contenido de la ME asciende de 5 a 10%. Aún cuando no se descartan otros factores de incidencia, es indudable que un alto contenido de ME significa un elemento de peso.

El incremento de la fibra, de las pérdidas en bagazo y miel final dan lugar a la reducción de los valores de recobrado de azúcar y rendimiento industrial. En este caso lo antes expresado se expone en la tabla 4.

TABLA V. MATERIA EXTRAÑA, RECOBRADO Y RENDIMIENTO

% ME	0	5	10	15
Recobrado	87,27	85,47	83,53	81,43
Rendimiento	12,99	12,16	11,32	10,49

Acorde a los resultados, el incremento del contenido de ME según las 2 cotas analizadas (5 y 10 % de ME) significa una reducción de la producción de azúcar en el entorno del 7 %.

4. CONCLUSIONES

La cuantificación del efecto de la ME sobre el proceso industrial acorde a las restricciones establecidas en el presente estudio, indica que el incremento del contenido de ME en centrales cubanos pudo dar lugar a pérdidas en bagazo y en mieles finales en el entorno del 15 %, así como a una disminución de la producción de azúcar del 7 %.

5. REFERENCIAS.

1. Scott R.P; Falconer. D; Lionnet G.R.E. (1978): A laboratory investigation of the effects of tops and trash on extraction, juice quality and clarification. Proc South Africa. Sugar Tecnologists. Ass 52, 51-53

2. Rein P. (2007) Cane Sugar Engineering. Ed.Verlag Dr, Albert Bartens. Berlin-2007

3. Casanova E (1994) Pago de la caña. Informe interno del Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras, 3-15.

ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS DE SACAROSA EN MIELES FINALES Y RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN ENTRE CENTRALES AZUCAREROS CUBANOS.

SUCROSE LOSSES IN FINAL MOLASSES AND RESULTS OF CUBAN SUGAR MILLS COMPARISON.

Autores: Marlen Ramil, Marlen Alfonso, Ramón Consuegra.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
marlen.ramil@icidca.edu.cu

RESUMEN:
Se analizaron las pérdidas en mieles finales en Cuba sobre la base de reportes de ingenios azucareros cubanos. Como resultado se precisó:
- Notable relación entre pérdidas y tiempo perdido industrial.
- Inconvenientes del uso de purezas aparentes para comparar ingenios.
- El efecto de la remoción de impurezas en la clarificación de jugos sobre la cantidad de miel.
Adicionalmente se analiza el uso de una ecuación para el cálculo de la pureza meta.
Palabras clave: Pérdidas en mieles, agotamiento de mieles, purezas aparentes y reales.

ABSTRACT:
Cuban final molasses losses were analyzed according to sugar factories reports. The following results were achieved:
- Close relationship among sugar losses and factories downtime.
- Apparent purities limitations for factories comparison.
- The effect of clarifiers' impurities removal on molasses quantity.
In addition, target purity formula is analyzed.
Keywords: Molasses losses, molasses exhaustion, apparent and true purities.

INTRODUCCIÓN

En Cuba las pérdidas de azúcar en mieles son apreciablemente altas. Se reportan valores recientes en el entorno de 10,50 de pérdidas de pol % de pol en caña como promedio nacional. Adicionalmente, el procesamiento de los valores reportados por los centrales arroja desviación típica del orden de ±2,50, reflejo de alta dispersión.

Las pérdidas en mieles están dadas por la cantidad de miel y su pureza. La cantidad de miel depende esencialmente de la pureza del jugo y de su formación en el proceso industrial. Por su parte, la pureza es función de la solubilidad de la sacarosa que establece el potencial de agotamiento de la miel, así como de la sobresaturación y viscosidad, variables que condicionan la cinética del proceso.

En Cuba se define como porcentaje de formación de mieles a la cantidad de miel producida entre la cantidad de miel teórica (multiplicada por 100). El valor teórico, que es función de los no azúcares contenidos en el jugo mezclado % caña y de la pureza de la miel final, se calcula mediante ecuación o tabla reportada por Pedrosa **(1965)**. La ecuación es:

t miel / t caña = 0,0055 * (0,0360 * Pureza miel Final + 1.073) * No Azúcares % caña.

El modelo pudiera ser actualmente discutible al estar sus coeficientes condicionados por el balance de materiales derivado de una situación agroindustrial diferente a la actual. Sin embargo, a los efectos de realizar comparaciones del desempeño de los centrales, se considera una herramienta útil.

Para una pureza de la miel final dada, la formación de mieles es igual a 100% si la cantidad de impurezas que sale del proceso (removida en la clarificación) es igual a la suma de la que entra por diferentes fuentes (lechada de cal, otras) y la que se produce debido a la destrucción de sacarosa por vías química y microbiológica. Si el balance anterior da negativo el porcentaje de formación de mieles es superior a 100 y viceversa. En fin, el porcentaje de formación de miel está afectado fundamentalmente por la pobre remoción de impurezas en la clarificación y por la destrucción de sacarosa en el proceso.

Si bien se dispone de una herramienta útil para valorar la formación de miel, no ocurre lo mismo con la determinación del potencial de agotamiento de las mieles, al carecerse de fórmula establecida para determinar la pureza meta de la miel final. Morera (1978), Hormaza y colaboradores (2006) abordaron el asunto, sin embargo, en el primer caso no se precisó con total fuerza el peso de la relación reductores/cenizas sobre la solubilidad de la sacarosa y en el segundo, aún cuando se utilizó un equipamiento adecuado para el trabajo experimental, no se obtuvo una buena correlación entre pureza meta y la relación anterior. Tal vez el inconveniente esté asociado con imprecisiones de los supuestos considerados como base del proceso experimental.

Sobre la base del reconocimiento de la complejidad de un tema aún por resolver en buena medida, el presente trabajo pretende, mediante el tratamiento de los datos de los centrales azucareros cubanos y de su comparación, contribuir a la búsqueda de soluciones para las pérdidas de sacarosa en las mieles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó la influencia del tiempo perdido industrial (zafra 2012 – 2013) sobre las pérdidas de sacarosa en las mieles finales y los componentes que la condicionan. El propósito fue caracterizar el efecto de un posible problema “macro” sobre el tema sujeto a análisis.

Tomando en consideración la influencia que pudieran tener los procedimientos analíticos empleados en los ingenios a los efectos de la determinación del contenido de sacarosa en la miel, se compararon valores de pol y de sacarosa real reportados por los centrales aplicando las técnicas contenidas en el Manual Analítico de Control Unificado para la Producción de Azúcar Crudo (2006). El efecto de la diferencia entre pol y sacarosa real fue también analizado como parte de la comparación entre centrales.

El análisis de pérdidas se sustentó en comparación entre fábricas, adicionándose elementos aportados por Rein (2007) y Ravno (1982) acerca de ecuaciones para la determinación de la pureza meta.

El tratamiento matemático y estadístico del estudio, fue realizado con el programa EXCEL.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 ilustra el efecto del tiempo perdido industrial sobre las pérdidas en mieles finales. Los datos responden al acumulado reportado por la totalidad de los centrales (zafra 2013 con cierre finalizando abril).

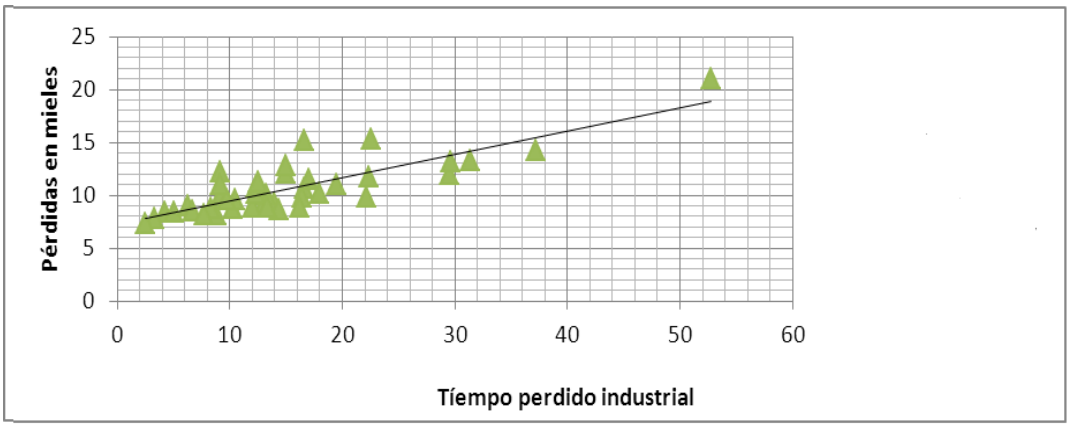


Figura 1. Efecto del tiempo perdido industrial sobre las pérdidas.

Se evidencia la tendencia al incremento de las pérdidas, así como una aceptable correlación (0,84) en un contexto donde la variable dependiente es función de muchas otras, entre las que se incluye el efecto de la operación humana.

Concordante con el resultado anterior se muestran relaciones de la formación de mieles y la pureza de la miel con el tiempo perdido industrial, según las figura 2 y 3.

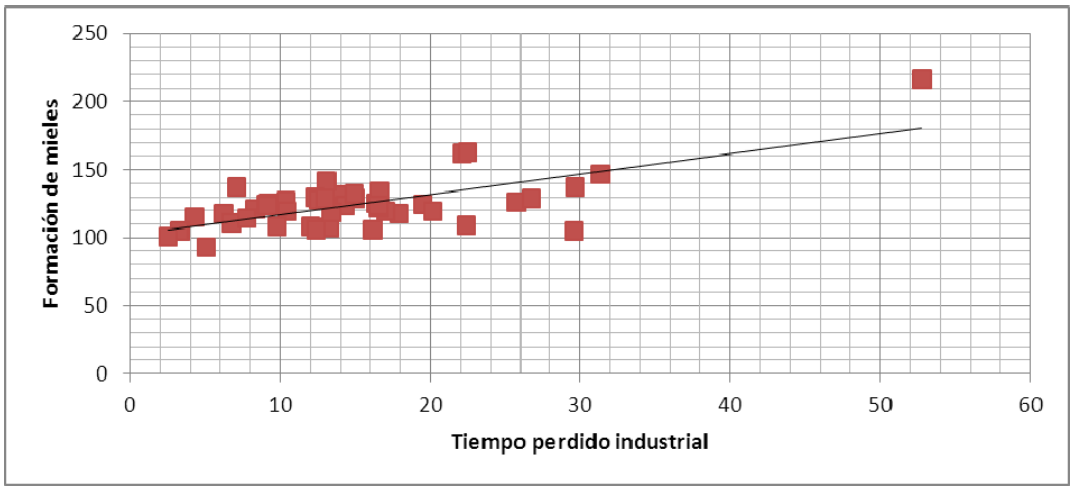


Figura 2. Variación de la formación de mieles con tiempo perdido industrial (r=0,68)

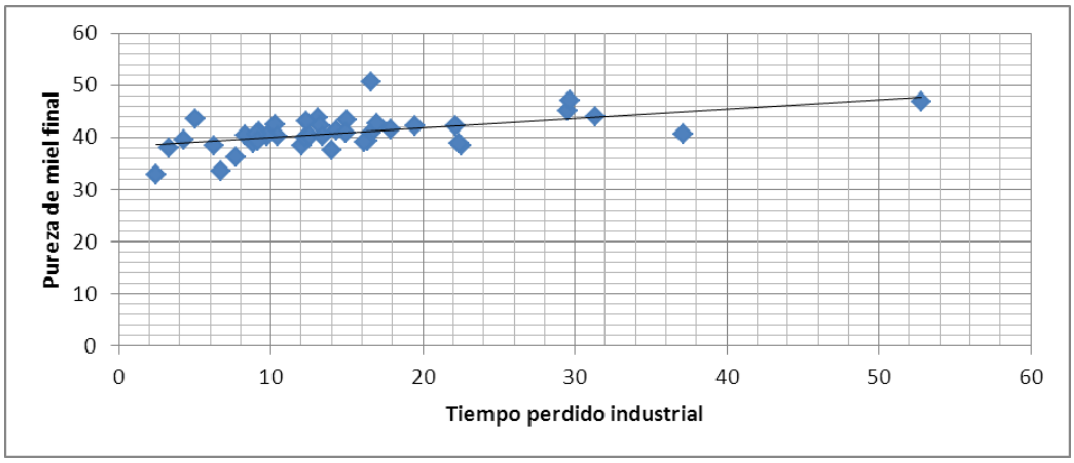


Figura 3. Variación de la pureza de la miel con tiempo perdido industrial (r = 0,60)

Sobre la formación de mieles pesan la destrucción de sacarosa por inversión y la formación de polisacáridos (incluyendo la dextrana) y oligosacáridos. Adicionalmente, la formación de productos que aumentan viscosidad limita la capacidad de remoción de impurezas en el proceso de purificación de jugos. En el caso de la pureza de la miel deben incidir el incremento de la viscosidad por concepto de formación de polisacáridos, el deterioro del hábito del cristal ante posible aumento del contenido de oligosacáridos y las implicaciones que sobre la operación de la fábrica significa la disminución de la velocidad del proceso.

El efecto del incremento del tiempo perdido industrial sobre las pérdidas en las mieles finales es tal que puede explicar parte del fenómeno que actualmente acontece en los centrales cubanos.

El ajuste correspondiente a la data ilustrada en la figura 1 se corresponde con:

Pérdidas en mieles = 0,22 TPI + 7,27 **(1)**

TPI: Tiempo perdido industrial

Asumiendo un tiempo perdido industrial de 5 %, las pérdidas de pol en mieles tendrían un valor en el entorno de 8 % de pol en caña, mientras que para un caso bastante común de TPI de 15 % el valor sería del orden de algo más que el 10,00 %.

Lo anterior no significa que ingenios que reporten valores de pérdidas de 8,00 % por no presentar un alto nivel de tiempo perdido tengan un trabajo de agotamiento excelente y que se descarte el análisis de vías para disminuir el valor de sus pérdidas. Aún así, no se desconoce que al explotar de mejor manera sus capacidades, garantizan mejores indicadores de eficiencia.

Comparación de 2 ingenios

El procesamiento de datos sobre el desempeño de centrales cubanos, dio lugar a observaciones que se presentan mediante la comparación de dos fábricas que exhiben indicadores de eficiencia superiores al promedio del país. Las fábricas son identificadas en lo adelante como ingenios A y B.

La figura 4 contiene el comportamiento semanal de la pureza aparente de la miel final según varía la razón reductores/ceniza (en lo adelante R/C) en A y B.

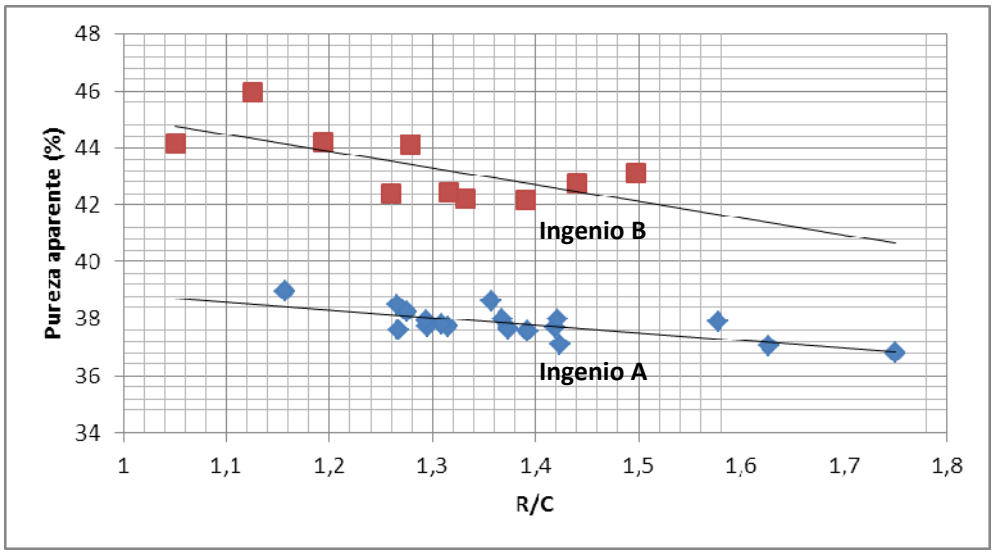


Figura 4. Variación de pureza aparente con R/C. Ingenios A y B

En ambos centrales la pureza disminuye al aumentar la relación R/C, comportamiento que responde a los preceptos del agotamiento de las mieles y que constituye indicador de estabilidad operativa. También la figura evidencia menores valores de la pureza aparente para igual R/C en el ingenio A. Las ecuaciones resultantes fueron:

INGENIO A: Pureza aparente = 41,55 - 2,69R/C r = - 0,71 **(2)**

INGENIO B: Pureza aparente = 50,89 – 5,80 R/C r = - 0,66 **(3)**

Evaluando las ecuaciones se obtienen los resultados contenidos en la tabla I.

Tabla I. Relación de pureza aparente con R/C en ingenios A y B

R/C	Pureza aparente ingenio A (%)	Pureza aparente ingenio B (%)	Diferencia
1,0	38,86	45,09	6,23
1,2	38,32	43,93	5,61
1,4	37,78	42,77	4,99
1,6	37,25	41,61	4,36
1,8	36,70	40,45	3,75

Los resultados de la tabla indican que el agotamiento de las mieles en el ingenio A es muy superior que en el B, sin embargo, lo anterior se trata de un cuadro comparativo entre purezas aparentes. La tabla II refleja una apreciable diferencia ente los valores de la relación Pol/Sacarosa, lo que necesariamente influye sobre los valores de las purezas reales

Tabla II. Relación pol/sacarosa en ingenios A y B

Muestra No	Pol/sacarosa en ingenio A	Pol/Sacarosa en ingenio B
1	0,90	0,91
2	0,89	0,96
3	0,88	0,97
4	0,90	0,96
5	0,91	1,04

6	0,87	0,94
7	0,87	0,97
8	0,88	0,91
9	0,92	0,95
10	0,92	0,93
11	0,89	0,95
12	0,88	0,94
13	0,89	0,93
14	0,90	0,89
Promedio	**0,89**	**0,95**
D. Típica	0,015	0,034

Sustituyendo convenientemente los valores de pol por los de sacarosa en la data que dio lugar a la tabla I y ajustando las ecuaciones matemáticas a la nueva condición se obtiene:

INGENIO A: Pureza real = 51,12 - 6,39 R/C r = 0,86 **(4)**

INGENIO B: Pureza real = 57,69 – 9,85 R/C r = 0,93 **(5)**

La tabla III responde a la solución de las ecuaciones ante cambios de R/C y adicionalmente incorpora los valores de las diferencias entre las purezas aparentes contenidos en la tabla I para mayor ilustración

Tabla III. Diferencias de purezas reales y aparentes.

R/C	Pureza real ingenio A (%)	Pureza real ingenio B (%)	Diferencia entre purezas reales	Diferencia entre purezas aparentes
1,0	44,73	47,84	3,11	6,23
1,2	43,45	45,87	2,42	5,61
1,4	42,17	43,90	1,73	4,99
1,6	40,89	41,93	1,04	4,36
1,8	39,61	39,96	0,25	3,75

Los valores sombreados en la tabla III muestran que el uso de purezas aparentes a los efectos de comparar ingenios puede dar lugar a errores importantes como el que se presenta en este análisis, donde se sobrestiman diferencias. No se trata de descartar totalmente el uso de la pureza aparente como criterio de eficiencia, pero su uso es preferible que se concrete a un mismo ingenio. Los resultados expuestos en la tabla II indican posibilidades de usar la pol para evaluar el desempeño de un ingenio dado, sin embargo, es conveniente mantener información esporádica de los valores de sacarosa para realizar las correcciones que sean necesarias.

Acerca de la pureza meta

En los centrales cubanos no está establecida una ecuación para determinar la pureza meta, lo que resulta una limitación cuando se analiza el comportamiento práctico del agotamiento en los ingenios. Sin desconocer la necesidad de resolver lo anterior, se revisó lo realizado por otros especialistas procurando alternativas de adecuación a las condiciones cubanas

La gran mayoría de los especialistas en la rama de la cristalización de la sacarosa, coinciden en que la pureza meta es función de la relación reductores/cenizas. Rein (2007 [9]) aporta una tabla que contiene ecuaciones derivadas de un trabajo experimental realizado por reconocidos autores. El referido autor

puntualiza que las diferencias entre los resultados dependen de las técnicas analíticas empleadas y en la tabla previamente mencionada se precisa información al respecto.

En ningún caso (haciendo referencia a países) se definen ecuaciones por ingenio, lo que es indicador de lo consistente que resulta relacionar la pureza meta con R/C. Normalmente la experimentación que da lugar a las ecuaciones es encargada a instituciones especializadas como es el caso del SMRI en África del Sur según se infiere de reporte de Ravno (1982 [9]). No se descarta la actualización de las ecuaciones si se considera necesario, pero lo que resulta de la experimentación y ajuste matemático es usado de manera generalizada a los efectos de la evaluación del agotamiento. Rein (2007[9]) refiere casos en que la fórmula usada en un país es extendida satisfactoriamente a otros, siempre que se empleen iguales o similares procedimientos de análisis.

En Cuba se usa el método de Lane & Eynon para la determinación de sacarosa. Sobre esa base se realizó una búsqueda que dio lugar a analizar el posible empleo de la ecuación reportada por Ravno (1992 [9]) que se sustenta igual método de determinación de sacarosa. La ecuación es:

Pureza meta = 39,94 – 19,6 log R/C. **(6)**

En la figura 5 están contenidos resultados de los ingenios A y B según las ecuaciones **(4)** y **(5)** y lo resultante de la sustitución de iguales valores de R/C en la ecuación **(6).**

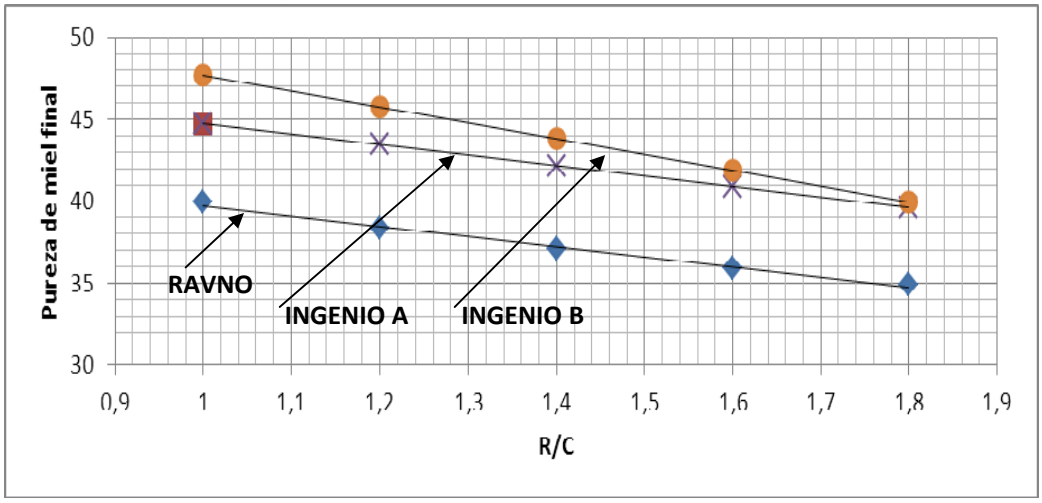


Figura 5. Relación pureza real- R/C en referencia e ingenios a y b

Los valores de pureza mediante el uso de la referencia son menores que los reportados por los ingenios, lo que es requisito de las fórmulas que se usen para calcular pureza meta en cualquier contexto. Adicionalmente hay bastante similitud entre las formas de los gráficos como reflejo de analogía entre los sistemas tratados.

La evaluación del desempeño de los ingenios se fundamenta en la diferencia entre el valor de pureza obtenido y la pureza meta (en lo adelante DPM). La tabla IV ofrece información sobre el comportamiento de DPM en los 2 ingenios analizados, usando la ecuación **(6)** para calcular la pureza meta.

Tabla IV. Valores de DPM. Ingenios A y B

R/C	PUREZA META	PUREZA INGENIO A	PUREZA INGENIO B	DPM INGENIO A	DPM INGENIO B
1	39,94	44,73	47,72	4,79	7,78
1,2	38,38	43,45	45,78	5,07	7,40

1,4	37,07	42,17	43,84	5,10	6,77
1,6	35,93	40,89	41,90	4,96	5,97
1,8	34,93	39,61	39,96	4,68	5,03

Rein (2007 [9]), en una pesquisa realizada acerca de reportes de DPM en el mundo, afirma que los valores de esta variable se encuentran con mayor probabilidad en el rango entre 3 y 7, lo que se corresponde con los resultados contenidos en la tabla IV. Por su parte Lionnet (2001) reporta que en Sudáfrica los valores se encuentran generalmente en el intervalo de 4 y 5, lo que se corresponde con lo obtenido en el ingenio A que es uno de los que exhibe mejor agotamiento en Cuba. Los resultados obtenidos por el ingenio B son inferiores, aunque no especialmente malos si se toman en cuenta reportes de Davis (2006) en la misma Sudáfrica y conociendo las limitaciones de los ingenios cubanos con relación al equipamiento para el procesamiento de masa C.

Tomando en cuenta lo analizado acerca de la fórmula reportada por Ravno para el cálculo de la pureza meta, se considera que su uso pudiera ser de utilidad para evaluar el agotamiento de las mieles cubanas, sin obviar su paulatino perfeccionamiento sobre la base de experiencias locales por parte de instituciones especializadas.

Una vez tratado el asunto de la pureza de la miel final en los ingenios estudiados, se extendió el análisis comparativo a la formación de mieles en el proceso. En este sentido cabe precisar que ambos centrales reportan porcentaje de formación de mieles relativamente bajos (93 en ingenio B; 105 en ingenio A) respecto al país (sobre 120). Aún así, el ingenio B reporta un valor un 13 % menor que el A, por lo que se entendió conveniente analizar la posible causa de la diferencia. Los resultados de la comparación se muestran en la tabla V.

Tabla V. Comparación de variables de los ingenios A y B. Valores acumulados al cierre de abril 2013.

VARIABLE	INGENIO A	INGENIO B
% formación de mieles	**105**	**94**
Tiempo perdido industrial (%)	3,28	5,00
Pureza del jugo mezclado (%)	85,55	85,66
Pureza real de la miel final (%)	42,11	45,27
Caída de pureza entre jugo mezclado y de filtros (%)	3,36	3,35
Caída de pureza entre jugo clarificado y jugo mezclado (%)	0,43	1,63
Cumplimiento de norma de pH	SI (entre 95 y 100% de valores dentro de norma)	SI (entre 85 y 90 % de valores dentro de norma)

La diferencia entre los valores de tiempo perdido no es apreciable y en cualquier caso el cuadro favorecería al ingenio A que reporta un valor ligeramente menor. Aunque no se dispone de data sobre el comportamiento de la formación de reductores en el proceso, ambos ingenios son estables moledores que cumplen con la norma de control de pH, situación que se muestra algo mejor en A. Los valores de la pureza del jugo mezclado son similares e igual ocurre con la caída de pureza entre jugo mezclado y jugo

de filtros. Adicionalmente, el porcentaje de formación de mieles en A está favorecido por una menor pureza real de la miel final. De acuerdo con la información anterior, lo que pudiera explicar que la menor formación de miel en el ingenio B es consecuencia de la diferencia de purezas entre los jugos clarificado y mezclado.

Para iguales valores de pureza y sólidos en jugo mezclado, la diferencia de valores contenidos en la tabla (0,43 vs 1,63) significa que el contenido de impurezas en el jugo clarificado de A es un 13% mayor que en B, lo que da lugar (considerando la pureza real de la miel de ambos casos) a un incremento de los sólidos en miel final del orden del 7 %. Tomando en cuenta que el ingenio A produce una cantidad de miel 13% superior a B, la diferencia de las caídas de pureza explican al menos el 50% de la situación, lo que indica que se trata de un factor a tomar en cuenta cuando se valore el complejo aspecto de las pérdidas en mieles.

CONCLUSIONES

1. El tiempo perdido industrial aparece como una causa de peso cuando se valoran las altas pérdidas en mieles de los centrales cubanos.
2. No se debe realizar análisis comparativo del agotamiento de mieles entre ingenios valorando purezas aparentes dadas las diferencias de la relación pol/sacarosa. Lo anterior no descarta el uso para un mismo ingenio, aunque siempre debe observarse el valor de la relación para hacer la corrección que sea pertinente.
3. La ecuación reportada por Ravno para el cálculo de la pureza meta de las mieles finales pudiera ser usada temporalmente para evaluar el agotamiento de las mieles cubanas. Se recomienda su adecuación mediante proceso de experimentación realizado por instituciones especializadas.
4. La diferencia de purezas entre los jugos clarificado y mezclado representa una variable a considerar cuando se valora la formación de mieles en el proceso.

REFERENCIAS

Davis. S. B; Schonees B.M (2006)"The effect of some impurities on the target purity formula" Proc. South Africa Sugar Technologist Ass.80. pp 433-447.

Hormaza J y col. (2006). "Desarrollo de una ecuación para predecir el máximo grado de agotamiento práctico de la miel para las condiciones cubanas". Informe Final de Problema Ramal del MINAZ.20 páginas.

Morera R, Mishchuk R (1978). ¨Exhaustion of final molasses¨ International Sugar Journal , 80, 73-76.

Lionnet. R (2001) "Lost of sucrose in South African molasses".Proc. ISSCT. 17, pp 2328-2350.

Pedrosa, P.R. (1965). Manual para el Laboratorio Azucarero. Ed. Universitaria, pp. 117-150.

Rein. P (2007). Cane Sugar Engineering. Bartens-Berlin 2007.ed. pp 455-466.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GERENCIAL PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA

MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM FOR THE CUBAN SUGAR INDUSTRY

Autor: Irina Vargas Vargas y Rubén Monduí González

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), AZCUBA.
Vía Blanca # 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana.
Email: irina.vargas@icidca.edu.cu

Email: ruben.mondui@icidcaby.azcuba.cu

Resumen

Se presenta un sistema de información gerencial (SIG) relacionado con el aspecto fabril de la industria azucarera cubana, que caracteriza de forma general sus centrales y empresas azucareras provinciales (EA). El diseño e implementación de este sistema de información gerencial provee a la industria azucarera cubana de una herramienta informática que coadyuva a unificar, procesar, almacenar, analizar y divulgar datos actualizados sobre las EA y los ingenios azucareros, específicamente, sobre su maquinaria fabril y sus indicadores industriales, actuales e históricos; lo cual favorece la toma de decisiones gerenciales y tecnológicas en todos los niveles de gestión de AZCUBA. Se define el diseño de la aplicación web que integra la información del SIG, y se explica la plataforma usada para su desarrollo y la arquitectura de información empleada. Se demuestra que la implementación de este sistema permite a los directivos y técnicos del sector contar con una herramienta integradora que de forma oportuna y actualizada facilite la diseminación de su información a todos los niveles de dirección para la toma de decisiones estratégicas, de recursos humanos, del proceso inversionista, para la reparación y el mantenimiento del equipamiento de los ingenios y para saber el estado de los principales indicadores industriales durante la zafra e históricos, y para poder hacer análisis comparativos a partir de los datos proporcionados.

Palabras claves: SISTEMA DE INFORMACIÓN GERENCIAL, APLICACIÓN WEB, SOFTWARE, INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA

Abstract

A management information system (MIS) is presented. It is related with the manufacturing aspect of the Cuban sugar industry that characterizes in a general way its factories and provincial sugar companies (EA). The design and implementation of MIS provides to the Cuban sugar industry of a software tool that helps to unify, process, store, analyze and disseminate updated data about the EA and the sugar factories, specifically about its industrial machinery and its industrial, current and historical indicators, which favors the managerial and technological decisions in all the management levels of AZCUBA. The design of the application web that integrates the MIS information is defined, and the platform used for its development and the information architecture used is explained. It is show that the system implementation allows to managers and technicians of the sector to have an integrative tool that facilitates the dissemination of its

information to all direction levels for strategic decision making, timely and up-to-date way, about human resources, investment process, for the repair and the maintenance of factories equipment, and to know the state of the main industrial indicators during the harvest and historical indicators, and to make comparative analysis starting from the proportionate data.

Keywords: MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM, APPLICATION WEB**,** SOFTWARE, CUBAN SUGAR INDUSTRY

Introducción

En las organizaciones actuales, la información se considera un recurso fundamental para la administración óptima de otros como los humanos, financieros, materiales y técnicos. Para organizar, procesar, controlar y diseminar todo su caudal informativo, dichas organizaciones tienen que contar con eficientes sistemas de información.

Los sistemas de información en las organizaciones deben respaldar las operaciones empresariales, la toma de decisiones gerenciales y la ventaja competitiva estratégica. Además, valiéndose de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC)[1], contribuir a la automatización de actividades y procesos en las empresas; llevar la información de manera oportuna y adecuada a todas las instancias de la misma que así lo requieran; proporcionar un diagnóstico de la empresa en un momento dado y dar elementos de juicio para realizar pronósticos.

Entre los diversos tipos de sistemas de información existentes se encuentran los sistemas de información gerencial (SIG o MIS).

Todas las funciones gerenciales –planificación, organización, dirección y control– son imprescindibles para un buen desempeño organizacional. Para apoyar estas funciones, en especial la planeación y el control, son necesarios los sistemas de información gerencial.

Los autores Laudon, K. y Laudon, J. (citado por «Management Information System: Definition», s. f.) acuñan lo anterior al plantear que los MIS atienden fundamentalmente las funciones de planificación, control, y toma de decisiones en el nivel de gestión. Y aunque suele ser usado para denominar a todos los tipos de sistemas de información usados en los negocios, el término *Management Information Systems*, o MIS, actualmente describe sistemas específicos que proveen a los administradores con reportes y en algunos casos, acceso *online* a los archivos del rendimiento actual e histórico de la organización.

Un MIS es un sistema que genera información precisa, oportuna y organizada para que los gerentes y otros usuarios puedan tomar decisiones, resolver problemas, supervisar actividades y darles seguimiento. (Shelly, Cashman, & Vermat, 2000)

Muñoz Cañavate (2003) denomina a los MIS como sistemas de información para la gestión y ofrece un concepto más enfocado hacia las tecnologías de información: *"son un conjunto de herramientas que combinan las tecnologías de la información (hardware + software) con procedimientos que permitan suministrar información a los gestores de una organización para la toma de decisiones"*.

El término SIG o MIS se utilizó originalmente para describir aplicaciones relacionadas con la gestión de información sobre ventas, inventarios, y otros datos de la empresa. Pero actualmente es mucho más amplio y aplicable a diferentes contextos, con marcado énfasis en la integración de procesos y encaminado a la gestión de información y del conocimiento, lo cual resumen Ronda Martínez y Sánchez León acertadamente (2003)

Los SIG ayudan a los directivos y empleados con problemas estructurados que ocurren generalmente a nivel táctico y les proporcionan datos de fuentes internas y externas, así como un entorno generalizado de computación y de comunicaciones que puede ser aplicado a un conjunto diverso de problemas. Ayudan a

[1] Conjunto de elementos y técnicas utilizadas en el tratamiento y transmisión de la información, basadas principalmente en el desarrollo de la informática, Internet y las telecomunicaciones.

hacer pronósticos de tendencias e identifican oportunidades, al mismo tiempo que ayudan a detectar problemas en la ejecución de los procesos establecidos. Facilitan el seguimiento del desempeño organizacional e incrementan el control de los diferentes niveles de dirección para apoyar que la toma de decisiones sea coordinada, pero descentralizada y que ocurra en los niveles operativos más bajos de la institución.

El principal propósito de un SIG es mostrar relaciones significativas entre toda la información generada por la empresa, de forma tal que disminuya la incertidumbre en la toma de decisiones.

La Organización de Dirección Superior Grupo Azucarero (AZCUBA) – actualmente encargada de dirigir, ejecutar y controlar la política del Estado y Gobierno, en cuanto a actividades de la agricultura cañera, industria azucarera y sus derivados– puede considerarse como una macroempresa del sector empresarial cubano, en la cual la información de diversa índole que se genera y circula entre sus entidades es extremadamente voluminosa y difícil de gestionar de forma integral.

La industria azucarera cubana, liderada por AZCUBA, cuenta con varios niveles de gestión: central (Grupo Azucarero, centro rector), provincial (Empresas Azucareras provinciales, EA) y las unidades empresariales de base o ingenios azucareros. La información generada por los ingenios azucareros fluye de forma ascendente hasta llegar al nivel central donde se almacena, procesa y resume para la toma de decisiones de carácter global.

Ante la necesidad –detectada por el Grupo de Industria y la Dirección de Atención a Plantas Industriales de AZCUBA– de un sistema capaz de mostrar la información relevante sobre industria existente en los centrales azucareros y, de forma consolidada, en las empresas azucareras provinciales que los dirigen (un sistema similar está implantado para la parte agrícola del Grupo Azucarero), se realiza el diseño e implementación del SIG expuesto en el presente trabajo.

El diseño e implementación de este sistema de información gerencial (SIG) provee a la industria azucarera cubana de una herramienta informática que coadyuva a unificar, procesar, almacenar, analizar y divulgar datos actualizados sobre las EA y los ingenios azucareros, específicamente, sobre su maquinaria fabril y sus indicadores industriales, actuales e históricos; lo cual favorece la toma de decisiones gerenciales y tecnológicas en todos los niveles de gestión de la organización.

Definición del sistema de información gerencial para la industria azucarera cubana

El sistema que se propone es una aplicación web que permite localizar sobre un mapa de Cuba, entidades relevantes de la industria azucarera del país, específicamente ingenios azucareros y empresas azucareras provinciales, mostrando información de las mismas, enfocado fundamentalmente a su aspecto fabril. Además, tiene otras funcionalidades y servicios complementarios que constituyen valor añadido desde el punto de vista informativo.

Plataforma de desarrollo de la aplicación web

Para la selección de la plataforma de desarrollo de la aplicación –lenguaje de programación, tecnologías web y sistema de base de datos a utilizar– se tuvieron en cuenta los siguientes requerimientos:

- La utilización de software libre y estándares abiertos como soporte informático por las ventajas que ofrece en cuanto a la apropiación de tecnología, pues fácilmente se pueden obtener información, documentación y actualizaciones para todas las aplicaciones que se utilicen, a partir de sus páginas oficiales y de los foros de discusión en Internet, las cuales ya han sido meditadas, revisadas y perfeccionadas por la comunidad que los usa. Por otra parte, entre las estrategias de la Oficina de Informatización de la Sociedad de nuestro país está la migración al software libre y para esto se debe estar apto, tanto en la administración de servidores como en la utilización de aplicaciones específicas, entre las que se encuentran las tecnologías para el desarrollo web.

- Que los lenguajes de programación y el sistema de gestión de base de datos seleccionados para el SIG permitan interactuar dinámicamente con los sistemas de información y otras fuentes de datos de las que se nutre el SIG (sistemas MainPack e IPLUS y serie histórica de indicadores de zafra), para llegar a un producto que, estando a tono con las tendencias actuales, facilite al usuario final información actualizada sobre la industria azucarera cubana.

Finalmente entre tantos posible, se seleccionó como plataforma de desarrollo Django. En primera instancia por ser un *framework* de desarrollo web de código abierto, que demanda bajos recursos tecnológicos y facilita la creación de sitios web complejos.

Python es usado en todas las partes del *framework*, incluso en configuraciones, archivos y en los modelos de datos, de manera que Django hereda todas las ventajas de este lenguaje de programación, entre otras: facilidad de lectura y diseño, lenguaje de programación interactivo, orientado a objetos e interpretado. Esto último permite ahorro de tiempo en la programación –al prescindir de la fase de compilación de la aplicación– y que el producto obtenido sea multiplataforma.

Además, Django ofrece varias opciones para el manejo de datos y el paso de una a otra puede hacerse sin grandes contratiempos, estas son: MySQL, PostgreSQL, Sqlite, Microsoft SQL Server y Oracle. De estos, el primero fue la opción seleccionada por ser software libre y bastante conocido y utilizado por los especialistas que desarrollan el sistema y los administradores de la red de AZCUBA.

El sitio de administración que brinda el *framework* facilita la entrada y modificación de datos que contiene el SIG. También garantiza la seguridad de los datos almacenados en sus bases, mediante la autentificación de usuarios y la creación de grupos de usuarios para realizar labores específicas de edición.

Como servidor web se utilizó Apache con el módulo mod_python (permite la ejecución de código de Python del lado del servidor).

Todas esas características proporcionan rapidez y robustez al sistema propuesto. También se cuenta con la experiencia en esta plataforma de los desarrolladores encargados del SIG.

Contenidos del sistema

Al describir un central azucarero se parte de cuatro grupos de contenidos: datos generales (referidos a ubicación física, contactos y cargos principales, y otras informaciones que caracterizan de forma general al ingenio), equipamiento fabril e indicadores industriales actuales e históricos, según se muestra en la tabla I.

Tabla I. Contenidos que describen a los centrales azucareros en el SIG

Grupos de contenidos	Aspectos a incluir
Datos generales (Utiliza como fuente de información los archivos y plantilla de trabajadores del central azucarero que se describe)	• Nombre del ingenio, Código, Nombre anterior, Dirección, Pueblo o ciudad, Municipio, Provincia, Teléfonos, Correo electrónico, Fax, Código Postal, Año de Fundación, Capacidad de Molida. • **Otras Producciones:** Azúcar refino; Levadura torula; Biogás; Miel urea bagacillo; Desmedulado de Bagazo, Electricidad y Otras. • **Cargos:** Director, Director de Producción, Secretaria, Jefe de Recursos Humanos, Jefe de Cuadros, Jefe de Contabilidad y Finanzas, Jefe de Turno Integral (3), Jefe de Mantenimiento o Maquinaria, Jefe de Fabricación, Jefe de Grupo Técnico, Jefe de Taller Integral, Jefe de Instrumentación, Jefe de Basculador y Molinos, Jefe de Generación de Vapor, Jefe de Planta Eléctrica, Jefe de Casa de Caldera, Jefe de Envase y Manipulación, Jefe de Laboratorio, Jefe de Sala Análisis.
Equipamiento fabril (Utiliza como fuente de	• Áreas del central vinculadas al proceso de fabricación de azúcar crudo que están descritas en el MainPack (nombres).

información la base de datos del sistema MainPack)	• Equipos de cada área (nombres y fichas técnicas que lo describen) • Elementos o componentes de cada equipo (nombres y fichas técnicas que lo describen)
Indicadores Industriales actuales (no secretos) (Utiliza como fuente de información la base de datos del sistema IPLUS)	• % caña para azúcar real • Agua de imbibición total t • Aprovechamiento RPC total % • Bagazo % caña total • Bagazo total t pol • Cachaza % caña • Cachaza total t • Cachaza total t pol • Caída pureza desmenuzadora-jugo último extraído total • Caña atrasada total % • Caña molida t • Caña quemada total % • Caña total % pol • Color azúcar total % • Cumplimiento norma pérdidas miel final % • Cumplimiento norma pérdidas cachaza % • Cumplimiento norma pérdidas en bagazo % • Cumplimiento norma pérdidas indeterminadas % • Cumplimiento norma potencial total % • Días de zafra totales • Días efectivos • Fibra en caña % • Humedad azúcar total % • Humedad bagazo total % • Imbibición % caña total • Litros alcohol por t caña • Litros de alcohol • Materia extraña total t • Meladura brix % • Metros cúbicos residuales/t caña • Miel final física propia t • Miel final proceso a reportar hoy t pol • Norma potencial total • Otras perdidas indeterminadas en liquidación • Paja en combustible t • Pérdida bagazo % pol caña • Pérdida cachaza % pol caña • Pérdida indeterminados % pol caña • Pérdida miel final % pol caña • Petróleo consumo total • Pol caña t • Pol en miel final físicamente producida t • Pol indeterminados total t • Pol miel final propia físicamente producida t • Pol residuales t • Ppm insolubles azúcar total (mg de insolubles/t de azúcar) • Ppm hierro azúcar total (mg de Fe/t de azúcar total) • Pureza meladura

	• Pureza miel A • Pureza miel B • Pureza miel final física hecha hoy • RPC promedio tres días • t azúcar física proceso • t caña atrasada • t caña tiro directo total • t carros atrasados • t RPC • Tamaño de grano de azúcar total % • Tiempo perdido total (hr) • Tiempo perdido por lluvia (hr) • Tiempo perdido agrícola (hr) • Tiempo perdido por transporte automotor (hr) • Tiempo perdido industrial (hr) • Tiempo perdido por limpieza (hr) • Tiempo perdido por roturas (hr) • Tiempo perdido por interrupciones operativas (hr) • Tiempo perdido por centro de acopio (hr) • Tiempo perdido por MITRANS (hr) • Tiempo perdido por SEN (hr)
Indicadores históricos (Utiliza como fuente de información la serie histórica que confecciona la Sala de Análisis de AZCUBA)	• Zafra - Año (numérico, 4 dígitos) • Nomprov - Nombre de provincia (texto) • Provincia (numérico, 2 dígitos) • Clave - Código de 3 dígitos para identificar a las empresas azucareras • Nombre – Nombre de empresa azucarera • Finicio - Fecha inicio de zafra • Ftermin - Fecha fin de zafra • Npot – Norma Potencial (tcd) • Canamol – Caña molida (miles @) • Moldia – Caña molida diaria (miles @) • Molefec – Molida efectiva (miles @) • Plandias – Días de zafra planificados • Diaszaf – Días de zafra • Diasefe - Días de zafra efectivos • Planazuc – Plan azúcar (miles @) • Azucb96 – Azúcar Base 96 (miles @) • Azucfis – Azúcar en saco + granel (miles @) • Plantperd - Plan tiempo perdido (%) • Tperdtot - Tiempo perdido total (%) • Tperdlluv - Tiempo perdido por lluvia (%) • Tperdagri - Tiempo perdido por agricultura (%) • Tperdmisc - Tiempo perdido por misceláneas (%) • Tperdtran - Tiempo perdido por transporte (%) • Tperdrot - Tiempo perdido por roturas (%) • Tperdint - Tiempo perdido por interrupciones (%) • Tperdlim - Tiempo perdido por limpieza (%) • Permiel –Pérdidas en miel (%) • Percach - Pérdidas en cachaza (%) • Perdint - Pérdidas indeterminadas (%) • Perbag - Pérdidas en bagazo (%)

	• Rendim – Rendimiento (%) • Polcana –Pol en caña (%) • Fibcana –Fibra en caña (%) • Purjum - Pureza de jugo mezclado (%) • Glmiel_Ind –Galones de miel (gl) • Purmielf - Pureza de miel final (%) • Recobrado (%) • Pcpot – Por ciento de cumplimiento de la norma potencial (%) • Petro_Ind - Petróleo industrial (l litros) • Lena_Ind – Leña industrial (t) • Pol_Bagazo - Pol en bagazo (%)

En cuanto a la información ofrecida sobre las EA (ver tabla II), se tienen en cuenta datos generales e indicadores industriales actuales. Esta última información se genera mediante la consolidación de la información contenida en los centrales azucareros que se le subordinan.

Tabla II. Contenidos que describen a las empresas azucareras en el SIG

Grupos de contenidos	Aspectos a incluir
Datos generales (Utiliza como fuente de información los archivos y plantilla de trabajadores del EA que se describe)	• Nombre de la Empresa Azucarera, Dirección, Pueblo o Ciudad, Municipio, Provincia, Teléfonos, Correo electrónico, Fax, Código Postal. • **Cargos:** Director del EA, Secretaria, Jefe de Recursos Humanos, Jefe de Cuadros, Jefe de Plantas Industriales y Jefe de Sala de Análisis
Indicadores industriales (Utiliza como fuente de información la base de datos del sistema IPLUS)	• Porcentaje de Aprovechamiento de RPC (numérico, %) • Fecha de inicio de la molida (fecha) • Fecha de terminación de la molida (fecha) • Capacidad de molida total de todo sus centrales azucareros • Total de tiempo perdido (numérico, %) • Tiempo perdido por problemas industriales (numérico, %) Se consolidan los datos sobre indicadores de todos los centrales subordinados.

Arquitectura de información del sitio web

La arquitectura de información es definida como el arte y la ciencia de organizar espacios de información con el fin de ayudar a los usuarios a satisfacer sus necesidades de información. La actividad de organizar incluye la estructuración, clasificación y rotulado de los contenidos del sitio web, así como la selección y presentación de los mismos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó la arquitectura de información de la aplicación web que sirve de soporte para este sistema de información gerencial.

Se usó WebInd, como nombre y logotipo que identifica al sitio web. Junto a este se añadió el identificador “Sitio de la Industria Azucarera”.

Figura 1. Página de inicio del SIG

Mapas de localización y leyenda

A partir de la imagen de un mapa de Cuba (ver figura 1), se pueden localizar los ingenios y las empresas azucareras del país, navegando hacia las distintas provincias y los municipios que las conforman. Tanto en el mapa de Cuba como en los de cada provincia se pueden visualizar los nombres de las mismas y de sus municipios, así como las divisiones geográficas entre ellos.

Los ingenios y las EA están representados por iconos, ubicados en el mapa lo más exactamente posible en la geografía de cada provincia. Los iconos de los centrales azucareros utilizan el color rojo para indicar que están produciendo y negro cuando no lo están. Este dato es configurable en el sitio de administración donde se modifican los datos de los ingenios.

La información relativa a los límites geográficos y nombres de localidades son opcionales. Esto quiere decir que el usuario podrá ocultarlas y mostrarlas con facilidad, mediante la barra inferior derecha que contiene los botones: límites, nombres y leyenda, la cual también es opcional. La leyenda igualmente explica los iconos que representan las entidades de la industria en el mapa.

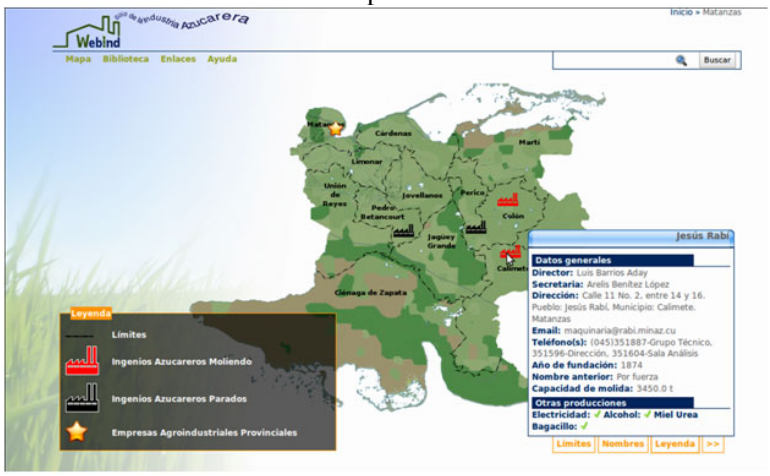


Figura 2. Página de la provincia de Matanzas que muestra la Empresa Azucarera y sus centrales. También se representan los límites geográficos, nombres de localidades, la leyenda y la página de previsualización del Central Azucarero Jesús Rabí

Previsualizaciones y páginas de segundo nivel para ingenios y EA

Como se muestra en la figura 1, al ubicarse el cursor sobre una provincia aparece un cuadro resumen o ventana de previsualización que muestra información estadística y geográfica de la misma.

Una ventana similar se muestra al ubicar el cursor encima del icono de un central o una Empresa Azucarera en cada provincia (ver figura 2). En estos casos, dichas ventanas contendrán información relevante que caracteriza al elemento (ingenio o EA) que acompaña, el cual se describe con mayor detalle al dar clic sobre el mismo y pasar a un nivel jerárquico inferior que es la página que corresponde al ingenio o EA seleccionado.

En el cuadro resumen del ingenio se muestran los datos generales vistos en la tabla 1, excepto todos los cargos, pues de ellos solo se mostrarán los del director general y la secretaria.

Al pasar a la página que describe el central azucarero con mayor detalle se expondrán, además de los datos ya mostrados en la previsualización, el resto de los cargos, los indicadores industriales y el equipamiento fabril. Este último, representado en forma de árbol, con el siguiente orden jerárquico:

1. Área (nombre de la misma)

1.2 Equipo (nombre y ficha técnica)

1.2.1 Elemento (nombre y ficha técnica)

Al dar clic sobre cada uno de esos aspectos, se muestra en el centro de la página la descripción del mismo, como se indica en la figura 3.

En la ventana de previsualización de la Empresa Azucarera se exponen los datos generales descritos en la tabla 2 y al dar clic sobre el icono de la misma se pasa a la página que, además de los datos antes mostrados, contendrá los valores consolidados de los indicadores industriales de todos los centrales que se le subordinan.

Figura 3. Página que describe en detalle al central azucarero

Camino de migas o *breadcrumbs* y buscador

La navegabilidad de la información se mantiene en cualquier nivel, brindando siempre al usuario opciones rápidas de ir al tope de la información o a cualquiera de los niveles anteriores.

Se propone el uso del camino de migas o *breadcrumbs* para apoyar y mejorar la calidad de la navegación de los usuarios. Por ejemplo: si el usuario navega hasta la página que caracteriza en detalle al ingenio Jesús Rabí, su camino de migas será: Inicio>>Matanzas>>Jesús Rabí.

Esto le brindará al usuario la opción de regresar a cualquiera de esas páginas mediante los enlaces mostrados y le dará una idea real de la ubicación jerárquica, dentro del sitio, de la página accedida por él.

También se puede llegar a los centrales y Empresas Azucareras mediante el buscador. El mismo permite realizar búsquedas libres desde todas las páginas del sitio, incluyendo búsquedas por varios elementos del modelo de datos de la aplicación relacionadas con las entidades descritas.

Menús

La barra de menús del sitio estará ubicada en la esquina superior izquierda de todas las páginas (debajo del logotipo), de forma tal que siempre estarán visualizados los submenús: Mapa, Biblioteca, Enlaces y Ayuda.
Tiene la peculiaridad de que en algunas páginas aparece un nuevo submenú, necesario en esa página en particular y no en otra. Por ejemplo: al ubicarse el usuario en la página de un ingenio en específico, aparece el submenú Opciones que permite activar los enlaces: Descargar Convert e Importar Equipamiento (Ver figura 3)
Submenú Mapa: Tiene como enlaces al nombre Cuba y de todas sus provincias, de manera que facilita la navegación entre las zonas geográficas representadas en el mapa del país, incorporado al sitio.
Submenú Biblioteca: Muestra como opciones un vínculo a un Glosario de términos azucareros, y otro, al Centro Virtual de Información Tecnológica de AZCUBA (CEVITA).
CEVITA es un proyecto en desarrollo, perteneciente al ICIDCA, que pretende integrar la información documental del sector azucarero en un centro virtual común que pueda ser accedido desde todas las instituciones de AZCUBA.
Submenú Enlaces: Como opciones tiene vínculos a los diferentes sitios relacionados con la industria azucarera cubana, por ejemplo: el sitio de AZCUBA (http://www.azcuba.cu) y el sitio Zafra (http://www.zafra.cu), y otros más enfocados hacia la asistencia técnica y el abastecimiento, por ejemplo: http://www.reportes.minaz.cu (para reportar equipos informáticos) y http://www.repuestos.atiz.minaz.cu:81/ (muestra las solicitudes de repuestos críticos de cada ingenio).
Submenú Ayuda: Como opciones incluye *Equipamiento* (explica cómo se introducen los datos sobre el equipamiento fabril dentro del sitio), *Contacto* (muestra contactos de interés para el usuario), *Acerca de* (explica en qué consiste la aplicación y algunas de las tecnologías web que han sido usadas en su desarrollo).

Implantación del sistema de información gerencial

El SIG actualmente está hospedado en los servidores web de la red organizacional de AZCUBA, de forma tal que puede ser accedido y consultado desde todas las entidades del Grupo Azucarero, y además actualizado desde todos los ingenios y empresas azucareras del país que tengan acceso a la web organizacional.

CONCLUSIONES

Con la implantación de este sistema de información gerencial se integran todos los datos sobre industria que están dispersos en varias fuentes de datos ya existentes en el sector azucarero (MainPack, IPLUS y otras mencionadas).
El SIG expuesto, al ser una aplicación web aprovecha la infraestructura de la red organizacional de AZCUBA para tributar información al sector azucarero desde cualquier nivel de gestión.
Disponer de un sistema de información gerencial es de mucha utilidad para la industria azucarera porque les permite a los directivos y técnicos del sector contar con una herramienta integradora que recopile, seleccione y resuma toda la información existente sobre los ingenios azucareros y su producción en tiempo de zafra, así como toda la relacionada con el proceso fabril. De forma oportuna y actualizada facilita la diseminación de dicha información a todos los niveles de dirección para la toma de decisiones estratégicas, de recursos humanos, del proceso inversionista, para la reparación y el mantenimiento del equipamiento de dichos ingenios (muy costoso, por lo tanto necesita ser bien planificado) y para saber el estado de los principales indicadores industriales durante la zafra e históricos, y para poder hacer análisis comparativos a partir de los datos proporcionados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Correa Morocho, R.; Saavedra Arango, M. D.; Arévalo Casariego, J. C. (2009). Sistemas de Información Gerencial. *Contribuciones a la Economía*. Recuperado enero 10, 2011, a partir de http://ideas.repec.org/a/erv/contri/y2009i2009-1036.html

Fernández Cabrera, I. (2008). *Python* (Tesis). Ciudad de La Habana: Instituto Superior para la Enseñanza Técnica y Profesional "Pineda Valdés".

Jacovkis, D. (2009). El software libre: producción colectiva de conocimiento. *IDP. Revista de Internet, Derecho y Política*, (8), 4–13.

Laudon, K.; Laudon, J. Citado por: Management Information System: Definition.(s.f.). *Answers.com.* Recuperado noviembre 12, 2010, a partir de htp://www.answers.com/topic/management-information-system

Muñoz Cañavate, A. (2003). Sistemas de información en las empresas. *Hipertext.Net*, (1). Recuperado a partir de http://www.hipertext.net/web/pag251.htm#3

Ronda Martínez, R.; Sánchez León, O. (2003). Sistemas de Información para el apoyo a la toma de decisiones gerenciales. *Monografias.com*. Recuperado abril 8, 2010, a partir de http://www.monografias.com/trabajos17/sistema-gerencial/sistema-gerencial.shtml

Ros García, J. (1999). Auge de los sistemas de información y documentación en las organizaciones. Recuperado diciembre 10, 2010, a partir de http://www.ucm.es/info/multidoc/multidoc/revista/num2/jros.html

Shelly; Cashman; Vermat. (2000). Types of information systems. *Discovering Computers 2000. Concepts for a Connected World*. Recuperado noviembre 12, 2010, a partir de http://bisom.uncc.edu/courses/info2130/Topics/istypes.htm

Tramullas Saz, J. (1996). Organización y gestión del diseño de sistemas de información. *Scire: Representación y organización del conocimiento*, *2*(2). Recuperado diciembre 14, 2010, a partir de http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2341253

SOFTWARE PARA LA GESTION Y EL CONTROL DE LA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA (MAINPACK 32 v. 10.0)

SOFTWARE FOR MAINTENANCE MANAGEMENT AND CONTROL IN THE SUGAR INDUSTRY (MAINPACK 32 v. 10.0)

Santiago Estupiñán Díaz, Irina Vargas Vargas

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), AZCUBA.
Vía Blanca # 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana.

Email: santy.ediaz@icidcaby.azcuba.cu, irina.vargas@icidca.edu.cu

Resumen

El mantenimiento es una actividad de vital importancia en la industria. Al aplicarse se logra un mayor alargamiento de la vida útil del equipo, una reducción significativa de los costos en reparación y gastos en repuestos, así como de aquellos gastos asociados a la mano de obra ligada a la actividad. En el presente trabajo se expone MainPack 32, un sistema para la gestión del mantenimiento y las reparaciones del equipamiento en la industria azucarera. Al automatizar el proceso de mantenimiento, incorporando una herramienta informática como MainPack 32 se agilizan y controlan eficientemente todos los aspectos organizativos y financieros de la actividad de mantenimiento.

Para el desarrollo del MainPack 32 se analizaron una serie de actividades y tareas realizadas en el proceso de mantenimiento, las cuales fueron incluidas en el modelo programático del sistema, logrando así abarcar todas las actividades (planificación, identificación del equipamiento, incidencias, pasaportes, diagnósticos, etc.). Este modelo programático fue diseñado para que fuera de fácil uso y explotación. En este trabajo se ofrecen datos reales del sistema para demostrar su utilidad y posibilidades.

Palabras claves: SOFTWARE, MANTENIMIENTO, PLANIFICACIÓN, DIAGNÓSTICO, INCIDENCIAS

Abstract

Maintenance is a vitally important activity in industry. Its adequate organization guarantees significant costs reduction in repairing tasks, expressed in less workforce and spare parts, as well as an extension of the useful life of equipment. In this paper a software system for maintenance and repairing tasks management and control in sugar industry, MAINPACK 32, is presented. The use of such a system allows speeding up and organizing the tasks of maintenance and repairs in a more efficient way.

MAINPACK 32 development considered a series of activities and tasks usually done in maintenance and repair organization and control. All these actions were included in the programming model of the system:

planning, identification, incidences, equipment passports, diagnoses, etc. This model of the system was designed for easy use through a friendly user interface. In this paper, actual information from case studies is used to show the benefits and possibilities of using the system in the industry.

Keywords: SOFTWARE, MAINTENANCE, PLANNING, DIAGNOSIS, INCIDENCES

Introducción

La automatización de la actividad de mantenimiento trae como resultado un incremento en el rendimiento y control que efectúa la misma. La industria azucarera, la cual realiza mantenimiento de tipo no continuado, cuenta actualmente con la herramienta MainPack 32. Este software se está desarrollando desde el año 2004 con la finalidad de integrar todas las tareas de mantenimiento en un sistema de gestión, dando una solución de trabajo más ventajosa al técnico de mantenimiento y un control más preciso sobre los gastos incurridos en la actividad. En la actualidad esta herramienta se encuentra en explotación en todos los centrales azucareros del país, con muy buena aceptación por parte de los técnicos de mantenimiento que la han incorporado como parte esencial de su trabajo para controlar equipamiento, trabajos a realizar, avance de los trabajos, planes de mantenimiento, averías, pasaportes de los equipos, etc. Estos datos son de vital importancia para llevar un control exhaustivo del equipamiento fabril dentro de la industria.

Software MainPack 32, versión 10.0

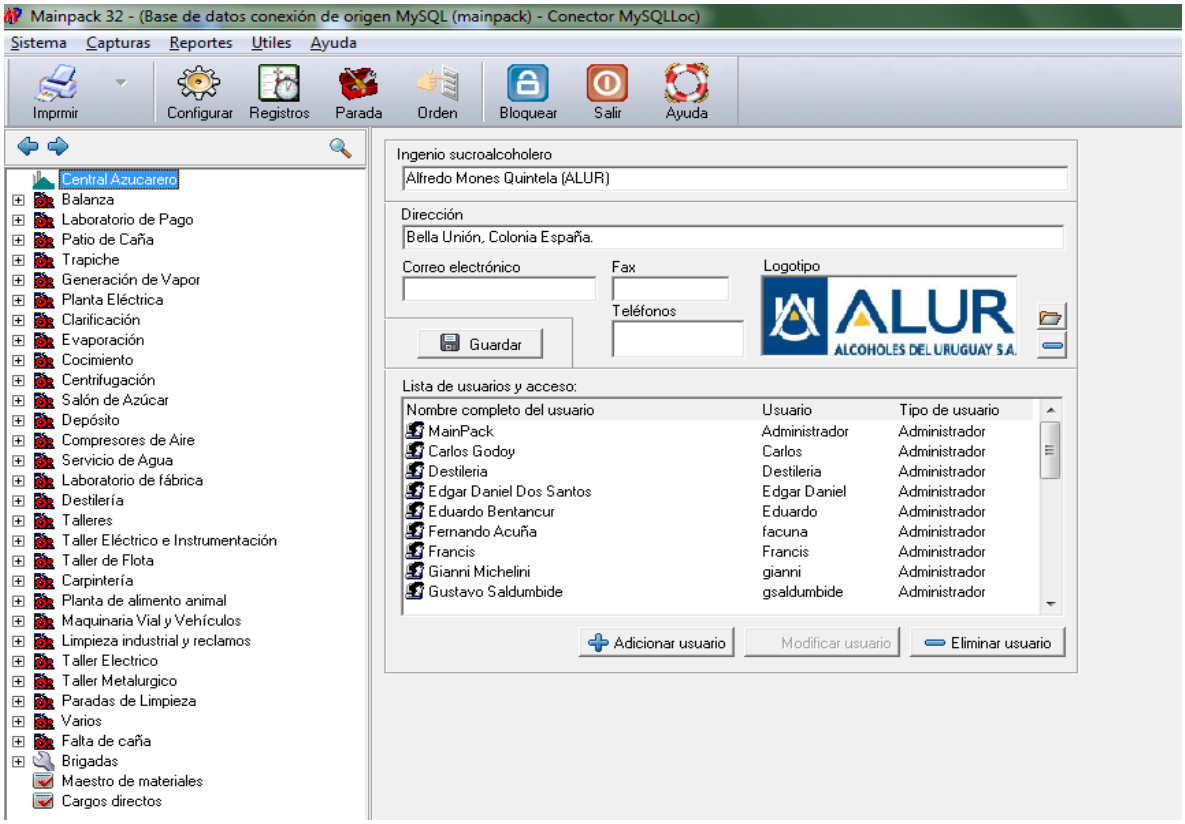
MainPack 32 cuenta con varios módulos que permiten desarrollar las diferentes tareas y actividades de los técnicos y minimizar los costos directos a la actividad de mantenimiento. Estos módulos vienen acoplados a cada equipo capturado en el sistema, donde el equipo es el centro de acción y control de todas estas tareas. Estos equipos son codificados, en el orden tecnológico del proceso de producción de azúcar, y ubicados en su área correspondiente para su rápida localización dentro del esquema tecnológico de la industria.

El diseño de la estructura de datos se realizó con el gestor de base de datos MySQL, el cual forma parte de las aplicaciones de software libre y es uno de los gestores de base de datos cliente-servidor más estable, actualmente usados. Con el empleo de MySQL se le da más extensibilidad al sistema, logrando así utilizar varias aplicaciones a la vez en una red informática.

La aplicación fue diseñada e implementada para ser usada sobre la plataforma Windows. En la Figura 1 se visualiza la vista principal en la cual se representan todas las áreas de la industria con sus equipos en orden tecnológico del proceso. En la parte derecha de la ventana se muestran los datos del ingenio y los usuarios registrados en el sistema, los cuales tienen privilegios configurados en dependencia del tipo de usuario. Esta vista va cambiando al movernos por los datos ubicados en la izquierda, ya sean las áreas, los equipos, las brigadas o los materiales.

Las salidas del sistema incluyen reportes económicos de la actividad que plasman gráficamente el tiempo perdido, el avance físico de reparaciones, los costos de mano de obra y materiales, así como las incidencias ocurridas en cada equipo en funcionamiento.

Figura 1. Interfaz principal del sistema MainPack 32.

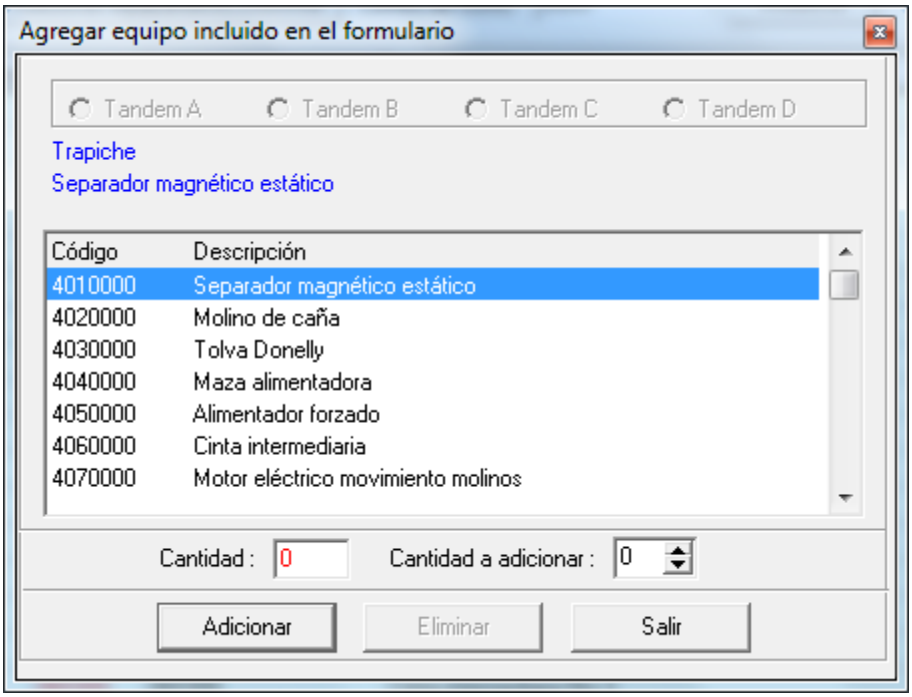


Ejemplo de aplicación

Un central azucarero está compuesto por varias áreas, las cuales conforman un proceso tecnológico para obtener como resultado final azúcar y demás productos. Estas áreas son ocho estándares que están presentes en todos los centrales (manipulación y preparación, planta moledora, generación de vapor, planta eléctrica, purificación de jugos, evaporación de jugos, cristalización, y centrifugación peso y envase). Cada área despliega un grupo de equipos que en cantidad oscila entre los 44 y 154, estos equipos son catalogados por tipo: bombas, motores, conductores, molinos, evaporadores, tanques, entre otros.

La captura del equipamiento se realiza mediante un codificador incluido en el sistema, en el cual viene incorporado todo el equipamiento significativo del área que está generando el usuario. La vista de generación de equipamiento se muestra en un listado donde se selecciona el equipo a incorporar al área (Figura 2). En esta vista se muestra también el tándem a elegir cuando el central cuenta con más de uno, estos son identificados con letras.

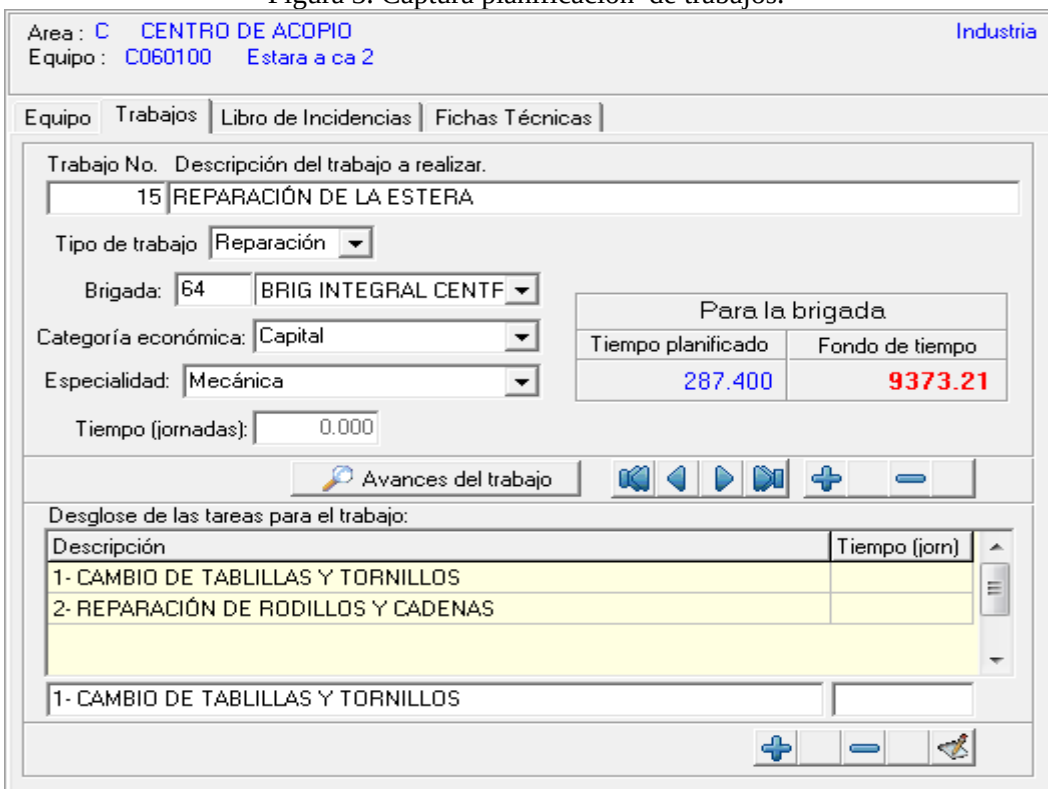
Figura 2. Captura de equipamiento.



Una vez capturado el equipamiento se procederá a la planificación y captura de otros datos vinculados con los equipos.

Como primer paso se procederá a la planificación de los trabajos (Figura 3), esta función consiste en la generación de todos los trabajos a realizar en el equipo. Estos trabajos serán codificados para su posterior uso y están conformados por un código, descripción, tipo de trabajo (reparación, trabajo de zafra, taller y servicio), brigada que realiza el trabajo, especialidad, categoría económica (ordinaria, capital, inversión), tiempo de duración del trabajo en jornadas y desglose de las tareas.

Figura 3. Captura planificación de trabajos.



Luego de capturado el trabajo se comenzarán a planificar los datos de tipo económico: la planificación de mano de obra (Figura 4) y planificación de materiales (Figura 5). Estos datos constituyen el pre plan de mantenimiento.

Figura 4. Planificación de materiales.

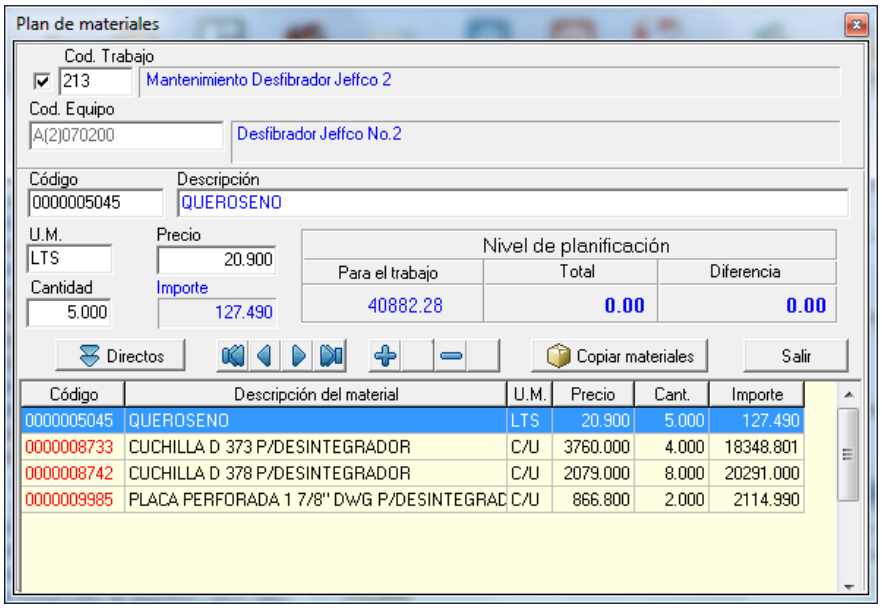
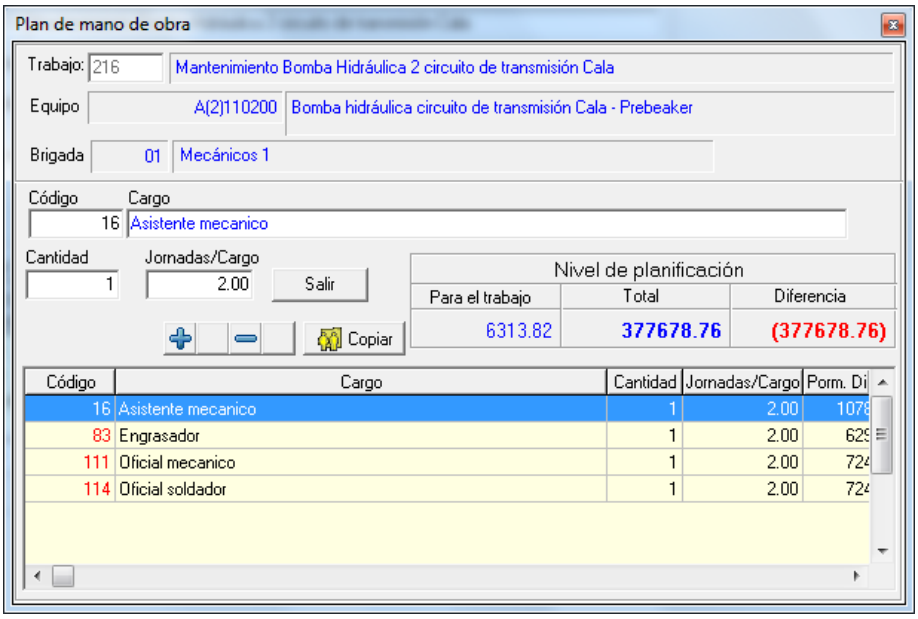
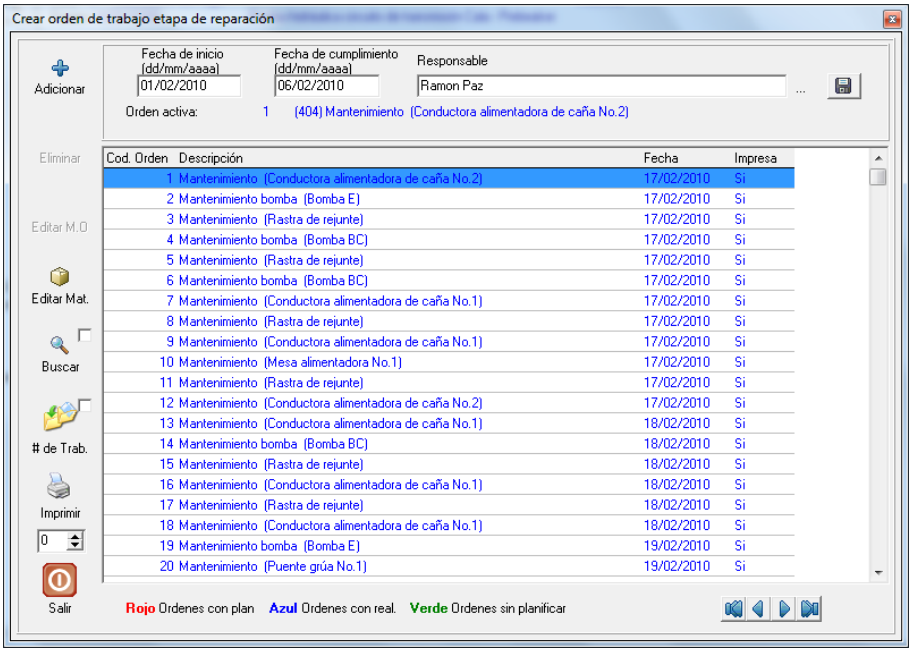


Figura 5. Planificación de mano de obra



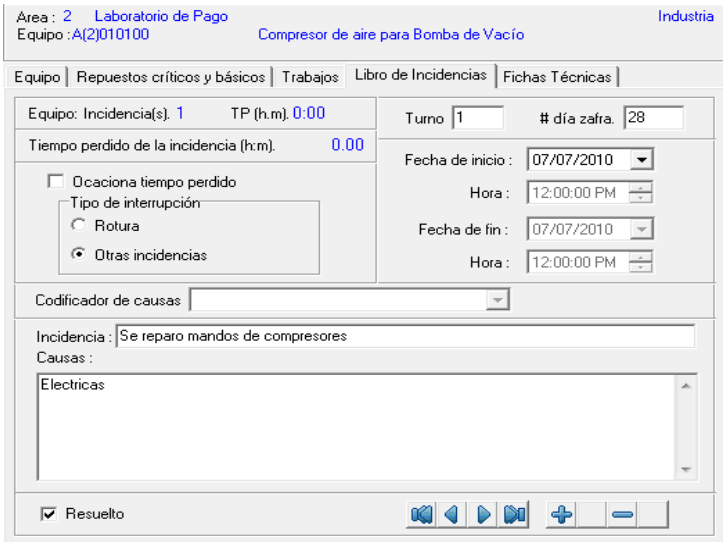
Ya configurado el plan de reparaciones de la industria se procederá a realizar la captura de las órdenes de trabajo, las cuales se crean usando los valores de mano de obra y materiales ya planificados. Esta orden de trabajo (Figura 6) se confecciona usando los datos de planificación y datos reales; estos van generando de forma automática el avance físico de reparaciones que muestra el desarrollo real de las tareas de mantenimiento.

Figura 6. Órdenes de trabajo.



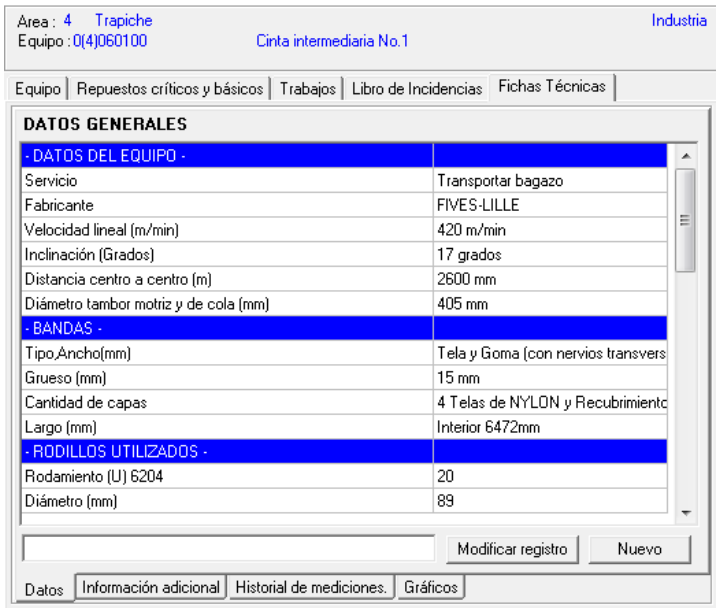
Otra de las funciones fundamentales del sistema es la captura y procesamiento de las incidencias (Figura 7) en funcionamiento del equipamiento fabril. Estas pueden ser: roturas, interrupciones operativas y otras incidencias. Al capturar estos datos se van conformando los datos históricos del equipo, de vital importancia para la toma de decisiones en la etapa de reparaciones.

Figura 7. Libro de incidencia.



El pasaporte o ficha técnica (Figura 8) almacena todos los datos técnicos y análisis predictivo del sistema. Estas fichas son un grupo de datos de importancia, estos se encuentran enlazados a cada equipo de forma independiente, dando así una información única de este. Otra de las prestaciones de esta función es la de permitir la generación de gráficos de tendencia con los datos predictivos y así mostrar el comportamiento del equipo en el tiempo, graficando variables como son: temperatura, vibraciones, etc.

Figura 8. Fichas técnicas.



El sistema MainPack 32 cuenta con múltiples reportes y gráficos de tipo técnico y económico (Figura 9). Estos ofrecen información detallada de la situación en que se encuentra la actividad de mantenimiento y son de gran importancia y utilidad para el desarrollo de este proceso.

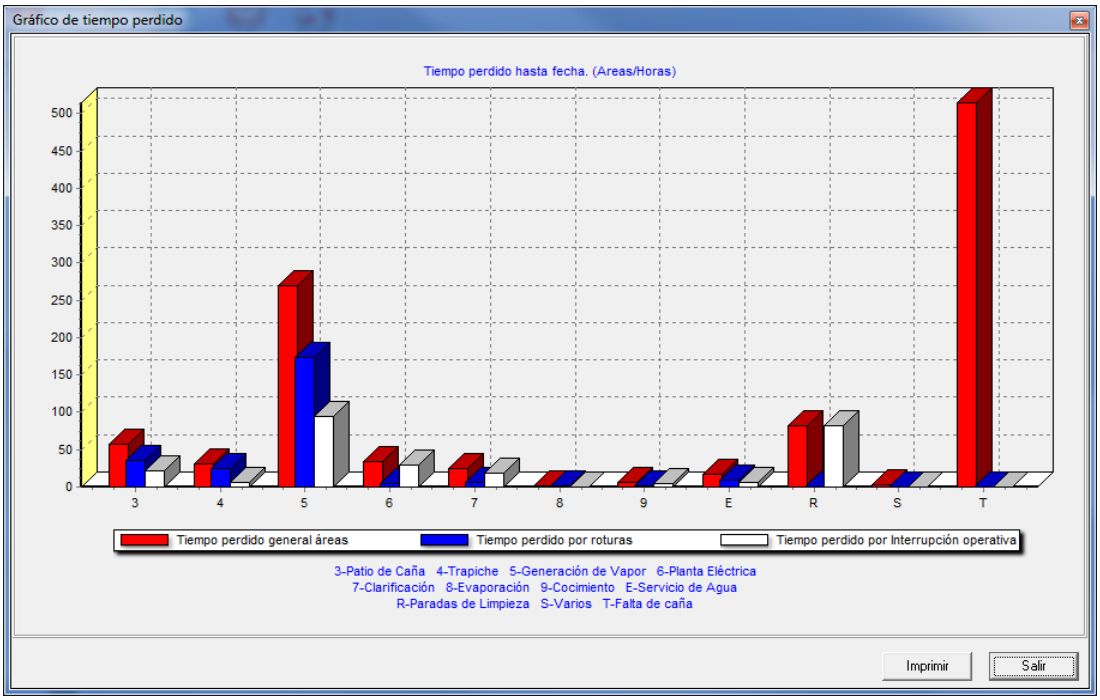
Figura 9. Reportes y gráficos del sistema.

ALUR
ALCOHOLES DEL URUGUAY S.A.
Central: Alfredo Mones Quintela (ALUR)

Fecha de confección: 30/04/2013 9:50:44 AM

Avance físico por áreas.
Del 1/2/2010 al 6/2/2010

Area	Descripción	Jorn.	Etapa			Hasta fecha		
			Plan	Real	Avance	Plan	Real	Avance
1	Balanza	640.000	510.500	139.486	21.79	510.500	139.486	21.79
2	Laboratorio de Pago	512.874	247.559	196.419	38.30	247.559	196.419	38.30
3	Patio de Caña	3167.433	23073.181	2895.183	91.40	23073.181	2895.183	91.40
4	Trapiche	3854.750	19848.000	2670.681	69.28	19848.000	2670.681	69.28
5	Generación de Vapor	5279.820	9959.746	2163.122	40.97	9959.746	2163.122	40.97
6	Planta Eléctrica	126.500	417.000	163.534	129.28	417.000	163.534	129.28
7	Clarificación	2925.996	3243.300	1551.993	53.04	3243.300	1551.993	53.04
8	Evaporación	1004.000	1275.436	710.587	70.78	1275.436	710.587	70.78
9	Cocimiento	2975.082	3472.527	1972.152	66.29	3472.527	1972.152	66.29
A	Centrifugación	1938.311	484.311	304.846	15.73	484.311	304.846	15.73
B	Salón de Azúcar	1437.016	1353.027	815.318	56.74	1353.027	815.318	56.74
C	Depósito	228.000	173.750	135.788	59.56	173.750	135.788	59.56
D	Compresores de Aire	177.500	61.000	43.806	24.68	61.000	43.806	24.68
E	Servicio de Agua	1103.998	1506.747	540.197	48.93	1506.747	540.197	48.93
N	Limpieza industrial y reclamos	912.502	3535.511	833.196	91.31	3535.511	833.196	91.31
	Total	26283.782	69161.595	15136.308	57.59	69161.595	15136.308	57.59



Conclusiones

- El software MainPack 32 permite a los técnicos un mayor control, organización y desarrollo de la actividad de mantenimiento, optimizando y agilizando toda su gestión.
- La integración del sistema a la industria aumenta la eficiencia de los trabajos desarrollados en las oficinas de mantenimiento en cuanto a generación de información y demás tareas.
- El sistema es de fácil manejo y aprendizaje para los técnicos y fue diseñado con la terminología técnica usada en el área de mantenimiento.

Proyección futura

- Se continúa desarrollando una aplicación cliente-servidor para implementarla en todo el sector azucarero, así como en las empresas de derivados.
- Se pretende incorporar en el sistema los modelos para desarrollar reparaciones continuadas en el sistema, con el fin de implementarlo en otros sectores no azucareros.

Referencias bibliográficas

Estupiñán Díaz, S. (2012). MainPack 32: software para la gestión y el control del mantenimiento en fábricas de azúcar y derivados. ICIDCA.

García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. España: Editorial Díaz de Santos.

MINAZ. (2006). *Plan de mantenimiento anual*. Cuba: MINAZ.

Técnicas y gestión del mantenimiento industrial. (1993). Cuba: ICINAZ.

Presentado durante el Congreso de la ISSCT en Sao Paulo 2013

TORQUE Y CONSUMO DE POTENCIA EN MOLINOS AZUCAREROS DE CUATRO MAZAS

Por

JULIUSZ LEWINSKI[1], PAULO GRASSMANN[2] y TOMAS KALLIN[3]

[1]*Bosch Rexroth, Suecia*: jlewin@prodigy.net.mx
[2]*Bosch Rexroth, Brasil*: Paulo.Grassmann@boschrexroth.com.br
[3]*Bosch Rexroth, Suecia*: Tomas.Kallin@boschrexroth.se

PALABRAS CLAVE: Hidráulica, Molino, Accionamiento, Independiente, Torque, Velocidad.

Resumen

Este trabajo presenta los resultados de las mediciones de torques y potencias consumidas en los molinos de cuatro mazas en dos distintos ingenios a lo largo de las últimas cuatro temporadas. Los molinos eran propulsados por accionamientos electro hidráulicos independientes y directos de velocidad variable, lo que permitía medir el torque en cada maza, el cambio en la velocidad entre las mazas superior e inferiores y la automatización de la operación del molino, manteniendo el torque óptimo durante la operación. Adicionalmente, se analizaron las relaciones entre el torque, el nivel del chute y la flotación de la maza superior. La automatización de la operación del molino permitió su operación estable con el torque óptimo, generando excelentes resultados operativos. La conclusión principal es que no obstante la velocidad de la maza superior o la relación entre las velocidades de la maza superior y mazas inferiores en el rango de velocidades que se usan con frecuencia en los molinos de cuatro mazas, el torque en la maza superior y el consumo de potencia en la maza superior siempre se acercan al 50% del torque total y de la potencia total. Los valores absolutos del torque confirmaron los resultados de las ecuaciones teóricas y empíricas.

Introducción

El accionamiento individual electro hidráulico del molino, que consiste en accionar cada maza del molino de manera independiente por medio de motores hidráulicos ubicados directamente sobre los ejes de las mazas del molino, permite la automatización de la operación del molino y la medición de los torques de cada maza. Otra ventaja importante de los accionamientos individuales es la posibilidad de operar los molinos con distinta velocidad en cada maza, a fin de mejorar el proceso de extracción dentro del molino y el trabajo de los mismos accionamientos Lewinski et al. (2010). La mayor velocidad de la maza cañera logra una mejor alimentación del molino, incrementando por tanto la capacidad de molienda, y esta ventaja es la principal razón de instalar los accionamientos asistidos a las mazas cañeras en muchos ingenios Lewinski (2005). La velocidad de la

maza inferior bagacera permite una reducción en la reabsorción del jugo por el bagazo. Cuando el molino es accionado por la maza superior y las coronas como en el caso de los accionamientos convencionales o los así llamados accionamientos de maza superior, el torque sobre la maza cañera siempre es menor que en la maza bagacera. El accionamiento asistido, cuyo objetivo es aumentar la capacidad de molienda y la potencia instalada y/o reducir la carga sobre la transmisión existente, siempre se debe colocar primero sobre la maza cañera, aplicando así una velocidad más alta sobre la maza cañera con respecto a la maza superior. La medición constante de la presión en los sistemas hidráulicos de los accionamientos y de la velocidad en los motores hidráulicos y la muy baja inercia del motor hidráulico, reducida en el eje del molino (décimas y hasta centésimas de veces menor que en los accionamientos de los molinos de engranajes de velocidad variable) permite la automatización de la operación del molino para mantener el torque óptimo en el interior del molino, dando como resultado el mejor rendimiento de los molinos Wesche et al. (2011). Otra ventaja importante de los accionamientos electro hidráulicos, debido a su principio de trabajo, es la posibilidad de mantener el torque máximo de la velocidad cero a la velocidad máxima, sin restricciones de tiempo. Esto permite la operación del molino en forma continua, en caso necesario, con velocidades mucho menores que las óptimas y el desatasco del molino debido al alto torque de arranque de los accionamientos electro hidráulicos. Las mediciones del torque y de la velocidad en cada maza, también permiten la determinación del torque y la distribución de la potencia en las mazas del molino, lo que proporciona información importante para los diseñadores y usuarios de los molinos. Kent y McKanzie (2001) analizaron los resultados de las mediciones de la distribución del torque en molinos de cuatro mazas, llevadas a cabo por distintos investigadores en Cuba, Colombia, México y Australia y concluyeron que en el molino de cuatro mazas, el torque consumido por la maza superior es de aproximadamente la mitad del torque total consumido por el molino y el torque restante se distribuye de manera equivalente entre las mazas cañera y bagacera. También informaron que cuando se incrementa la velocidad de una maza, el torque de dicha maza se incrementa y el torque de la otra maza de los pares de mazas, se reduce. Lewinski et al. (2010) midieron los valores de torque y de la potencia de molinos de cuatro mazas en tres escenarios. Las mazas rotaban a la misma velocidad en la mayoría de los accionamientos convencionales, con la misma velocidad periférica en las mazas y con velocidades que daban la misma presión en el sistema hidráulico de los motores hidráulicos y una distribución de torque de: 50, 25 y 25%. Una de las observaciones fue que el torque y la potencia de la maza superior fue de aproximadamente 50% del torque total para estos tres escenarios, pero como era de esperarse, el torque de la maza cañera era siempre menor que en la maza bagacera en los dos primeros escenarios. El objetivo principal de la investigación presentada en este trabajo es determinar el torque y el consumo de potencia en molinos de cuatro mazas para distintos ajustes de velocidad de cada maza, distinta velocidad entre las mazas inferiores y superior y para determinar la distribución del torque y la potencia de los molinos operados en todo el tándem, cuyo trabajo está automatizado.

Automatización de la operación del molino

La automatización de la operación de los molinos de cuatro mazas se realiza generalmente de las siguientes maneras: Para una capacidad de molienda dada, el primer molino se opera a velocidad constante, manteniendo el torque óptimo dentro del molino mediante la variación de la capacidad de alimentación. Para mantener el torque óptimo en los molinos siguientes, su velocidad se ajusta automáticamente. El torque óptimo se puede lograr manteniendo el nivel del chute en un determinado rango, o manteniendo la

presión en los sistemas hidráulicos relacionados con los motores que mueven la maza superior. El regulador de nivel del chute intenta mantener el nivel del chute a un nivel especificado, mediante el ajuste de la velocidad del molino. Si el nivel del chute es bajo, la velocidad se reduce y viceversa. La regulación se inicia cuando el nivel del chute se encuentra fuera de la zona muerta. La velocidad tiene un valor máximo y mínimo, para evitar velocidades extremadamente rápidas o extremadamente lentas. La Figura 1 explica la función del control del chute Bosch Rexroth (2012).

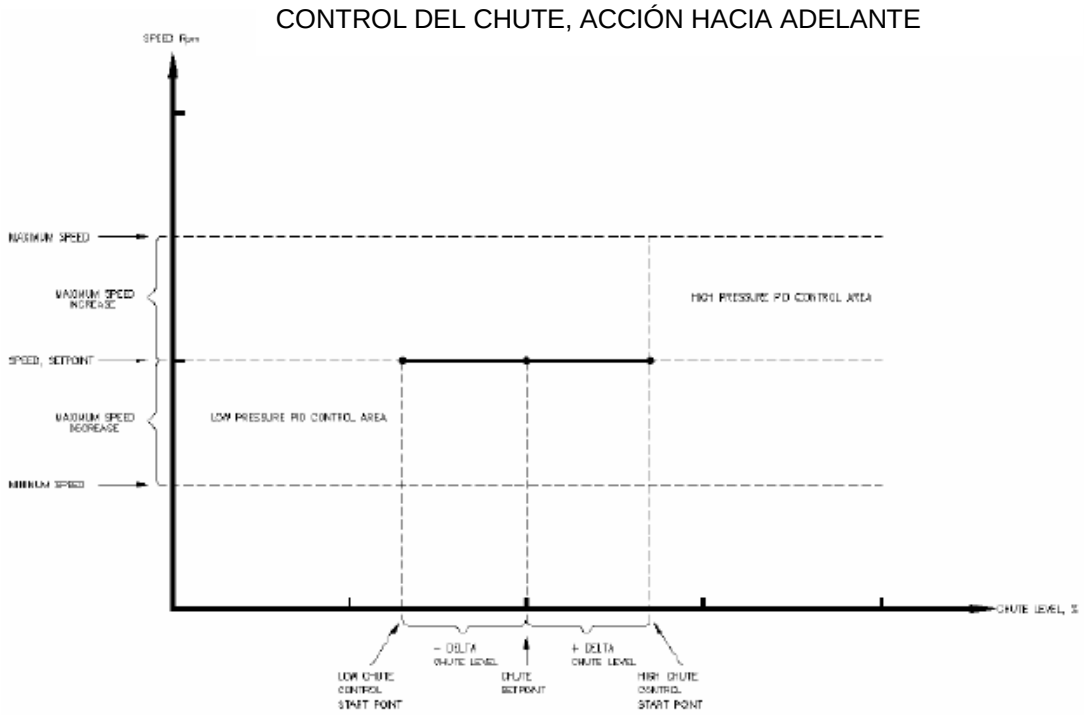


Fig. 1 - Control de nivel del Chute

El regulador de presión intenta mantener la presión de trabajo en los sistemas relacionados con los motores que mueven la maza superior cerca del punto de ajuste de la presión, mediante el ajuste de la velocidad del molino. Si la presión de trabajo es mayor a, por ejemplo, 25 bar por encima del punto de ajuste, la velocidad se incrementará y viceversa. También hay un punto de ajuste máximo y mínimo de la velocidad (+-10% del punto de ajuste de la velocidad. Estos parámetros se pueden modificar en el sistema de control del accionamiento. El punto de ajuste debe estar dentro de un rango de 100 a 250 bar. La Figura 2 explica la función del control de la presión; Bosch Rexroth (2012).

CONTROL DE PRESIÓN, ACCIÓN HACIA ADELANTE

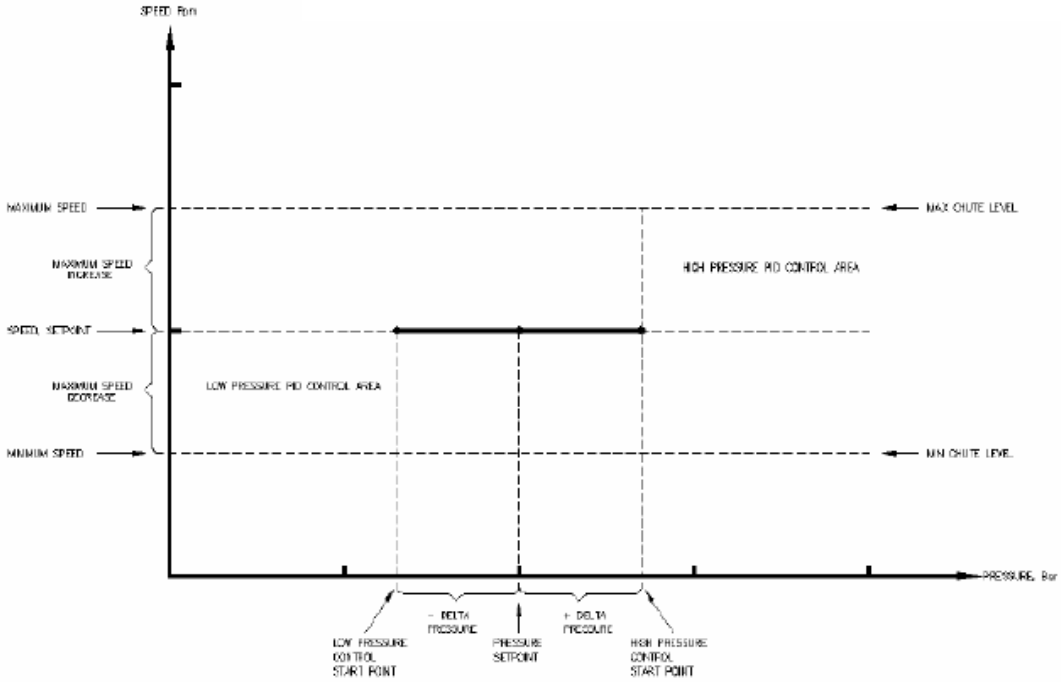


Fig. 2 - Control de la presión

El control de la presión (torque) permite mantener el torque óptimo independientemente del índice de preparación de la caña, contenido de fibra, contenido de biomasa, etc., lo cual no se puede lograr en caso del control del chute. Por lo demás, las mediciones del nivel del chute no son continuas y pueden verse afectadas por la humedad.

Pruebas en el Ingenio Santa Isabel

Se han registrado todas las presiones de los sistemas hidráulicos y las revoluciones de las mazas desde 2009 y hasta 2012. El tándem de molienda tenía cuatro molinos de cuatro mazas; el primero es de 84 x 46", y los otros de 78 x 42". Desde 2011, se ha agregado el molino 0 al tándem, con un tamaño de 84x46 ". La Figura 3 muestra la disposición de los accionamientos.

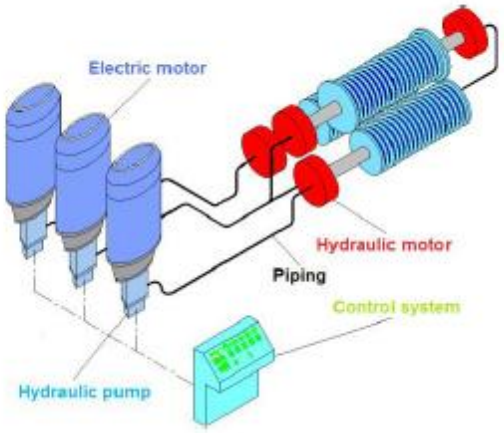


Fig. 3 - Accionamiento electro hidráulico individual directo

El torque de cada maza se calcula tomando en cuenta el desplazamiento del motor (volumen de aceite necesario para mover una revolución del motor) convertido al torque específico (Nm/unidades de bar) multiplicado por la diferencia entre la presión de trabajo y de carga y por el la eficiencia del motor (igual a 0.97 dentro de los estándares del fabricante). La presión de carga es la presión de la línea de retorno del sistema hidráulico, que funciona en el circuito cerrado y es igual a 15 bar en el caso de las aplicaciones del molino. La velocidad de las mazas se midió por los decodificadores digitales de velocidad ubicados en la parte posterior de los motores hidráulicos. Además, se registró también el nivel del chute de cada molino. El molino se operó usando el control del nivel del chute. El operador realizaba cambios manuales en la velocidad del molino 1, observando la pantalla del control principal para evitar el sobrellenado del tanque con el jugo primario. El ajuste de velocidad de los otros molinos también se reajustó manualmente por el operador, de conformidad con el cambio de velocidad del Molino 1 y tomando en cuenta su propia experiencia. La primera impresión es que esta operación debería manejarse automatizada con el nivel del tanque - control de velocidad del molino para algunos niveles definidos y que el ajuste de velocidad de los molinos restantes debería restablecerse automáticamente de acuerdo con la velocidad real del Molino 1 y los ajustes existentes de los molinos.

Pruebas en el Ingenio Ferrari

El tándem de Ferrari cuenta con cuatro molinos de cuatro mazas del mismo tamaño y tipo que los de Santa Isabel y los accionamientos electro-hidráulicos también son exactamente iguales, considerando el tipo y tamaño. La automatización de los molinos se realiza mediante el control de presión descrito antes y la velocidad definida del molino uno cambia automáticamente, dependiendo del nivel de jugo en el tanque. El operador ajusta manualmente la velocidad establecida de los otros molinos, para evitar el sobrellenado de los chutes, vigilándolos en la pantalla. También se han registrado las presiones de todos los sistemas hidráulicos, las velocidades de los rodillos, los niveles del chute y también la flotación de la maza superior durante los años 2009 y hasta 2012.

Resultados

Se han calculado los torques y la potencia y su distribución sobre la base de la presión y las mediciones de velocidad. Adicionalmente, se han comparado los valores medidos y

calculados con los resultados teóricos calculados por el modelo matemático y ecuaciones empíricas simples desarrolladas para determinar el torque en el interior del molino.

La Tabla 1 presenta los resultados promedio obtenidos en el Ingenio de Santa Isabel por varios años de operación y la tabla 2 muestra los resultados obtenidos en el Ingenio Ferrari. Los símbolos TR, CR y BR corresponden a la maza superior, cañera y bagacera y los unidades rpm, Nm y kW se refieren a las velocidades, torques y potencias de los rodillos correspondientes. La figura 4 presenta las gráficas del Ingenio de Santa Isabel. Las figuras 4a a 4d muestran los principales resultados medidos para los cuatro molinos (nivel del chute en %, la presión en el sistema de accionamiento de la maza superior en bar y la velocidad de la maza superior en rpm). El eje vertical izquierdo muestra los valores numéricos para la presión y el nivel del chute y el eje vertical derecho muestra los resultados de la velocidad. Las Figuras 4e a 4h muestran la velocidad de la maza superior (eje vertical izquierdo) y el índice de torque total de la maza superior (eje vertical derecho) para los molinos, en el mismo orden que para las Figuras 4a a 4d. La figura 5 muestra los resultados para el Ingenio Ferrari. La Figuras 5a a 5d muestran nivel del chute, la presión y la velocidad de los cuatro molinos. La Figura 5e muestra los principales resultados obtenidos para el molino 4 en un periodo más corto, a fin de poder ver la línea de tendencia mejor. La Figura 5F muestra la flotación de la maza superior en mm (eje vertical izquierdo) y el torque total (eje derecho) del molino 4. Fig. 5g muestra lo mismo que la Fig. 5f pero por un período más corto. La Figura 5h muestra la velocidad de la maza superior y la relación entre el torque en la maza superior y el torque total. La Figura 6 muestra los resultados de cuando los autores estaban cambiando la manera de operar el molino del control del chute al control de presión. La figura 7 muestra la comparación entre los comportamientos del molino para distintos sistemas de automatización por un periodo breve de tiempo. La Tabla 3 muestra la comparación de los torques totales registrados y calculados durante las pruebas con los valores obtenidos de la ecuación empírica simple utilizada por Hagglunds (2004) y el modelo matemático desarrollado por Bundaberg Walkers y el Instituto de Investigación del Azúcar Bundaberg Walkers (2012). Para poder aplicar el modelo matemático a los molinos analizados en esta investigación, se han analizado los ajustes reales de los molinos, su flotación y la presión límite, a fin de determinar la apertura real de entrega y la carga real de la maza superior. Los datos para el modelo matemático se tomaron de los datos los molinos de Santa Isabel para el año 2012.

Tabla 1 - Resultados promedio de las pruebas de Santa Isabel por fecha

		Velocidad rpm			Torque Nm				Potencia kW			
Date		TR rpm	CR/TR	Br/TR	Tot Nm	TR/Tot	CR/Tot	BR/Tot	Tot kW	TR/Tot	CR/Tot	BR/Tot
29/09	Mill 1	6.5	1.04	0.92	1391719	0.49	0.25	0.26	910.0	0.49	0.27	0.24
2009	Mill 2	6.60	1.05	0.90	922561	0.49	0.25	0.26	617	0.49	0.26	0.24
	Mill 3	6.20	0.99	0.82	896636	0.47	0.26	0.27	541	0.49	0.27	0.24
	Mill 4	6.10	1.05	0.92	904055	0.50	0.24	0.26	558	0.51	0.25	0.24
30/09	Mill 1	6.5	1.03	0.91	1370462	0.50	0.25	0.25	894	0.51	0.27	0.22
2009	Mill 2	6.70	1.05	0.89	927151	0.50	0.24	0.25	627	0.51	0.26	0.23
	Mill 3	6.30	0.98	0.80	895730	0.49	0.26	0.25	543	0.52	0.27	0.21
	Mill 4	6.10	1.06	0.91	903403	0.50	0.25	0.26	558	0.50	0.26	0.24
15/07	Mill 1	5.59	1.03	0.95	1366801	0.56	0.23	0.22	796	0.56	0.24	0.21
2010	Mill2	5.61	1.12	0.95	910525	0.49	0.22	0.28	538	0.49	0.25	0.26
	Mill3	6.64	1.05	0.87	1004400	0.52	0.21	0.27	681	0.53	0.22	0.24
	Mill4	5.92	1.08	0.95	1052012	0.51	0.22	0.27	655	0.51	0.24	0.26
15/08	Mill 1	5.34	1.03	0.95	1344719	0.56	0.23	0.21	750	0.56	0.24	0.20
2010	Mill 2	4.89	1.06	0.95	881561	0.50	0.21	0.29	451	0.50	0.23	0.28
	Mill 3	5.75	1.14	0.90	1051023	0.52	0.21	0.26	635	0.52	0.24	0.24
	Mill4	5.56	1.08	0.94	1052955	0.52	0.21	0.27	615	0.52	0.23	0.25
26/08	Mill 0											
2011	Mill 1	4.21	1.07	0.83	1502286	0.51	0.23	0.25	646	0.53	0.26	0.21
	Mill 2	5.45	1.10	0.94	1070096	0.52	0.20	0.29	613	0.51	0.22	0.27
	Mill 3	5.36	1.20	0.90	1126602	0.51	0.23	0.26	648	0.50	0.27	0.23
	Mill 4											
15/09	Mill 0	5.03	1.03	0.93	1317910	0.54	0.21	0.25	686	0.55	0.22	0.23
2011	Mill 1	4.36	1.07	0.83	1387863	0.55	0.23	0.22	618	0.56	0.25	0.19
	Mill 2	5.01	1.10	0.94	975028	0.53	0.21	0.26	514	0.53	0.23	0.25
	Mill 3	5.10	1.12	0.93	944096	0.54	0.20	0.26	508	0.54	0.23	0.24
	Mill 4	5.07	1.10	0.92	993119	0.53	0.19	0.28	528	0.54	0.21	0.25
23/09	Mill 0											
2011	Mill 1	3.90	1.07	0.84	1441715	0.54	0.21	0.25	573	0.55	0.24	0.21
	Mill 2	4.74	1.10	0.94	1038661	0.53	0.19	0.28	517	0.52	0.21	0.27
	Mill 3	4.69	1.20	0.92	1010381	0.51	0.21	0.28	508	0.50	0.25	0.25
	Mill 4											
21/10	Mill 0											
2011	Mill 1	5.53	1.07	0.82	1303167	0.51	0.22	0.27	727	0.53	0.24	0.23
	Mill 2	5.98	1.10	0.94	1077351	0.52	0.21	0.27	678	0.51	0.23	0.25
	Mill 3	6.00	1.10	0.93	1051825	0.56	0.17	0.26	662	0.56	0.19	0.25
	Mill 4											
14/08	Mill 0	5.79	1.07	0.92	1451440	0.53	0.21	0.26	875	0.54	0.23	0.24
2012	Mill 1	5.74	1.05	0.91	1362745	0.51	0.24	0.26	807	0.51	0.25	0.23
	Mill 2	5.93	1.06	0.94	1111886	0.51	0.22	0.26	689	0.51	0.24	0.25
	Mill 3	5.89	1.13	0.94	1045334	0.53	0.21	0.26	653	0.53	0.23	0.24
	Mill 4	5.77	1.19	0.94	1074683	0.54	0.20	0.26	665	0.53	0.23	0.24
15/07	Mill 0	5.92	1.04	0.92	1387922	0.56	0.18	0.25	847	0.57	0.19	0.24
2012	Mill 1	6.39	1.05	0.91	1299875	0.54	0.21	0.25	859	0.54	0.23	0.23
	Mill 2	5.66	1.00	0.92	1034772	0.50	0.24	0.26	601	0.51	0.24	0.24
	Mill 3	5.72	1.10	0.92	1007992	0.50	0.25	0.25	608	0.50	0.27	0.23
	Mill 4	5.58	1.15	0.95	1044981	0.52	0.21	0.28	623	0.51	0.24	0.26

Tabla 2 - Resultados promedio de las pruebas de Ferrari por fecha

			Velocidad rpm			Torque Nm				Potencia kW		
Date	Mill	TR rpm	CR/TR	BR/TR	Tot Nm	TR/Ttotal	CR/Total	BR/Total	Tot. kW	TR/Tot	CR/Tot	BR/Tot
1/9/2011	Mill1	4.40	1.04	0.94	1532059	0.53	0.23	0.24	704	0.53	0.24	0.23
	Mill2	5.65	1.00	0.91	1017050	0.46	0.27	0.27	586	0.47	0.27	0.26
	Mill 3	5.07	0.99	0.90	1025424	0.45	0.26	0.29	527	0.46	0.27	0.27
	Mill 4	4.86	1.04	0.92	1127844	0.51	0.23	0.26	568	0.51	0.24	0.25
2/9/2011	Mill 1	4.14	1.04	0.94	1509429	0.51	0.23	0.25	650	0.52	0.24	0.24
	Mill 2	5.16	1.00	0.90	1026277	0.47	0.27	0.27	540	0.48	0.27	0.24
	Mill 3	4.61	0.98	0.88	1033473	0.48	0.26	0.26	481	0.50	0.26	0.24
	Mill 4	4.49	1.05	0.92	1131673	0.49	0.26	0.26	527	0.49	0.27	0.24
5/8/2011	Mill 1	4.23	1.06	0.96	1491591	0.49	0.25	0.27	664	0.49	0.26	0.25
	Mill2	4.77	1.01	0.93	1036576	0.48	0.26	0.26	510	0.48	0.27	0.25
	Mill3	4.54	0.99	0.91	1006781	0.47	0.26	0.27	466	0.48	0.27	0.25
	Mill 4	4.41	1.01	0.95	1115607	0.49	0.26	0.25	511	0.50	0.27	0.24
8/8/2011	Mill 1	4.83	1.06	0.96	1517313	0.50	0.24	0.26	772	0.50	0.25	0.25
	Mill2	5.76	1.01	0.93	1048853	0.44	0.28	0.28	623	0.45	0.29	0.27
	Mill 3	5.32	0.99	0.91	1023069	0.45	0.27	0.28	555	0.46	0.27	0.27
	Mill 4	5.08	0.98	0.96	1120798	0.54	0.24	0.23	589	0.54	0.24	0.22
12/9/2011	Mill 1	4.22	1.04	0.94	1454733	0.51	0.24	0.25	639	0.51	0.25	0.23
	Mill 2	4.93	1.05	0.90	986206	0.45	0.30	0.25	504	0.46	0.32	0.22
	Mill 3	4.64	0.98	0.88	1028536	0.47	0.27	0.26	482	0.49	0.28	0.24
	Mill 4	4.56	1.05	0.92	1128990	0.51	0.25	0.24	536	0.51	0.26	0.22
13/08/12	Mill 1	5.34	1.12	1.07	1545156	0.52	0.23	0.25	902	0.50	0.25	0.25
	Mill 2	6.41	1.04	0.96	859430	0.43	0.28	0.29	574	0.43	0.30	0.27
	Mill 3	5.63	1.06	0.93	995086	0.49	0.24	0.27	584	0.49	0.26	0.25
	Mill4	5.69	1.08	0.92	1076059	0.52	0.24	0.24	641	0.52	0.26	0.22
14/08/12	Mill 1	5.45	1.12	1.07	1549230	0.51	0.23	0.25	924	0.49	0.25	0.26
	Mill2	6.31	1.05	0.96	985335	0.42	0.29	0.28	650	0.42	0.30	0.27
	Mill 3	5.72	1.06	0.93	996729	0.48	0.24	0.28	593	0.48	0.26	0.26
	Mill 4	5.73	1.08	0.92	1073555	0.52	0.24	0.24	644	0.52	0.26	0.22
20/07/11	Mill 1	4.53	1.05	0.96	1470981	0.54	0.21	0.25	698	0.54	0.22	0.24
	Mill 2	5.05	1.01	0.93	1049123	0.49	0.25	0.27	546	0.49	0.25	0.25
	Mill 3	4.83	1.00	0.92	1028015	0.48	0.24	0.27	509	0.49	0.25	0.26
	Mill 4	4.60	1.03	0.95	1135841	0.51	0.23	0.26	545	0.51	0.24	0.25
29/06/12	Mill 1	5.27	1.08	1.12	1514187	0.53	0.19	0.27	876	0.51	0.20	0.29
	Mill 2	8.00	1.00	0.96	708021	0.41	0.26	0.32	585	0.42	0.27	0.31
	Mill 3	6.11	1.06	0.96	995386	0.48	0.26	0.26	640	0.48	0.28	0.25
	Mill 4	5.65	1.07	0.98	1045467	0.51	0.23	0.26	625	0.51	0.25	0.25
29/06/12 B	Mill 1	5.26	1.08	1.08	1513046	0.56	0.20	0.24	862	0.54	0.21	0.26
	Mill 2	7.62	0.99	0.95	815892	0.44	0.27	0.30	634	0.45	0.27	0.29
	Mill 3	5.89	1.06	0.94	1018347	0.49	0.24	0.26	628	0.49	0.26	0.25
	Mill 4	5.50	1.07	0.95	1062973	0.53	0.23	0.24	615	0.53	0.24	0.23
29/07/11	Mill 1	4.37	1.06	0.96	1433361	0.54	0.21	0.25	657	0.53	0.23	0.24
	Mill2	4.99	1.03	0.91	1022200	0.47	0.27	0.26	526	0.48	0.28	0.24
	Mill 3	4.72	1.01	0.89	1011926	0.48	0.26	0.26	487	0.49	0.27	0.24
	Mill 4	4.64	1.04	0.95	1109490	0.50	0.24	0.25	538	0.50	0.25	0.24
30/06/12	Mill 1	5.08	1.08	1.08	1525628	0.56	0.19	0.25	839	0.54	0.20	0.26
	Mill 2	7.67	0.99	0.98	725076	0.40	0.26	0.34	574	0.40	0.26	0.33
	Mill 3	5.87	1.06	0.94	1016126	0.49	0.25	0.26	623	0.49	0.26	0.25
	Mill 4	5.40	1.07	0.95	1060836	0.52	0.23	0.25	602	0.52	0.25	0.23
30/09/09	Mill1	6.00	0.96	0.96	1321233	0.50	0.25	0.25	813	0.51	0.24	0.25
	Mill2	6.25	1.00	0.98	983849	0.51	0.26	0.23	640	0.51	0.26	0.23
	Mill 4	5.61	0.94	1.00	1135776	0.49	0.26	0.24	656	0.50	0.25	0.25

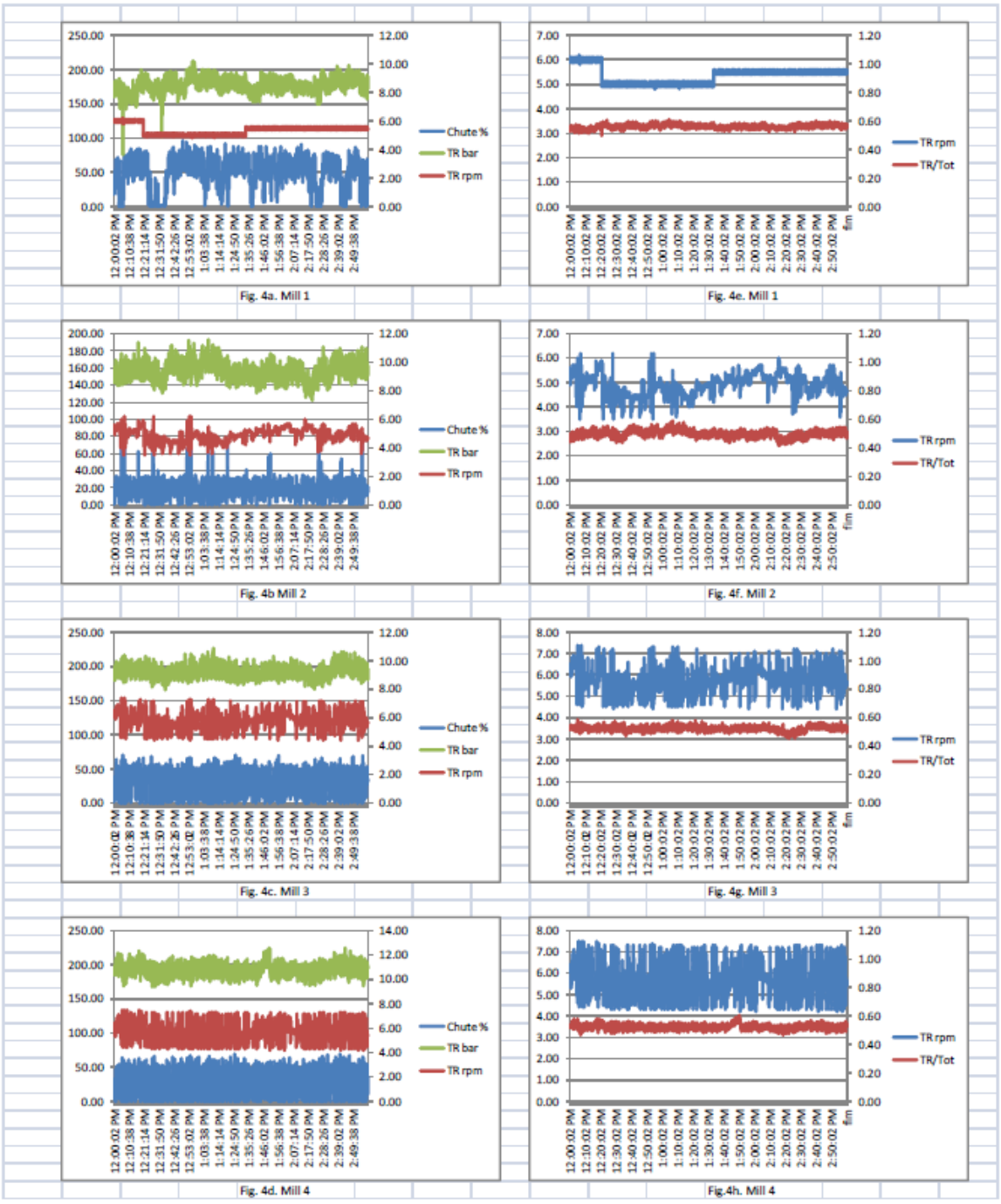


Fig. 4 - Gráficas del Ingenio Azucarero de Santa Isabel.

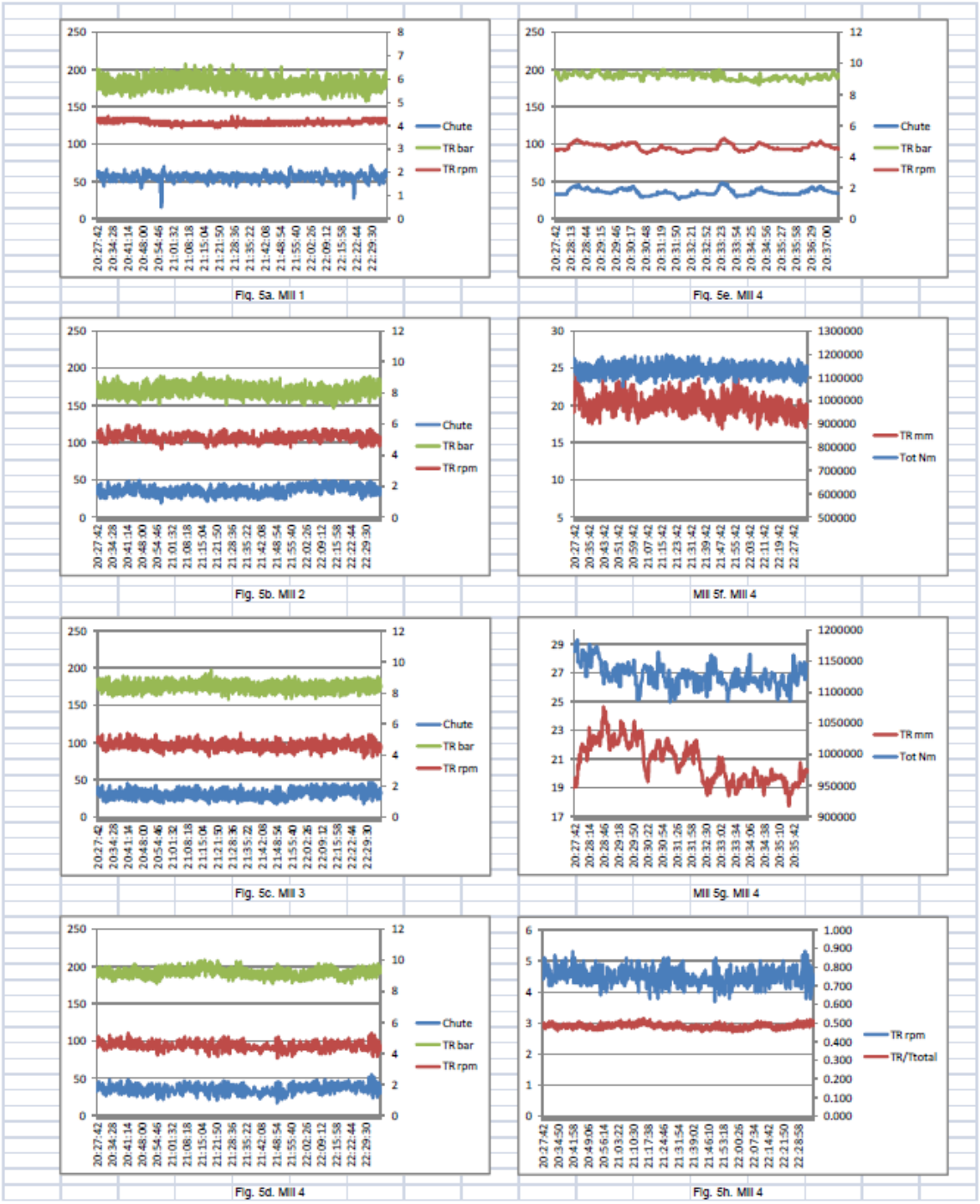


Fig. 5 - Gráficas del Ingenio Azucarero de Santa Isabel.

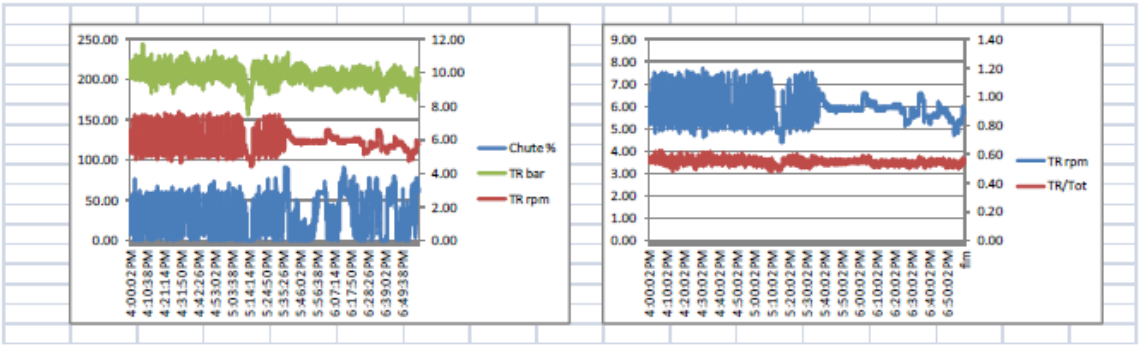


Fig 6 - Gráficas del Ingenio de Santa Isabel 4

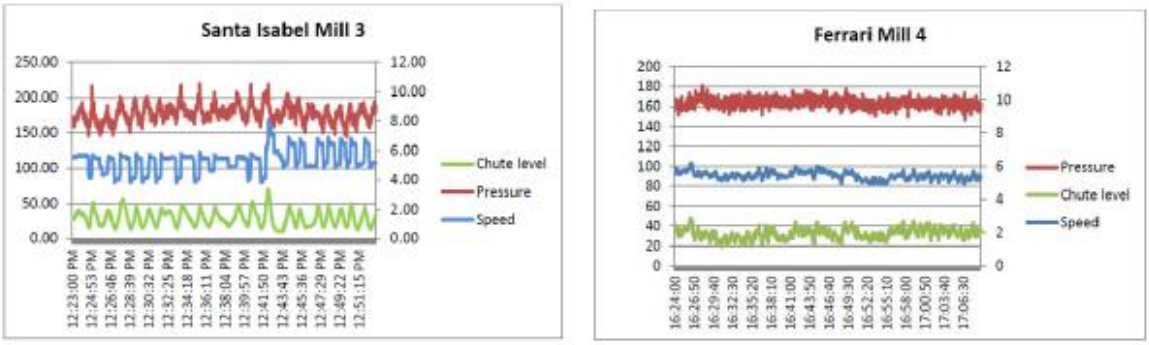


Fig. 7 - Comparativo entre las gráficas para los distintos controles de automatización

Tabla 3 - Torque promedio: valores medidos y teóricos en Nm

	Hagglunds	Bundaberg Walkers	Sta. Isabel 2009-2012	Sta. Isabel 2012	Ferrari 2009-2012
Mill 0	1308680	1309988	1385757	1387922	
Mill 1	1308680	1163285	1377135	1299875	1490611
Mill 2	1091120	1088567	994959	1034772	943376
Mill 3	1091120	1034466	1003402	1007992	1014908
Mill 4	1091120	953181	1003601	1044981	1101916

Los resultados muestran que la operación del molino en el caso de automatización del control de presión es mucho más estable que en el caso del control de nivel del chute. La variación en la velocidad de los molinos 2, 3, etc, y la variación de las presiones (torques) es mucho menor cuando se usa el control de presión, y la variación del nivel del chute es también mucho menor para este modo de automatización. Cuando los autores estaban modificando la forma de operar el molino, cambiando de control del chute a control de la presión, la operación del molino era mucho más estable, pero existía el riesgo de sobrellenado del chute (Fig. 6). Por supuesto, este problema puede resolverse determinando correctamente todos los parámetros del sistema de control. Los valores de los torques medidos son muy similares a los valores calculados para las ecuaciones teóricas y empíricas y las diferencias en los torques entre Santa Isabel y Ferrari son resultado de la diferencia en la presión en los cabezales en dichos ingenios. La

observación más importante es que el torque promedio en la maza superior se encuentra siempre dentro de un rango de 50 a 55% del torque total, para una operación del molino dentro del rango de velocidades que se utilizan en los ingenieros azucareros. Esta observación es válida para las diversas velocidades de ajuste de los molinos, las distintas relaciones de velocidad entre los rodillos superior e inferiores y las distintas proporciones de torque entre los rodillos inferiores. Los valores medidos en 2012 para el molino 2 de Santa Isabel, que fueron inferiores a 50%, son el resultado de un trabajo muy inestable de este molino, que obedeció a un problema técnico en el interior del molino. Las mismas observaciones son válidas para las potencias. Estos resultados muestran que el torque total es entonces la suma del torque desarrollado entre la maza superior y la maza cañera, entre la maza superior y la maza bagacera y entre la maza superior y la cuarta maza.

Conclusiones

La operación de los ingenios azucareros puede ser fácilmente automatizada con los accionamientos electro hidráulicos, manteniendo el torque óptimo en el interior del molino, independientemente del ajuste de velocidad (capacidad de molienda), la preparación de la caña, la fibra y el contenido de biomasa. La operación del molino en caso de automatización del control de la presión es mucho más estable que en el caso del control de nivel del chute. La variación de velocidad de los molinos de 2, 3, etc, y la variación de las presiones (torques) es mucho menor usando el control de presión y además, la variación del nivel del chute es mucho menor para esta forma de automatización. La automatización del molino con control de nivel del chute siempre es fácil de hacer y puede resultar más fácil evitar un inesperado sobrellenado del chute. El torque promedio en la maza superior se encuentra siempre dentro de un rango de 50 a 55% del torque total, para una operación estable del molino dentro del rango de velocidades que se utilizan en los ingenieros azucareros. Esta observación es válida para distintos ajustes de velocidad de los molinos, distintas relaciones de velocidad entre las mazas inferiores y superior y distintas proporciones de torque entre las mazas inferiores. Lo mismo es válido para las potencias. Se puede concluir que el torque total es entonces la suma del torque desarrollado entre la maza superior y la maza cañera, entre la maza superior y la maza bagacera y entre la maza superior y la cuarta maza. En todos los pares de rodillos que participan en exprimir, si la velocidad de una maza se incrementa, el torque en esta maza también se incrementa, ya que ahora una maza empuja contra la otra a través del bagazo comprimido. Por la misma razón, el torque en de la otra maza disminuye. También se puede concluir que la maza superior en cada etapa de extracción de jugo, en paralelo con la maza cañera y la bagacera, consume la porción del torque consumido por las mazas inferiores correspondientes.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa Bosch Rexroth de Suecia y a Bosch Rexroth de Brasil por su interés en esta investigación y el apoyo económico correspondiente. Gracias al personal de los Ingenios Azucareros de Santa Isabel y Ferrari, por su apoyo y gran colaboración para hacer posible esta investigación - un especial agradecimiento al Sr. Carlos Graton. Gracias al Sr. Mario Sato por su permiso para utilizar como referencia sus ajustes en el Ingenio de Santa Isabel. Un agradecimiento especial a Glen Wesche de Bundaberg Walkers, por su ayuda y colaboración en la definición teórica del torque.

REFERENCIAS

Bosch Rexroth. (2012). Manual de Ingeniería del Spider Control System [Sistema de Control Spider de Hägglunds] EN777-6 BR2012.
Bundaberg Walkers. (2012). Comunicación personal.
Hägglunds. (2004). Drives Sizing [Tamaño de los Accionamientos]. Presentación interna.
Kent, G.A. y McKenzie, N.J. (2001). The distribution of torque in a three-roll mill [La distribución del torque en un molino de tres mazas]. Proc. Int.Soc. Sugar Cane Technol., 24: 220-225.
Lewinski, J. (2005). Electro-hydraulic assist drives for sugar mills [Accionamientos electro hidráulicos de apoyo para los ingenios azucareros]. ISJ, 107: 532–538.
Lewinski, J., Grassmann, P. y Kallin, T. (2010). Sugar mill operation with individual drives [Operación del molino azucarero con accionamientos individuales]. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 27:
Wesche, G., Payne, S., Lewinski,J. (2011). Comparison between four roll and six roll mill [Comparativo entre un molino de cuatro mazas y uno de seis mazas]. SugarJournal, 11 de marzo: 22-25.

TORQUE Y CONSUMO DE POTENCIA EN MOLINOS DE CAÑA DE AZÚCAR CON CUATRO MAZAS

Por

JULIUSZ LEWINSKI1, PAULO GRASSMANN2 y TOMAS KALLIN3

***1Bosch Rexroth, Suecia*: jlewin@prodigy.net.mx**
***2Bosch Rexroth, Brasil*: Paulo.Grassmann@boschrexroth.com.br**
***3Bosch Rexroth, Suecia*: Tomas.Kallin@boschrexroth.se**

PALABRAS CLAVE: Hidráulica, Molino, Accionamiento, Independiente, Torque, Velocidad.

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de las mediciones de torques y potencias consumidas en los molinos de cuatro mazas en dos ingenios durante las últimas cuatro zafas. Los molinos fueron propulsados por los accionamientos electro hidráulicos de velocidad variable individuales y directos, los cuales permitieron la medición del torque de cada maza, el cambio de la relación de la velocidad entre las mazas inferiores y la maza superior y la automatización de la operación, manteniendo el torque constante durante la operación. Adicionalmente, se analizaron las relaciones del torque, nivel en el chute y la flotación de la maza superior. La automatización del trabajo del molino permitió su operación estable con el torque óptimo, dando excelentes resultados operacionales. La conclusión principal es que independientemente de la velocidad de la maza superior y de la relación de velocidades entre la maza superior y las mazas inferiores en el rango de velocidades comúnmente usado en molinos azucareros, el torque y el consumo de potencia en la maza superior es siempre cercano a 50% del torque y de la potencia total.

Los valores absolutos de torque han confirmado los resultados de las ecuaciones teóricas y empíricas.

SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTION: UNA VIA PARA LA EXCELENCIA

INTEGRATED MANAGMENT SISTEM: A WAY FOR THE EXCELLENCE

Aracelia Hernández y Gloria Villamil

ICIDCA, aracelia.hernandez@icidca.edu.cu

RESUMEN

Existen muchas similitudes entre los conceptos de gestión de la calidad, gestión medioambiental y gestión de riesgos laborales, ya que los principios de la gestión son los mismos, a saber, liderazgo, mejora continua, acciones preventivas y correctivas, entre otros, así como sus implantaciones y aspectos normativos.
Las diferencias entre estos sistemas de gestión están dadas fundamentalmente por sus orígenes, puesto que la calidad se ha desarrollado impulsada por la necesidad de mejorar la competitividad empresarial, la seguridad y salud del trabajo debido a regulaciones gubernamentales y el medio ambiente debido a la sociedad y legislaciones sobre el tema.
En el presente trabajo se recomienda la implantación de un sistema de forma integrada de acuerdo a un proceder que incluya todas las especificaciones para los tres sistemas, con una política de gestión integrada, entre otros aspectos.

PALABRAS CLAVES: sistemas de gestión, calidad, medio ambiente, salud y seguridad del trabajo

ABSTRACT

There are many similarities among the concepts of quality management, enviroment management system and occupattional health systems, since the principles of all them are the same ones, that is, leadership, continuous improvement and the preventive actions, among others, as well as their implementation and normative aspects.
The differences among these management systems are given fundamentally by their origins, since the quality has been developed for the necessity of improving competitiveness, occupattional health and safety due to government regulations and the environment due to the society and legislations on the topic.
The present paper deals with the necessity of the integrated implementation of all systems according to proceeds that includes the specificity for each of the three systems, with an integrated politics among other aspects.

KEY WORDS: quality managment, occupattional health and safety assessment, enviroment managment system

INTRODUCCIÓN

Cuando se trata el tema de la integración de los sistemas de calidad, medio ambiente y prevención de riesgos laborales para una eficaz gestión de las empresas debe tenerse en cuenta que el procedimiento utilizado no ha de partir de un único sistema, sino de la integración de los que afectan a estas tres especialidades.

Existe en la actualidad una tendencia creciente hacia la integración de estos sistemas de gestión aunque aún en muchas organizaciones se han incorporado y aplicado de forma aislada a partir de su aparición en el ámbito internacional con sus correspondientes normativas de forma separada. Esto ha traído consigo una mala gestión de los recursos, baja eficiencia en el control de los sistemas, pérdida de una visión global, pérdida de motivación entre los trabajadores de la empresa por confusión entre los diferentes sistemas de gestión y una mayor burocracia, entre otros aspectos.

Las ventajas de la integración racional de estos sistemas aporta una mejor utilización de los recursos materiales y humanos, evitar duplicidad de esfuerzos, mejorar el acceso a la información, optimizar los costos de la implantación, solapar auditorías y prevenir incidencias de uno y otro campo.

Integrar los sistemas de gestión de la calidad, medio ambiente y de salud y seguridad ocupacional mejora la imagen de la empresa y permite desarrollar una sinergia entre los sistemas de gestión al utilizar el mismo marco organizativo, identificar una política y objetivos comunes así como evitar repeticiones en la formación y la comunicación en las organizaciones donde se implanta.

En el presente trabajo se recomienda la implantación de un sistema de forma integrada de acuerdo a un proceder que incluya todas las especificaciones para los tres sistemas, con una política de gestión integrada entre otros aspectos.

DESARROLLO

En el enfoque organizacional en empresas y organizaciones que no tienen un sistema de gestión integrado suele suceder que en calidad haya 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 empleados, apoyados en una estructura documental amplia. En lo relativo al medio ambiente suele existir un responsable con recursos compartidos con otras funciones y generalmente en sectores con alto impacto en el medio ambiente, orientados hacia el asesoramiento en instalaciones y productos, y hacia la supervisión de procesos con impactos en el medio ambiente. En el caso de la seguridad y salud se tiene un servicio de prevención con personal que realiza las tareas de prevención, centrando su actividad en la eliminación o minimización de riesgos laborales, con un enfoque más reactivo que preventivo y más táctico que estratégico, y con un menor nivel de integración en general.

Fig. 1
Sistemas
Integrados
de Gestión

Las nuevas prácticas administrativas internacionales están obligando a las empresas a cuidar y controlar los campos relacionados con la calidad, el ambiente y la seguridad y salud

ocupacional de forma integrada, puesto que los efectos de éstos siempre se encuentran interrelacionados.
Un requisito fundamental para la implementación de un Sistema Integrado, o de cualquier tipo de sistema, en la organización debía ser el obtener el compromiso del personal el cual, debidamente capacitado y motivado, otorgue ideas y puntos de vista que faciliten la adaptación a los cambios.
Para llevar a cabo una propuesta de integración de sistemas deben tenerse en cuenta sus similitudes y diferencias y de esta forma enfocar las perspectivas de actuación.

Principales similitudes:

- TODOS COMIENZAN EN LA DIRECCIÓN: Liderazgo, compromiso y participación activa.
- SON UN PROYECTO PERMANENTE. *MEJORA CONTINUA.* Planificar, Hacer, Comprobar, ActuarSE BASAN EN LA ACCION PREVENTIVA Y NO EN LA ACCION REPARADORA.SON MEDIBLESSON TAREA DE TODOS EL RESULTADO OPTIMO SE OBTIENE MEDIANTE LA FORMACION Y LA INFORMACIÓN.
- REQUIEREN UN SISTEMA DOCUMENTADO (y no un sistema de documentos)

En la tabla No.1 se destacan las principales similitudes y diferencias de los sistemas de gestión de la calidad , medio ambiente de salud y seguridad ocupacional .

Tabla I. Principales diferencias de los sistemas de gestión.

Sistemas	Énfasis	Naturaleza	Relación
	Producto y cliente	Voluntario: relación cliente – proveedor	cliente / proveedor
	Protección del entorno	Existe legislación pero no exige un Sistema de Gestión	Fruto de una exigencia legal. Diferenciar entre legislaciones y norma OHSAS 18000
	Las personas son el objetivo esencial	Empresa / entorno / sociedad	Empresario/ trabajador / autoridad laboral

Existen diferentes propuestas de formas organizativas disponibles para llevar a cabo la integración de los sistemas de calidad, medio ambiente y de salud y seguridad del trabajo, partiendo por lo general de las regulaciones para cada una en particular. Una de las más completas consiste en proponer una secuencia cercana a la Norma ISO 9001, incluyendo los requisitos de las restantes e incluirlos en el manual de sistemas integrados como documento rector.

La estructura del Manual del sistema de gestión integrado podría proponerse con el siguiente contenido:
1.- Presentación
1.1.- Presentación de la organización

1.2.- Organigrama funcional
2.- Procesos de la organización
2.1.- Identificación de procesos
2.2.- Secuencia e interacción de procesos
3.- Posibles exclusiones y control de difusión del Manual
4.- Sistema de gestión de la calidad
4.1.- Requisitos generales
4.2.- Requisitos de la documentación
5.- Responsabilidad de la dirección
5.1.- Compromiso de la dirección
5.2.- Enfoque al cliente
5.3.- Política de la calidad
5.4.- Planificación
5.5.- Responsabilidad, autoridad y comunicación
5.6.- Revisión por la dirección
6.- Gestión de los recursos
6.1.- Provisión de recursos
6.2.- Recursos humanos
6.3.- Dotación de equipos de protección individuales
6.4.- Infraestructura
6.5.- Estado de las máquinas y sus dispositivos de protección
6.6.- Ambiente de trabajo
7.- Realización del producto
7.1.- Planificación de la realización del producto
7.2.- Procesos relacionados con el cliente
7.3.- Diseño y desarrollo
7.4.- Compras
7.5.- Producción y prestación del servicio
7.6.- Gestión de los residuos y de la inocuidad del producto
7.7.- Control de los dispositivos de seguimiento y medición
8.- Medición, análisis y mejora
8.1.- Generalidades
8.2.- Seguimiento y medición
8.3.- Análisis, evaluación y control de riesgos
8.4.- Control del producto no conforme
8.5.- Control de emisiones y vertidos
8.6.- Análisis de datos
8.7.- Mejora

Un aspecto importante de la estructura de la organización es la elección y nombramiento de un representante de la dirección que se encargue de la supervisión del sistema. Al tratarse de un sistema que cubre tres aspectos diferentes, se plantea aquí la alternativa de que se nombre un sólo representante o tres expertos diferentes.
La opción sobre el nombramiento de uno o varios representantes depende en alguna medida de la magnitud de la organización y de la importancia que puedan tener unos aspectos de la gestión sobre los otros, ya que por ejemplo, en una empresa de servicios, los temas medioambientales y de prevención de riesgos podrían ser irrelevantes comparados con los de calidad y en este caso el experto en calidad podría gestionar con facilidad el sistema completo.
Se debe insistir en que, los auténticos expertos en calidad, medio ambiente o prevención de riesgos laborales deben ser los ejecutores del proceso: el personal de fabricación o servicios. Ellos son los que

deben asumir los objetivos, alcanzar su cumplimiento, detectar los problemas y estudiar e implantar las acciones de mejora correspondientes. El representante de la dirección para el sistema, lo que debe conocer es el sistema en sí, la forma de diagnosticar su correcto funcionamiento y el método para informar a la dirección.
Dentro del contenido, en la presentación, podría estar incorporada la política del sistema de gestión integrado así como una declaración de la alta gerencia con el compromiso explícito de la dirección de una efectiva integración y las vías para llevarlo a cabo.
EL MANUAL DE GESTIÓN INTEGRADA se debe redactar con el objetivo de definir la política de la organización en lo que se refiere a la gestión integrada de calidad, al medio ambiente y a la prevención de los riesgos laborales.
El mismo debe ser de conocimiento y estricta aplicación de todos los que tienen alguna responsabilidad en la implantación, el desarrollo o el control de la totalidad de los procesos de esta organización.
Debe declararse la misión fundamental de conseguir la mayor rentabilidad, a través de la completa satisfacción de todas las partes interesadas, entre las que destacan los propios trabajadores, los clientes y los ciudadanos del entorno. Dicha misión se articula en los tres aspectos básicos de los sistemas mencionados.

- Supervivencia de los individuos: utilizando procesos optimizados y seguros que contribuyan al pleno bienestar de los empleados y les eviten y protejan de accidentes laborales y enfermedades profesionales.

- Supervivencia de la empresa: mediante la preparación y fabricación de productos competitivos de calidad, que satisfagan las necesidades de los clientes.

- Supervivencia del entorno: sirviéndose de procesos inocuos que contribuyan al desarrollo sostenible y que a lo largo de la fabricación o utilización de los productos consigan evitar los impactos medioambientales sobre el medio.

Para la preparación del Manual se han de seguir las normas internacionales vigentes y los modelos de gestión adecuados a las necesidades de los clientes principales y a la posibilidad de emprender sistemas de auto evaluación que aproximen a la organización a una situación de excelencia.
El objetivo final que persigue la organización es la excelencia en la gestión integrada con el mínimo costo, lo cual se ha de conseguir mediante actitudes de prevención, evitando los defectos en lugar de tener que detectarlos una vez producidos.

CONCLUSIONES

- Los sistemas integrados de gestión son una vía para lograr la competitividad, el desarrollo sostenible y la excelencia en la gestión de las empresas.

- La integración de los sistemas de calidad, medioambiental y de salud y seguridad ocupacional promueve la gestión por valores para el desarrollo de políticas que den respuesta a todos los grupos de interés: clientes, trabajadores, proveedores y la propia sociedad.La integración de los sistemas constituye una etapa superior en la gestión de la empresa para garantizar una gestión eficaz y eficiente, optimizando los recursos tanto materiales como humanos en aras de alcanzar los indicadores económicos planificados. **BIBLIOGRAFÍA**

1. Ramírez González J. R. (2007) Pertinencia y sistemas integrados de gestión en empresas cubanas. Centro de Estudios de la Economía Cubana, Universidad de la Habana.
2. Mendelson H. (2000). ERP. Graduate School of Business. Stanford University. Research assistance.
3. Bernroide E. y Koch S. (2009) Differences in Characteristics of the ERP System Selection Process between Small or Medium and Large Organizations. Department of Information Business, Vienna University of Economics and BA.
4. Pérez Betancourt, A. (2007) "Perfeccionamiento Empresarial: retos y perspectivas" (Presentación al II Taller de difusión de prácticas empresariales, GECYT,
5. Rubio Romero, J.C. López Toro, A. y Nebro Mellado, J. J (2007). "Sistemas Integrados de Gestión de la Calidad, el Medio Ambiente y la Seguridad y Salud en el trabajo", http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulos.asp.
6. Norma ISO 9001 - Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos
8. ISO 14004 - Sistemas De Gestión Ambiental Directrices Generales sobre Principios, Sistemas y Técnicas de apoyo.
9. Fernández Hatre, A. (2008) Sistemas Integrados de Gestión. Centro para la Calidad de Asturias, IMAC,
10. Arocena, J (2008) Propuesta metodológica para el estudio de procesos de desarrollo local, Montevideo, CLAEH, serie Desarrollo local en América Latina No. 1.
11. Bárcenas, M. (2011) http://www.monografias.com/trabajos38/sistemas-integrados-gestion/sistemas integrados-gestion2.shtml#ixzz2YIYZPran
12. © The British Standards Institution (2013) http://www.bsigroup.com.mx/es-mx/Acerca-de-BSI

SISTEMA DE PROTECCION ANTICORROSIVA BASE ACUOSA PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA.

WATER BASE ANTICORROSIVE SISTEM PROTECTION FOR SURGAR INDUSTRIES.

Lic. Andrés Gómez Estévez * (a), Arelis Rodríguez Padrón (a), Ing. Ma. Beatriz Ramos Tejera (b), Dr. Ángel Seijo Santos (b), Ing. Daniel Valdés Cárdenas (b) y colaboradores.

(a) Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). e.mail: andres.gomez@icidca.edu.cu (b) Laboratorio Pinturas y Barnices del CIIQ

RESUMEN

Un sistema de protección anticorrosiva base acuosa, a partir de monómeros furanoepoxídicos fue desarrollado y evaluado según las normas internacionales con buenos resultados, los mismos pueden ser aplicado solo o combinado con acabados atóxicos (grado alimentario), en la industria azucarera, con reducción de costos y beneficios para los operarios y el medio ambiente.

Palabras claves: Sistema de protección anticorrosivo base acuosa, monómeros furano epoxídicos, industria azucarera.

SUMMARY

A protection anticorrosive water base system from furan epoxy monomers was developed and esteemed according to the international norms with good results, this system would be applied alone or with non-toxic finish coated (alimentary grade), in the sugar industry, with reduction of costs and benefits for the operatives and the environment.

Key words: System of protection anticorrosive water base, furan epoxy monomers, sugar industry.

I.- INTRODUCCION

Es amplio el desarrollo de sistemas de protección anticorrosiva para superficies metálicas en los que se mantienen el empleo de los recubrimientos de alta resistencia química a base de resinas tales como: epoxídicas, vinílicas, caucho clorado, poliuretanos, acrílicas, furanoepoxídicas, etc. No obstante en las exigencias para el desarrollo de nuevos sistemas está considerada la protección al hombre y al medio ambiente. La directiva 2004/42/ce del parlamento europeo y del consejo, del 21 de abril de 2004 regula la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado para vehículos. En este camino se encuentran los sistemas híbridos y los sistemas acuosos, resultando estos últimos los más novedosos, Backus,Coutinho, Dieter Urban (1987, 2000a,2002b, 2002). Todos los esfuerzos de desarrollo

tratan de disminuir los compuestos orgánicos volátiles (COV) y alcanzar las propiedades deseadas para estos sistemas.

Según la norma NC ISO 2812-4:2010, los recubrimientos epoxi cumplen a altas prestaciones como la imprimación y mono capa para plásticos, la capa de imprimación para substratos ferrosos, la capa de imprimación para metales reactivos como el cinc y el aluminio, acabados anticorrosivos, recubrimientos de suelos, incluidos de madera y cemento, resistencia al grafiti, resistencia al fuego, utilización en recintos sanitarios de las industrias alimentarias, de bebidas y servicios de salud. Las resinas furanoepoxídicas (FAM), obtenidas en el ICIDCA, también proporcionan recubrimientos con muy buenas propiedades anticorrosivas y de protección para equipos, instalaciones, pisos, etc.

Las resinas furanoepoxídicas FAM, desarrolladas por Gómez y colab. (1987, 89, 94, 97, 2004, 2011) (5-8) en el ICIDCA, se emplean con buenos resultados en diversas aplicaciones, Gómez y colab. (1997a, 2004, 2011a, 2012) así como en formulaciones de sistemas de protección anticorrosiva en sustitución de las epoxi, Valdés, D; Ramos M B y otros (1990,2009). El objetivo del presente trabajo es la presentación de los resultados alcanzados en el sistema de protección anticorrosivo furano epoxídico en base a agua, además de mostrar los beneficios de su aplicación dentro de la industria azucarera.

II.- MATERIALES Y METODOS

Para el estudio se emplearon, en la síntesis de la resina FAM y de la Solución de Monómeros SM, furfural de grado técnico recién destilado, acetona de grado reactivo y diglicil éter del bisfenol A de grado técnico.

Como materiales en las formulaciones de pinturas:
Silicona SI, Ocre, Ti O_2 rutilo, Bentone 27, Dibutil Ftalato, Zeolita y Etanol.

Como reticulante de las matrices poliméricas en las formulaciones de recubrimiento:
Poliamina alifática comercial HY-943 de la Ciba y Endurecedor HY-20S (poliamina alifática modificada con sacarosa, Tecnología ICIDCA, Patente 23700/2011).

Tabla I. Propiedades de la Resina FAM

PROPIEDAD	FAM
Viscosidad (cp)	3804.2
Densidad (g/cm^3)	1.18
Peso seco (%)	73.29
Tiempo vida (min.)	43
PH	6.2
Furfural libre (%)	3.7 - 3.8

Tabla II. Propiedades de la Solución de Monómeros (SM)

PROPIEDAD	SM
% Φ (Furfural libre)	2,34
% MFA (Monofurfurilidenacetona)	18,92
% DIFA (Difurfurilidenacetona)	13,32
% MFE (Monómero Furanoepoxídico)	25,46
% PS	60,84
T. Vida (min)	265,00
pH	9,20

Tabla III. Propiedades del Fural Ri – 1001

PROPIEDAD	FURAL- Ri 1001
Relación de mezclado en peso (resina/endurecedor)	5:1
Relación de mezclado en volumen (resina/endurecedor)	4:1
Temperatura de aplicación (ºC)	15 - 40
Tiempo de fraguado (h)	24
Tiempo útil de aplicación (min.)	25 – 50
Tiempo de almacenamiento Temperatura Ambiente (años)	2
Máxima Temperatura que resiste (ºC.)	150
Mínima Temperatura que resiste (ºC.)	- 20
Densidad (g/cm^3)	1.11 – 1.13
Viscosidad (cPs)	100 - 200
Adherencia (MPa)	45 - 50
Rendimiento($kg/m^{2)}$	0.6 – 0.8
Valoración en Talleres por su laboriosidad	Excelente

Formulación de pinturas

Partiendo de la fórmula con la resina FAM, (Fórmula 1, similar a la línea 501 de Vitral), se formularon cuatro variantes, usando la resina FAM y la solución de monómeros SM. Las variantes evaluadas fueron las siguientes:

Fórmula 1: Con resina FAM
Fórmula 2: Con Solución de Monómeros
Fórmula 3: Con Solución de Monómeros + 2% de zeolita
Fórmula 4: Con Solución de Monómeros + 5% de zeolita

Recubrimientos evaluados

Las cuatro variantes evaluadas presentaron una consistencia normal y el proceso de homogenización se realizó manualmente. Las pinturas se prepararon mezclándolas con el agente de curado en una relación de 85:15 en peso para la pintura epoxi-furánica. Después se aplicaron sobre las probetas, obteniéndose películas continuas, uniformes, con buena nivelación y brochabilidad.

Caracterización de las variantes formuladas mediante ensayos físico-mecánicos

Los paneles se prepararon siguiendo las normas establecidas para las probetas de ensayo (NC ISO 1513:2010, 10. NC ISO 1514:2010 y NC ISO 554:2007) y posteriormente se hicieron los ensayos que se muestran a continuación, aplicando las normas nacionales e internacionales correspondientes para cada caso.
Densidad. (NC ISO 2811-1:2003), Viscosidad (NC 558:2007), Contenido de materia no volátil (NC ISO 3251:2010), Tiempo de secado (NC ASTM D 1640:2005), Espesores de película (NC ISO 2808:2010), Sólidos por volumen y Rendimiento (ASTM D 1212-91(01)), Brillo especular (NC ISO 2813:201), Plegado (Flexibilidad) (NC ISO 1519:2010), Caída de una masa (Impacto) (NC ISO 6272-2:02), Corte por enrejado (NC ISO 2409:2010), Amortiguamiento del péndulo (Dureza) (ISO 1522:2006).

Los ensayos se realizaron a una temperatura de (25 ± 0.20) ºC y la humedad relativa de (49 ± 1.45) %.
Después de realizar los ensayos físico-mecánicos llegamos a la conclusión que la fórmula 3 es la adecuada para la conformación de los sistemas que se evaluaron posteriormente en los ensayos acelerados para la determinación de la durabilidad y la compatibilidad entre capas de pinturas. Se prepararon para cada ensayo tres probetas de acero al carbono por sistema, con desengrase y lijado mecánico de las superficies hasta el grado St-3.

Sistemas evaluados
Los recubrimientos que conforman los sistemas son los siguientes:
Fórmula 3: Recubrimiento a base de una solución de monómeros furanoepoxídicos + 2% zeolita, sin solvente, de dos componentes.
MCU Mastic: Recubrimiento Uretano de un sólo componente de curado por la humedad de la firma MCU-Coatings.
MCU Topcoat: Es un Acabado alifático, uretano de un solo componente, curado por la humedad, de la firma MCU-Coatings.
Fural – Ri 1001: Recubrimiento impregnante y acondicionador, de dos componentes.
Las pinturas se aplicaron a brocha formando los sistemas 1 y 6:
Sistema 1: MCU Mastic/ Fórmula 3/ MCU Mastic Espesor total 190 µm
Sistema 6: Fural Ri / Fural Ri / Fórmula 3 Espesor total 200 µm

Se midieron los espesores de la película seca, según la NC ISO 2808:10, sometiéndose los sistemas a los ensayos en las cámaras de niebla salina, siguiendo la norma NC ISO 9227:2008 y humedad según norma NC ISO 6270-2:2010, y de resistencia química NC ISO 2812-4:2010 para determinar los rangos de durabilidad de los sistemas de pinturas de acuerdo a la norma NC ISO 12944-6: 2009.

Se evaluó periódicamente el estado del recubrimiento, valorándose la presencia de ampollas según NC ISO 4628-2:07, corrosión según NC ISO 4628-3:07, grietas y rajaduras según NC ISO 4628-4:07, descamación según NC ISO 4628-5:07, caléo según NC ISO 4628-6:07 y cambio de color según NC ISO 3668:99.

Para determinar la compatibilidad de los sistemas de pintura, según la NC 12-04-46:87, estos se sometieron a ciclos de 8 horas en cámara de humedad y 16 horas a temperatura ambiente, durante 720 horas.

Una vez concluido el ensayo acelerado, las probetas se sacaron de la cámara, se lavaron con agua para análisis, se secaron y se mantuvieron a temperatura ambiente durante 48 horas, realizándose la evaluación visual de la superficie del recubrimiento. Posteriormente se realizó el ensayo de desprendimiento por tracción según la norma NC ISO 4624:2009.

III.- DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los resultados de los ensayos realizados se muestran en las tablas IV, V, VI, VII, VIII y IX.

Tabla No. IV: Resultados de los ensayos físico-mecánicos

Parámetros	**Fórmula 1**	**Fórmula 2**	**Fórmula 3**	**Fórmula 4**
Densidad (g/ml) a 25 ºC	1.259 ± 0.1	1.376 ± 0.1	1.274 ± 0.2	1.304 ± 0.2
Viscosidad (cps)	7800 esp 5 a 20 rpm	26500 esp 7 a 20 rpm	41000 esp 7 a 20 rpm	58000 esp 7 a 20 rpm
Sólidos por peso (%)	94 ± 0.2	85 ± 0.2	86 ± 0.2	86.5 ± 0.2
Sólidos por Volumen (%)	70 ± 0.1	68.7 ± 0.1	68 ± 0.1	70 ± 0.1
Grado de dispersión (µm)	40 ± 0.3	40 ± 0.3	40 ± 0.2	40 ± 0.2
Secado al tacto (h)	1	1.5	2	1
Secado total (h)	4	4	6	2.5
Espesor húmedo (µm)	311 ± 0.3	294 ± 0.3	250 ± 0.2	282 ± 0.2
Rendimiento teórico (m^2/l)	3.21 a 218 µm e/s	3.4 a 200 µm e/s	4.0 a 170 µm e/s	3.5 a 198 µm e/s
Brillo especular a 60° (%)	28 ± 0.2	32 ± 0.2	40 ± 0.2	39 ± 0.2
Corte por enrejado (Clasif.)	3	2	1	2
Caída de una masa (pulg-lb)	A/8	A/8	A/22	A/14
Plegado a 180º (mm)	Resiste 8	Resiste 6	Resiste 2	Resiste 6
Amortiguamiento del péndulo (%)	21.13 ± 0.3	19.6 ± 0.2	24.7 ± 0.2	22.3 ± 0.2
Espesor seco (µm)	218 ± 0.1	200 ± 0.2	170 ± 0.2	198 ± 0.2
Tiempo de vida útil de la mezcla	2 h	2 h	3 h	1.75 h

Nota: Los ensayos físico-mecánicos se realizaron a una temperatura de (25 ± 0.20) ºC y la humedad relativa de (49 ± 1.45) %.

Como puede observarse en la Tabla No. IV, de las cuatro fórmulas evaluadas, la número 3 es la que tiene mejores propiedades físico-mecánicas, con muy buena adherencia, buena dureza, excelente flexibilidad y resistencia al impacto, por tanto fue la que se escogió para realizar los ensayos acelerados.

La durabilidad de un sistema de pintura (tiempo de vida esperado hasta el primer repintado general) depende de muchos factores externos tales como el medio ambiente, el diseño de la estructura, la preparación de la superficie, y los procedimientos de aplicación y secado. La misma también está relacionada con las características físicas y químicas del sistema, o sea, el tipo de ligante y el espesor de película seca.
Estas características pueden ser evaluadas por los ensayos de envejecimiento artificial, siendo de interés primario la resistencia al agua o a la humedad, a la niebla salina neutra y la resistencia química, como un indicativo de la adhesión en presencia de humedad y de las propiedades de barrera del sistema protector de pinturas.

Los resultados de la cámara salina se muestran en la Tabla No. V, observe que en las probetas sin corte sometidas a un rociado salino continuo, los sistemas no presentaron ningún defecto visible durante el tiempo que duró el ensayo. Sin embargo, en las probetas recubiertas donde se realizó un corte paralelo hasta el sustrato, el avance de la corrosión en el sistema 1, fue de 1 mm a las 720 h de exposición y en el sistema 6, fue de más de 1 mm a las 600 h de exposición.

Tabla No. V Resultados del ensayo en cámara de niebla salina.

Tiempo de ensayo (h) / Evaluación del sist.		72	120	240	360	480	600	720	Adherencia (Clasificación)
1	**s.c.**	B	B	B	B	B	B	B	1
	c.c. Avance de la corrosión (mm)	B	B	B	0.20	0.50	0.75	1	1
6	**s.c.**	B	B	B	B	B	B	B	1
	c.c. Avance de la corrosión (mm)	B	B	0.20	0.50	0.90	1.20	-	1

Nota: s.c.: Sin corte c.c.: Con corte. Se realizaron dos cortes paralelos al lado de mayor dimensión de las probetas. B: Bien Temperatura de ensayo: (35 ± 0.20) ºC HR: (100 ± 0.03) %

La resistencia a la humedad o condensación continua es excelente para el sistema 1 y en el sistema 6 aparecen pocas y pequeñas ampollas 720 h de exposición como se muestra en la Tabla No. VI.

Tabla No. VI Resultados del ensayo en cámara de humedad

Tiempo de ensayo (h) / Evaluación del sist.	48	120	240	480	720
1	B	B	B	B	B
6	B	B	B	B	Ampollas D 2 (S2)

Nota: El ensayo se realizó a una temperatura de (40 ± 0.03) ºC y humedad relativa de (100 ± 0.2) Densidad 2 (Poca) Tamaño de las ampollas: 2 (Fig.1, NC ISO 4628-2:07)

Los resultados a la resistencia química, que se muestran en la Tabla No. VII, se puede decir que es excelente en un medio alcalino diluido y en presencia de diluentes, pero en un medio ácido diluido aparece una ampolla siempre del tamaño de la gota en ambos sistemas.

Tabla No. VII Resultados del ensayo de resistencia química.

Tiempo de ensayo (h) / Evaluación del sist.		24	96	120	144	168
1	**NaOH (10 %)**	B	B	B	B	B
	H_2SO_4 (10 %)	B	Ampolla S3	Ampolla S3	Ampolla S4	Ampolla S5
	Aguarrasina + Xilol	B	B	B	B	B
6	**NaOH (10 %)**	B	B	B	B	B
	H_2SO_4 (10 %)	Ampolla S3	Ampolla S3	Ampolla S4	Ampolla S5	Ampolla S5
	Aguarrasina + Xilol	B	B	B	B	B

Nota: La temperatura promedio de ensayo fue de 24 ± 0.20 ºC y la humedad relativa de 45 ± 2 %.
S3, S4 y S5 (Tamaño de la ampolla)

La Tabla No. VIII muestra los resultados del ensayo de adherencia, que se realizó por el método de corte por enrejado, a las 24 h de retiradas las muestras, obteniéndose clasificación de 0 - 1 (Área afectada menor del 5 %). Estos resultados corresponden a la evaluación a los sistemas que fueron ensayados en la cámara de humedad para la determinación de la compatibilidad de la pintura furanoepoxídica con otras pinturas. Como puede observarse la adherencia antes y después de ser expuestos al ensayo acelerado es muy buena, revelando una media del 100% entre la última capa y el adhesivo. Se puede concluir que la compatibilidad entre los recubrimientos evaluados es buena.

Tabla No. VIII Resultados del ensayo de compatibilidad

Tiempo de ensayo (h) / Evaluación del sist.	72	120	264	456	552	720	Adherencia por tracción (MPa)
2	B	B	B	B	B	B	1, 100% -/Y
3	B	B	B	B	B	B	1, 100% -/Y
4	B	B	B	B	B	B	1, 100% -/Y
5	B	B	B	B	B	B	1, 100% -/Y

Nota:
-/Y: Rotura adhesiva entre la última capa y el adhesivo.

Los resultados obtenidos en los ensayos acelerados del laboratorio se analizaron por los métodos planteados en la tabla 1 de la Norma NC ISO 12944-6:2009, donde se compararon los valores obtenidos con los reflejados en esta tabla, concluyéndose sobre el rango de durabilidad de los sistemas evaluados, si se exponen en ambientes de media agresividad corrosiva (C3) y de alta agresividad corrosiva (C4). De este análisis concluimos lo que aparece en la siguiente Tabla No. IX:

Tabla No. IX Rango de durabilidad de los sistemas evaluados

Sistemas	Ambientes de media agresividad corrosiva (C3)		Ambientes de alta agresividad corrosiva (C4).	
	Rango de durabilidad	Tiempo, años	Rangos de durabilidad	Tiempo, años
1 y 6	Alta	Mayor de 15	Media	5 -15

Estas categorías de corrosividad aparecen en la norma NC ISO 12944-2:2008 (35) y son las siguientes.

Categoría	**Corrosividad**	**Exterior**	**Interior**
C3	Media	Atmósferas urbanas e industriales con moderada contaminación de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad.	Naves de fabricación con elevada humedad y con algo de contaminación del aire, por ejemplo: plantas de procesado de alimentos, lavanderías, plantas cerveceras, lácteas, etc.
C4	Alta	Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad	Plantas químicas, piscinas, barcos costeros y astilleros.

La vida útil de un recubrimiento de pintura y su efectividad como método de prevención de la corrosión dependerá, en gran medida, de una adecuada selección y/o diseño del sistema de protección, de apropiada preparación de superficie y aplicación del recubrimiento, de la supervisión e inspección a pie de obra y del control de calidad de las pinturas y de los sistemas protegidos.

Tal como se ha referido en la norma NC ISO 12944-1 para obtener una protección anticorrosiva eficaz de estructuras metálicas, se hace necesario que tanto proyectistas, consultores, empresas encargadas del trabajo de la protección anticorrosiva como los inspectores de revestimientos anticorrosivos tengan a su disposición una información concisa del estado actual de conocimientos sobre protección anticorrosiva por recubrimientos con sistemas de pinturas.
Los sistemas 1 y 6 desarrollados y evaluados según las normas internacionales con buenos resultados, conjuntamente con los resultados de compatibilidad con capas de acabado atóxicos comerciales, son candidatos apropiados de los que se puede disponer con la información necesaria, para seleccionar y establecer un plan de mantenimiento de revestimientos anticorrosivos en la Industria azucarera, con disminución de costos, mayor durabilidad y de beneficios para los operarios y el medio ambiente.

IV CONCLUSIONES

1. De las cuatro fórmulas evaluadas la número 3 (con solución de monómeros + 2% de zeolita) es la que tiene mejores propiedades físico-mecánicas, con muy buena adherencia, buena dureza, excelente flexibilidad y resistencia al impacto.
2. Los sistemas evaluados y aplicados sobre acero, presentaron un tiempo esperado para el primer repintado en ambientes de alta agresividad corrosiva (C4), entre 5 y 15 años.
3. Los sistemas evaluados y aplicados sobre acero, presentaron un tiempo esperado para el primer repintado en ambientes de media agresividad corrosiva (C3), mayor de 15 años.

4. Ambos sistemas evaluados presentan buena resistencia a los medios alcalinos diluidos y a los diluentes.
5. Los sistemas 2, 3, 4 y 5 evaluados, presentan buena compatibilidad entre capas y al sustrato.
6. Los sistemas 1 y 6 desarrollados y evaluados según las normas internacionales con buenos resultados, conjuntamente con los resultados de compatibilidad con capas de acabado atóxicos comerciales, son candidatos apropiados para establecer un plan de mantenimiento en la Industria azucarera, con disminución de costos, mayor durabilidad y de beneficios para los operarios y el medio ambiente.

REFERENCIAS

1) Coutinho, F. M. B.; Delpech, M. C & Alves, L. S. - J.Appl. Polym. Sci., p.49-55 (2000)
2) Coutinho, F. M. B. et al; "*Síntese e caracterização de poliuretanos em dispersão aquosa";* Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 12, nº 4, p. 248-254, 2002
3) Backus, J. K.; Blue, C. D.; Boyd, P. M. & Squler, E. P. - "Polyurethane" em Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Raimond B. Seymour, John Wiley, London, V.11, 1987.
4) Dieter Urban, Koichi Tkamura, Polymer Dispersions and Their Industrial Applications, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2002
5) Gómez, A. y otros (1987). "Composición Polimérica Antiácida" (Cuba). Patente de Invención No. 21 755.
6) Gómez, A. y otros (1989). "Composiciones poliméricas a base de resinas furfural acetonas". (Cuba). Patente de Invención No. 929/89.
7) Gómez, A. y otros (1994). Resinas furano-epoxídicas y su procedimiento de obtención. (Cuba). Patente de Invención No. 22 355.
8) Gómez, A. y otros (2011) "Poliaminas alifáticas modificadas con sacarosa y su procedimiento de obtención". (Cuba). CERTIFICADO DE AUTOR DE INVENCION No. 23700, Junio 2011.
9) Gómez, A. y otros (1997). Protección de Depósitos con composiciones poliméricas furano – epoxídicas. (Cuba). LOGRO MINAZ.
10) 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, 2004.
11) Gómez y colab., (2011);Recubrimientos que se requieren en una destilería. Parte I. Propuesta de Normalización". Revista ICIDCA 45 (3) 2011, pág 39 -48
12) Gómez y colab., (2012);"Recubrimientos que se requieren en una destilería. Parte II. Propuesta de Normalización". Revista ICIDCA 46 (1) 2012, pág 38 -45.
13) Valdés D., Ramos M. B. (1990), Determinación de la resistencia química de pinturas anticorrosivas formuladas con resinas de furfural acetona. Primer Simposio Internacional de Corrosión, Protección y Tropicalización. Quimindustria'90. Palacio de las Convenciones, La Habana. Cuba. Pág. 523-525
14) Ramos M. B. y Otros (2009), "Recubrimientos para la Protección de la Industria Alcoholera". (Tarea No.5: Evaluación de recubrimientos nacionales en desarrollo e informe final) CIIQ.

"MATERIAL ELASTOMÉRICO BASE CAUCHO, PARA RECUBRIMIENTO DE RODILLOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA"

"ELASTOMERIC RUBBER MATERIAL OF LINING ROLLERS FOR SUGAR INDUSTRY"

Dra. Ing. Kirenia Abreu González *
Dr. Ing. Jorge Laureano Moya Rodríguez*

(*) Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV). Carretera a Camajuaní km 5½, Santa Clara, Villa Clara. CP 54830.
kireniaag@uclv.edu.cu
jorgemr@uclv.edu.cu

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo del material elastomérico a utilizar en la fabricación del revestimiento de rodillos para la Industria Azucarera. En él se propone la zona o región de mezclado que posibilita la obtención de mezclas que satisfagan las condiciones de explotación de dichos rodillos, así como los requerimientos de materiales elastoméricos para artículos de goma.
Los estudios de las formulaciones muestran la factibilidad de la utilización del Carbón Blanco y el Negro de Humo HAF en mezclas elastoméricas, al influir estos de forma positiva sobre las propiedades físico-mecánicas de las mismas. Los modelos empírico-matemáticos permiten estudiar la influencia de las variables analizadas sobre las propiedades antes mencionadas en el rango de valores experimentales para los cuales se realizaron los ensayos.

Palabras claves: Elastomérico, rodillos, caucho.

Abstrac

The present work aims at developing an elastomeric material for roller linings used in the Sugar Industry. The region of blended that satisfy the conditions of exploitation of these rollers is assessed, as well as the requirements of elastomeric material for rubber articles.
The feasibility of the use of White Coal and Carbon Black HAF in elastomeric mixtures is demonstrated through the evaluation of different formulations, showing their positive influence on the physical-mechanical properties. This research also shown that empiric-mathematical models allow assessing the influence of the variables on the above mentioned properties in the range of experimental values for which the tests were carried out.

Key words: Elastomeric, rollers, rubber.

Introducción

Al igual que el resto de la industria nacional cubana, la industria azucarera ha sufrido afectaciones en la reposición de su maquinaria. Un ejemplo de esto es el revestimiento de los rodillos en los transportadores de bandas, estos operan bajo condiciones de fricción seca o en presencia de agua y otros fluidos. En el desempeño y vida de servicio de estos elementos, es determinante la calidad del revestimiento, que depende entre otros aspectos, de las propiedades físico- Mecánicas del material que lo conforma.
Los rodillos revestidos de goma son ampliamente usados en diversas ramas de la industria, donde cumplen funciones cada vez más amplias y exigentes. El desarrollo de nuevos materiales ha hecho que en los últimos tiempos los materiales no metálicos encuentran una amplia aplicación, lo cual, desde el punto de vista tribológico, se debe a que los mismos son capaces de trabajar eficientemente bajo condiciones extremas de fricción.
Considerando lo anterior el objetivo del trabajo es el desarrollo del material elastomérico para la fabricación revestimiento de los rodillos en los transportadores de bandas de la Industria azucarera, Así como la determinación análogo-experimental de las propiedades físico-mecánicas de dichos materiales.

Materiales y métodos.

1.1.1 Planificación de la investigación

Gran reconocimiento en el ámbito mundial han alcanzado en los últimos tiempos diferentes métodos experimentales y estadísticos [Pérez (1990), Riajovsky (1989), Vlasov (1986)] que posibilitan la solución y explicación científica a problemas objeto de estudio, resultando éstos una vía efectiva y económica en el campo de las investigaciones científicas.
Con el objetivo de conocer la influencia de las variables analizadas sobre las propiedades físico-mecánicas de los elastómeros, para el desarrollo del material de los revestimientos se utiliza un diseño de mezcla cúbico, centrado, aleatorizado. Como variables a estudiar se tomaron el contenido de Carbón Blanco, Negro de Humo HAF y Zeolita en las mezclas o formulaciones.
A partir de la matriz experimental que se muestra en la tabla 1 se desarrollaron ocho formulaciones. El procesamiento de los resultados experimentales se realiza a través del paquete estadístico **STATGRAPHICS PLUS Versión 4.1 para Windows**.

Tabla I Matriz de los experimentos

N	Carbón Blanco		Negro de Humo		Zeolita	
	x1	p.p.c.c.	x2	p.p.c.c.	x3	p.p.c.c.
1.1	0.16	8.00	0.16	8.00	0.16	33.00
1.2	0.00	0.00	0.50	25.00	0.50	25.00
1.3	0.00	0.00	1.00	50.00	0.00	0.00
1.4	0.50	25.00	0.00	0.00	0.50	25.00
1.5	1.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.6	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	50.00
1.7	0.33	16.50	0.33	16.50	0.33	16.50
1.8	0.16	8.00	0.66	33.00	0.16	8.00
1.9	0.66	33.00	0.16	8.00	0.16	8.00
1.10	0.50	25.00	0.50	25.00	0.00	0.00

Basándonos en los resultados de trabajos anteriores, así como en los resultados del estudio bibliográfico, se toman, como propiedades a evaluar las siguientes:

- Dureza Shore A (Sh A)
- Resistencia a la tracción (σ_r)
- Resistencia a la abrasión (IRA)
- Resistencia al desgarre
- Resistencia a la fatiga

Los experimentos se realizaron siguiendo el orden de la matriz anteriormente descrita, a manera de síntesis la discusión de los resultados se ofrecen en la tabla II.

Tabla II Resumen de los resultados experimentales.

N	Propiedades					
	Sh. A.	**σr (MPa)**	**IRA (%)**	**Rd (N/mm)**	**ξ (%)**	**Rf (rev.)**
1.1	**82.00**	7.61	118.67	24.66	420.67	73000
1.2	83.67	13.28	129.67	**37.16**	**462.33**	79330
1.3	**87.00**	**18.54**	**173.67**	34.33	**323.33**	85000
1.4	83.00	**7.15**	112.67	21.40	414.00	**107660**
1.5	86.00	9.47	112.33	34.33	377.66	78000
1.6	83.00	7.94	**105.00**	21.83	410.00	**70000**
1.7	84.00	10.74	123.67	**15.00**	381.33	70330
1.8	86.00	14.74	144.33	25.00	378.33	80330
1.9	85.00	9.17	127.33	18.00	386.67	89330
1.10	87.00	13.00	140.00	16.00	371.66	105000

1.1.2 Análisis y discusión de los resultados

El estudio de las formulaciones propuestas permite analizar el efecto de las variables independientes (contenido de cada tipo de relleno en la mezcla) sobre las propiedades físico-mecánicas y de servicio del material elastomérico a utilizar en la fabricación de los revestimientos. A continuación se discute el efecto antes mencionado para cada una de las variables de respuesta tomadas en consideración.

Ecuaciones de los modelos obtenidos

El procesamiento estadístico matemático de los resultados de los experimentos, permitió obtener los modelos empíricos-matemáticos que muestran el comportamiento de las variables objeto de estudio. La ecuación general de todos estos modelos es:

$$Prop = a \cdot CB + b \cdot NH + c \cdot Zta + d \cdot CB \cdot NH + e \cdot CB \cdot Zta + f \cdot NH \cdot Zta + g \cdot CB \cdot NH \cdot Zta$$

Los valores de los coeficientes de la ecuación referida para cada una de las propiedades estudiadas, así como el grado de significación de los modelos, se resumen en la tabla 3. En ella, el valor de R^2 que se ofrece es el del R^2 ajustado.

Tabla III Coeficientes de la ecuación para cada una de las propiedades.

Coef.	Dza.	RT	E	RD	IRA	RF
a	85.96120	9.47366	379.54100	3.39851	113.47100	78665.8000
b	87.11270	18.68460	323.48000	3.44608	171.10700	85150.6000
c	82.99620	7.63912	409.29800	2.25154	105.16800	69271.8000
d	2.14779	-3.72353	59.37420	-7.37749	-5.51166	95632.8000
e	-6.08585	-6.81444	83.01050	-2.60658	19.94290	134542.0000
f	-6.44879	-0.15263	381.55600	3.79524	-36.78440	6178.2300
g	0.21004	-12.39890	-979.88000	-19.06230	12.70700	-900706.0000
R^2 (%)	97.20540	97.65800	96.83320	96.01870	97.20110	97.2145

En la figura 1 se ilustra el comportamiento de la dureza para los diferentes valores de contenidos de los rellenos utilizados en las formulaciones. Como puede apreciarse en ella, todos los rellenos empleados permiten alcanzar valores de dureza en los materiales obtenidos muy superiores a los de la mezcla patrón. Los mayores valores de dureza obtienen en las formulaciones que contienen únicamente (100 %) Negro de Humo como relleno (50 p.p.c.c.), o en las que contienen igual proporción (50% respectivamente) de éste y de Carbón Blanco (25 p.p.c.c. de cada uno); sin embargo, no existe una marcada diferencia entre dichos valores y los que se obtienen cuando se emplea el Carbón Blanco sólo (Fig. 1a).

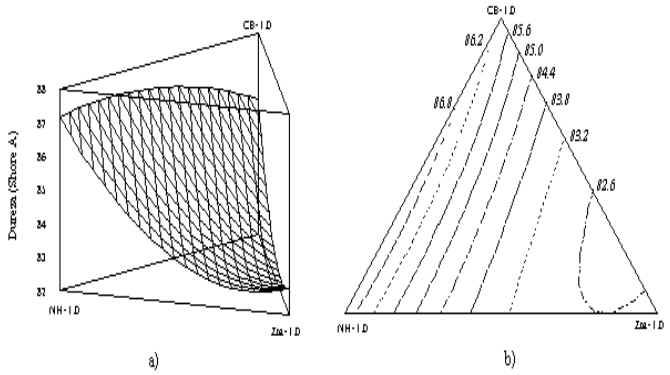


Figura 1 – Influencia del tipo de relleno sobre la dureza del material.
a) Superficie de respuesta. b) Gráfico de isodureza.

De forma similar al caso anterior, la figura 2 describe el comportamiento de la resistencia a la tracción de los compuestos en función del contenido de cada uno de los rellenos utilizados. En la gráfica a) se aprecia un ligero incremento de la propiedad con respecto a la mezcla patrón, cuando se emplea el NH como relleno (100%). A medida que disminuye el contenido de éste (aumentan los niveles de CB y/o Zeolita) los valores de resistencia decrecen hasta valores que llegan a ser incluso inferiores a los de la mezcla de referencia, concluyéndose que estos dos últimos rellenos no son adecuados para elevar la resistencia a la tracción de los materiales. En la gráfica b), se dan las isolíneas que complementan la descripción del comportamiento de la resistencia a la tracción para las diferentes proporciones de los rellenos.

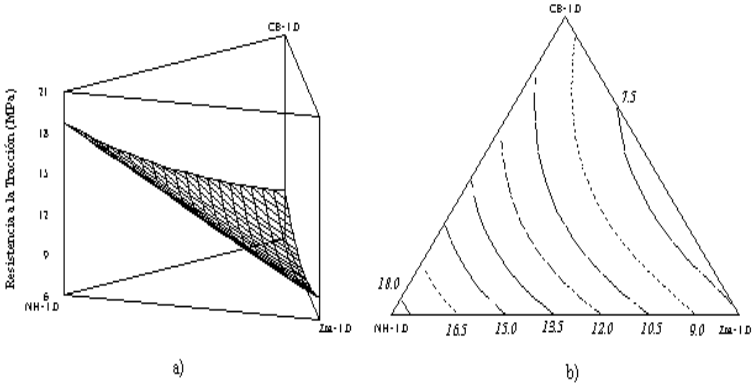


Figura 2– Influencia del tipo de relleno sobre la resistencia a la tracción.
a) Superficie de respuesta. b) Isolíneas de resistencia a la tracción.

La resistencia a la abrasión es de vital importancia, ya que influye de cierta forma en la limitación de la vida útil de los rodillos estudiados. De acuerdo con lo establecido en las normas de elaboración de artículos de goma, la resistencia al desgaste se evalúa a partir del Índice de Resistencia a la Abrasión (IRA).
Al analizar los materiales desarrollados se tiene que los valores más elevados de IRA se logran empleando NH en calidad de relleno, aunque todos los tipos de rellenos estudiados mejora la propiedad con respecto a la mezcla de referencia establecida a tales fines (Fig. 3).

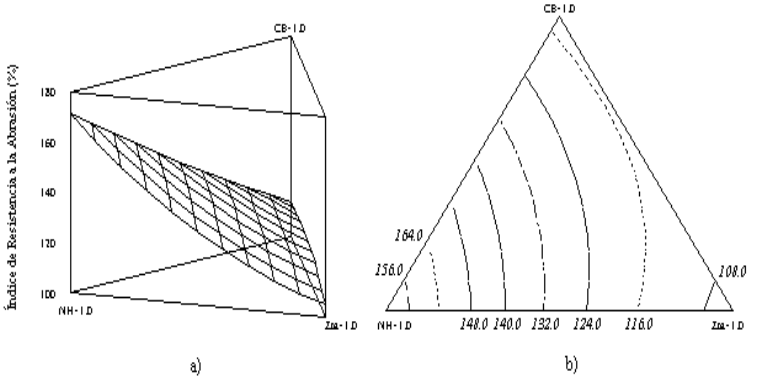


Figura 3– Influencia del tipo de relleno sobre el índice de resistencia a la abrasión.
a) Superficie de respuesta. b) Gráfico de isoabrasión.

Los menores valores de abrasión se obtienen cuando se emplea únicamente (100 %) Zeolita en la mezcla, aunque éstos no se diferencian grandemente de los obtenidos para el caso de CB.
Peculiar resulta el comportamiento de desgarre ante las variaciones en los contenidos de los distintos elementos de relleno estudiados (Fig. 4). Se aprecia una zona en la cual se obtienen los menores valores de resistencia para distintas combinaciones de los rellenos (Fig. 4 b). Así mismo, los mayores valores se obtienen para combinaciones de Zeolita con NH en las cuales predomine el contenido de este último.
En el caso de la Zeolita, por ejemplo, adicionada en cantidades de hasta un 10% de la cantidad de relleno total (Zeolita + NH + CB) origina una disminución de los valores de esta propiedad, valor a partir del cual se produce el incremento de la misma hasta aproximadamente el 82-84% del total de relleno, luego del cual se produce una nueva disminución de ésta, aunque sigue siendo numéricamente superior que en el

caso en el que no hay Zeolita. Este comportamiento se corresponde plenamente con lo observado en la figura 4.

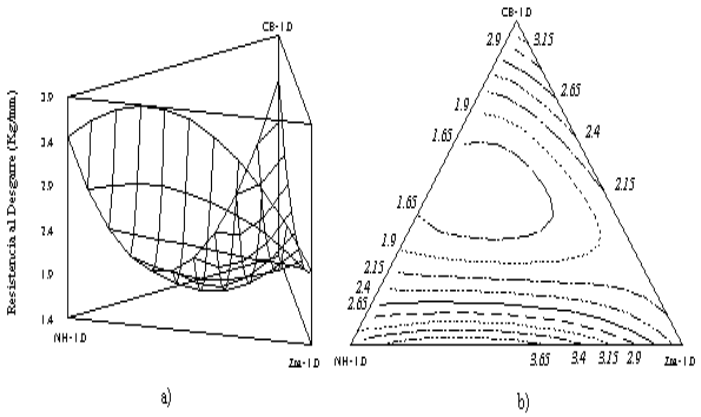


Figura 4 – Influencia del tipo de relleno sobre la resistencia al desgarre.
a) Superficie de respuesta. b) Gráfico de isodesgarre.

La resistencia a la fatiga resulta la de mayor importancia para los materiales estudiados, de acuerdo con la aplicación a la cual se destinan.

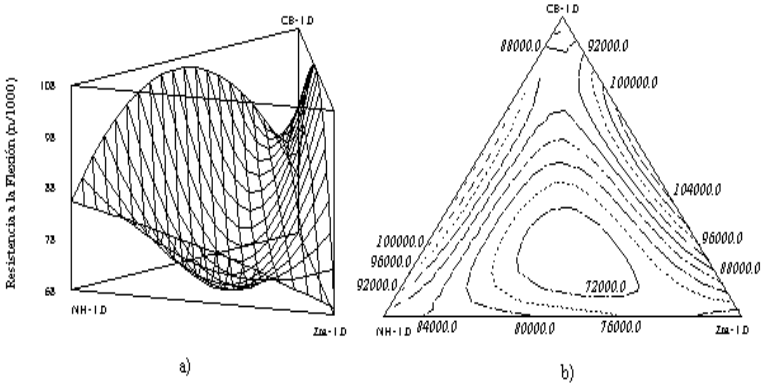


Figura 5– Influencia del tipo de relleno sobre la resistencia a la fatiga.
a) Superficie de respuesta. b) Gráfico de isofatiga.

En la figura 5 se observa una especie de franja central en la cual la propiedad varía de forma irregular, aumentando o disminuyendo, pero en la que se obtienen los menores valores de ésta. La gráfica b) de dicha figura representa con mayor claridad las distintas zonas de variación de la resistencia a la fatiga. Los mayores valores de dicha propiedad se obtienen para combinaciones de Zeolita y CB en el orden del 50% respectivamente; También se obtienen valores elevados cuando se combinan el NH y el CB, de forma más o menos similar.

A partir de los resultados anteriores y las restricciones establecidas se determinó la zona de composición o zona de mejor mezclado la cual brinda la posibilidad de desarrollar formulaciones con diferentes combinaciones de NH, CB y Zeolita, garantizando buenas propiedades físico-mecánicas que permitan lograr una correcta adecuación de los materiales desarrollados a las condiciones de explotación reales para las cuales serán destinados, resultando de gran interés por representar ventajas tanto tecnológicas como económicas.

El estudio de las superficies básicas de respuesta antes analizadas a partir de los modelos empírico-matemáticos obtenidos para cada propiedad, permite arribar a la mejor región de mezclado

correspondiente a las variables estudiadas. Para ello, es necesaria la valoración de las variables respuestas que mayor peso tienen, de acuerdo con las condiciones de explotación a que están sometidos los rodillos de los transportadores de bandas.
En nuestro caso, tal y como ya se ha referido con anterioridad, se requiere de valores de IRA y de resistencia a la fatiga, tan elevados como tecnológicamente sean posibles, sin descuidar el aspecto económico. Los valores de dureza requeridos están en el orden de los 86-87 Shore A. Así mismo, se requieren valores de resistencia a la tracción que cumplan con las exigencias normadas para este tipo de materiales. Tomando en cuenta todas estas consideraciones, se obtuvo el siguiente resultado (Fig. 6):

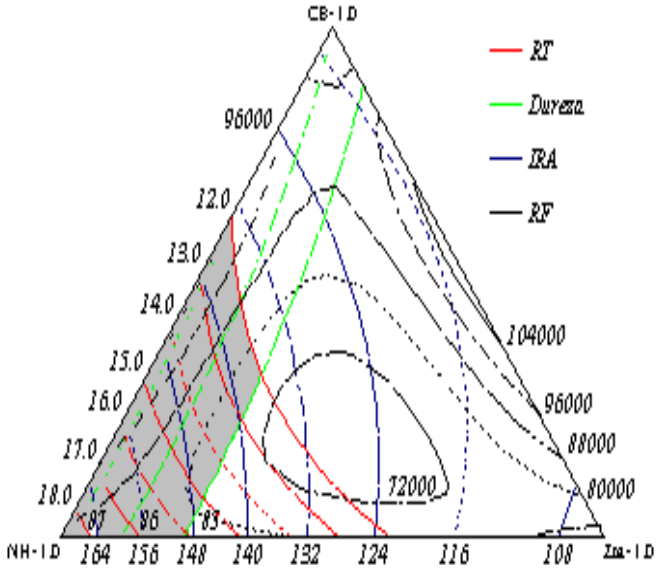


Figura. 6 – Gráfico de Isopropiedades.

La parte sombreada de la figura 6 representa la zona de composición que satisface el sistema de restricciones asignado a cada propiedad.
De acuerdo con este resultado, se pueden emplear tanto el CB como la Zeolita natural en calidad de sustitutos de NH en las formulaciones de compuestos elastoméricos, aunque ésta última sólo en pequeñas proporciones, con lo cual se puede lograr una considerable disminución de los costos de las formulaciones sin afectar significativamente las propiedades físico-mecánicas de las mismas. De todas formas, sigue siendo indispensable el empleo de este relleno (NH), por las buenas propiedades que transmite a las mezclas.

Conclusiones.

1. Del comportamiento de la influencia del Negro de Humo HAF, el Carbón Blanco y la Zeolita se puede concluir que con el Negro de Humo HAF, la resistencia a la tracción y el índice de resistencia a la abrasión aumentan; con el Carbón Blanco el efecto es similar, con la diferencia de que las propiedades son un poco más bajas, obteniéndose los peores resultados cuando utilizamos Zeolita
2. Los estudios de las formulaciones muestran la factibilidad de la utilización del Carbón Blanco y el Negro de Humo HAF en mezclas elastoméricas, al influir éstos de forma positiva sobre las propiedades físico-mecánicas de las mezclas de goma

3. La zona de mezclado propuesta permite variar las proporciones de los rellenos estudiados para arribar a compromisos entre las propiedades físico-mecánicas y tribológicas a obtener en los compuestos desarrollados y el no menos importante aspecto económico
4. Se obtuvieron los modelos empírico-matemáticos que permiten estudiar la influencia de las variables objeto de estudio sobre las propiedades físico-mecánicas de las mezclas en el rango de valores experimentales para los cuales se realizaron los ensayos

Referencias.

1. Álvarez, G. E. (1996) Capacidad de resistencia a la abrasión de materiales elastoméricos con la zeolita como relleno. Revista Construcción de Maquinaria.
2. Álvarez G. E. (1994) Estudio de la influencia abrasiva de la zeolita sobre los materiales de los molinos mezcladores de goma. Revista Construcción de Maquinaria No. 3.
3. Álvarez, G. E. (1992) Evaluación tribológica de nuevo material compuesto base caucho. Informe de Investigación Terminada. CDICT. UCLV.
4. Álvarez G. E. (1995) Importancia de la Zeolita como relleno en materiales elastoméricos base caucho. Informe de Investigación Terminada. CDICT. UCLV
5. Álvarez G. E. (1995) Material elastomérico para la fabricación y recuperación de rodillos de las máquinas hiladoras y manuares de la industria textil Sakenaf. Ponencia X Forum Provincial de Ciencia y Técnica.
6. Álvarez G. E. (1993) Reforzamiento del caucho y el poliisopreno con la zeolita para la fabricación y recuperación de calzado rústico vulcanizado. Ponencia VIII Forum Provincial de Ciencia y Tecnología. Santa Clara.
7. Álvarez, G. E. (1992) Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación. Ediciones UCLV.
8. Pérez, L. M. (1990) La utilización de las zeolitas en la tecnología de los elastómeros. Revista Química.
9. Riajovsky, A. M. (1989) Cálculo del coeficiente de fricción en materiales de construcción. Trenie y Iznos. Tom. 10, No. 5. pp. 852-860
10. Vlasov, V. A. (1986) Rozamiento entre goma-acero en condiciones de compresión volumétrica, Tom. VII, No. 3, pp. 537-541

FUNCIONALIZACIÓN DEL BAGAZO CON GRUPOS AMINO TERCIARIO, SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AZUCARERA
FUNTIONALIZATION OF BAGASSE WITH TERTIARY AMINO GROUPS, ITS APPLICATION IN THE SUGAR INDUSTRY

Vivian León, Raúl Hernández, Rubén Monduí, Raydel Villafranca, Enma Peña, Amalia Cámara, Dayamí Borges

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). La Habana, Cuba.
Correo electrónico: vleon69@yahoo.com

RESUMEN

En este trabajo se estudian las condiciones para la obtención de un intercambiador aniónico a partir de la modificación química de la fracción fibrosa del bagazo por eterificación en medio básico. Se evalúa la influencia que ejercen en la sustitución los parámetros concentración de hidróxido de sodio, la relación molar celulosa/clorhidrato de dietilaminoetilamina y el tiempo de reacción. Mediante la determinación del contenido de nitrógeno se obtuvo un estimado del grado de sustitución en cada caso. Se demuestra que el producto obtenido pudiera emplearse en la industria azucarera para remover de las soluciones azucaradas los compuestos coloreados de tipo iónico que si no se eliminan quedarían incluidos en los cristales, haciendo que el azúcar pierda calidad y no resulte atractiva al consumidor.

Palabras clave: bagazo, intercambiador iónico, decoloración

ABSTRACT

In this paper, the conditions for obtaining an anionic exchanger based on the chemical modification of the fibrous fraction of bagasse by etherification in basic medium are studied. It evaluates the influence parameters concentration of sodium hydroxide, the molar ratio cellulose/diethylaminoethylamine hydrochloride and the reaction time in the substitution. By determining the nitrogen content was obtained a degree of substitution estimated in each case. Demonstrates that the product obtained could be used in the sugar industry for the removal of colored compounds of ionic type in sugar solutions; which, if they are not removed, they would be included in the sugar crystals, causing loss of quality and is not attractive to consumers.

Keywords: bagasse, ionic exchange, decolorization

INTRODUCCIÓN

El azúcar es uno de los productos de importancia para el desarrollo comercial en el continente americano, siendo uno de los componentes más importantes y universalmente utilizados en la dieta humana por ser fuente de calorías. Su calidad se incrementa cada vez más de acuerdo al grado de competitividad, sobre todo con los precios relativamente elevados de los últimos tiempos.

Esta realidad es el escenario donde tenemos que competir en el presente. Esto se podrá lograr sólo sobre la base de mayor eficiencia y calidad que permitan alcanzar costos competitivos y acceso a mayor número de mercados. Producir azúcar de bajo color es una necesidad de primer orden para garantizar la inserción y competitividad en el mercado internacional.

Durante el proceso de producción se extraen de la caña sustancias coloreadas que pasan a formar parte del jugo y además se forman otras como resultado de las reacciones químicas que ocurren entre algunos de los no-azúcares que ya están presentes o que se originan en el proceso. Dichas sustancias son indeseables, al conferirle al producto una coloración oscura que va en detrimento de su calidad.

Los compuestos fenólicos y los flavonoides, son los responsables de aproximadamente dos tercios del color del azúcar crudo. Los primeros son compuestos generalmente incoloros, pero Godshall (1988) reportó que se oxidan o reaccionan con aminas o hierro, formando compuestos coloreados durante el proceso. Los flavonoides son polifenoles existentes en la caña, responsables de reacciones de pardeamiento enzimático durante el proceso de elaboración de azúcar, Davis (2001).

Los compuestos antocianos, según Legendre (1999), están relacionados con los pigmentos de las plantas y varían de color entre rojo, rosa o anaranjado bajo ciertas condiciones, tales como acidez, calor y enfermedades, y están relacionados con los polisacáridos de la caña. Aunque su concentración no causa efectos negativos durante la fabricación de azúcar, sí influyen en el color del jugo. Mersad (2003), reportó a las melanoidinas como sustancias coloreadas que se obtienen como producto de la reacción de Maillard y que también son causantes de la coloración de los jugos.

Varios son los métodos que se emplean para decolorar soluciones azucaradas, entre ellos los intercambiadores iónicos cuya aplicación en la industria azucarera tiene sus orígenes cuando Adams y Holmes (1935) introdujeron por primera vez los intercambiadores iónicos orgánicos y posteriormente se reconocieron sus potencialidades en el tratamiento de jugos azucarados.

La materia colorante del azúcar es parcialmente aniónica, por lo que los intercambiadores aniónicos en forma de cloruros son eficientes para remover color. En ocasiones se emplean combinados con una resina catiónica, de manera que la extracción de cenizas se hace eficientemente Smit (1951). Este último aspecto fue abordado por Bento (1998).

Bento (1992) mostró que los colorantes aniónicos anfifílicos pueden intercambiarse en dependencia de su forma iónica. Esto dependerá del pH del licor y de los otros compuestos orgánicos e inorgánicos presentes. Por esta razón Getaz (1989) recomendó que un pH para el licor entre 8 y 9 de manera que se logre un incremento en la ionización de los colorantes y una mejor remoción mediante intercambio iónico.

Clarke (1996) reportó el empleo del dietilaminoetil celulosa en la remoción del color y la turbidez de soluciones de azúcar cruda, siropes y jugos. Se plantea que el modo de acción del material en la remoción del color se consigue por la combinación del intercambio iónico y la permeación por gel, mientras que la turbidez está aparentemente acompañada por remoción física de las partículas en suspensión que estén cargadas y por tanto quedan adsorbidas en los sitios cargados del intercambiador.

El objetivo de este trabajo es estudiar las condiciones para la obtención de un intercambiador aniónico a partir de la modificación química de la fracción fibrosa del bagazo por eterificación en medio básico y demostrar cualitativamente su potencialidad en la decoloración de soluciones azucaradas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó bagazo de la caña de azúcar proveniente del CAI Manuel Fajardo; hidróxido de sodio (BDH); clorhidrato de dietilaminoetilamina (Fluka); ácido clorhídrico y ácido sulfúrico (Merck).

Desmedulado, molida y clasificación del bagazo: El método empleado fue desmedulado en suspensión. Posteriormente la fracción fibra obtenida se secó, se molió y se tamizó para emplear en este trabajo la fracción 0,5-1,6 mm.

Obtención del DEAE-bagazo.
Etapa de activación con hidróxido de sodio:

En un balón de 500 mL se añadieron 20 g de bagazo y 230 mL de agua desionizada, la mezcla se comenzó a agitar y poco a poco se adicionaron 10, 20, 30, 40 y 50 mL de una solución de hidróxido de sodio 6 N. Se mantuvo la agitación durante 30 minutos a temperatura ambiente, a continuación se añadió la cantidad de eterificante correspondiente, se elevó la temperatura hasta 80°C y se mantuvo el sistema bajo estas condiciones durante 1h. Posteriormente se enfrió, se anotó el pH final y se añadió ácido clorhídrico 1N hasta franca acidez. El producto entonces se neutralizó, se lavó con etanol y se secó en estufa a 50°C.

Variación de condiciones experimentales:

Se estudió la influencia de las variables: tiempo y relación molar celulosa/eterificante a los dos volúmenes de NaOH que mejores respuesta aportaron en cuanto al contenido de nitrógeno. Las experiencias se realizaron empleando relaciones 1/1 (10,3 g) y 1/2 (20,6 g), permitiendo que la reacción ocurriera durante 30, 60 y 120 min respectivamente.

Determinación del contenido de Nitrógeno.

Como estimación del grado de sustitución se determinó el nitrógeno inorgánico por el método Kjeldahl empleando un digestor K 436 con unidad de destilación k-350, marca Buchi.
Evaluación del rango de pH de trabajo del producto obtenido.

El rango de pH de trabajo se determinó a partir de la obtención de la curva de valoración donde el producto francamente ácido fue valorado con NaOH 0.1 N en presencia de KCl 1 N, realizándose las correspondientes lecturas de pH en cada caso.

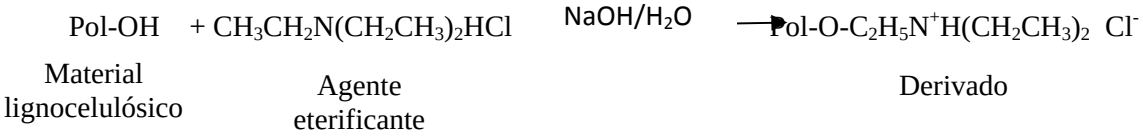
Potencialidad del DEAE-bagazo en la industria azucarera

La efectividad decolorante del producto se evaluó en jugo mezclado y en una solución de azúcar crudo a 20 Bx, siguiendo el procedimiento siguiente: A 100 mL de cada solución se le adicionó el producto en cantidades de 1,0, 2,0 y 3,0 g. La mezcla se agitó mecánicamente durante 20 minutos y se filtró.
En cada caso, al filtrado se le determinó el color a 10 Bx con un valor de pH de 6.00 midiendo la absorbancia a 420 nm y a 660 nm, según un método de ensayo en la determinación de azúcar crudo de bajo color, Monduí (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El reactivo eterificante puede reaccionar con los grupos hidroxilo de la celulosa, la lignina y las hemicelulosas para formar los correspondientes derivados eterificados, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Representación esquemática de la reacción química

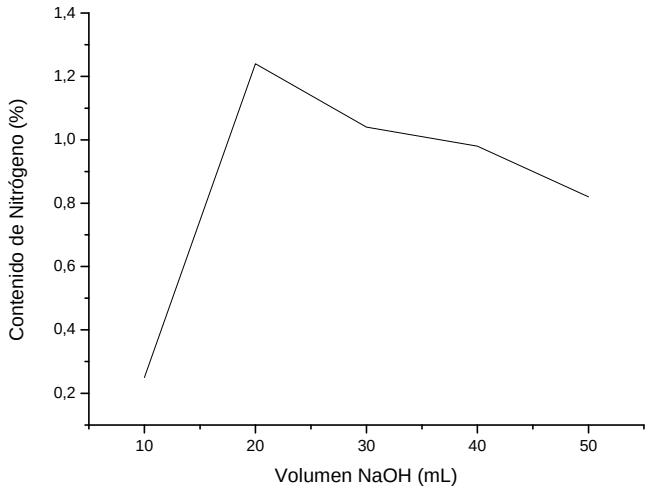


Etapa de activación con hidróxido de sodio

En la figura 2 se representan los valores de nitrógeno obtenidos al variar la concentración del hidróxido de sodio durante la primera etapa correspondiente con la activación del material. Es posible apreciar que el contenido de nitrógeno comienza a incrementarse al aumentar la concentración de la base para después disminuir.

La mayor sustitución se logra cuando se obtiene un contenido de nitrógeno de 1,24% al añadir 20 mL de NaOH. Con adiciones superiores el porciento disminuye, probablemente por no conseguirse una mayor preparación del material para la reacción de eterificación, sino el favorecimiento de reacciones colaterales o una mayor degradación.

Figura 2. Contenido de nitrógeno vs volumen de NaOH



Variación de condiciones experimentales:

La tabla I resume las experiencias realizadas y el contenido de nitrógeno obtenido en cada una de ellas.

Tabla I. Condiciones experimentales y contenido de nitrógeno obtenido

Exp.	NaOH (mL)	DEAE (g)	t (min)	% Nitrógeno
1	20	10,3	30	1,11
2	20	10,3	60	1,24
3	20	10,3	120	0,97
4	20	20,6	30	0,34
5	20	20,6	60	0,49
6	20	20,6	120	0,41
7	30	10,3	30	1,03
8	30	10,3	60	1,04
9	30	10,3	120	0,80
10	30	20,6	30	1,62
11	30	20,6	60	1,83
12	30	20,6	120	1,30

De los resultados anteriores se aprecia que en todos los casos el porciento de nitrógeno aumenta cuando se incrementa el tiempo de reacción de 30 a 60 min. Sin embargo, a los 120 min el valor disminuye por lo que la reacción de eterificación no se ve favorecida y probablemente el reactivo es consumido en reacciones colaterales.

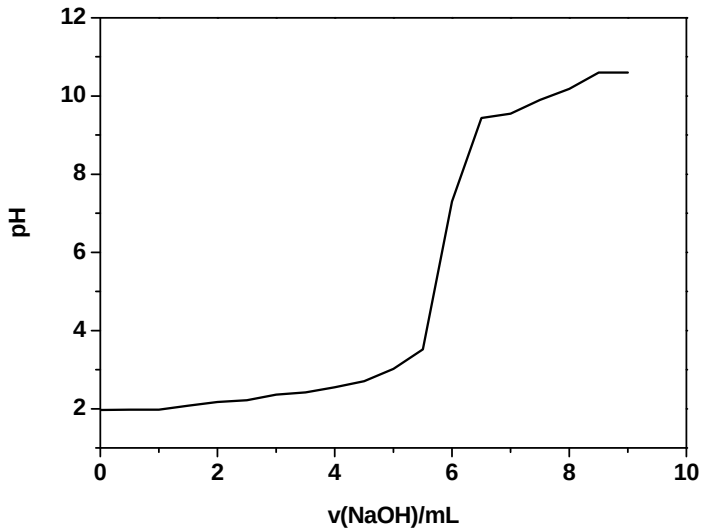
Al aumentar la relación molar celulosa/eterificante se consigue mejor sustitución, lo cual se refleja en un incremento del porciento de nitrógeno hasta valores de 1.83 % bajo las condiciones del experimento 11. En el caso de las experiencias 4-6 no se obtuvieron los resultados esperados. A pesar de ser ejecutadas empleando relación molar 1/2 fueron las que menor respuesta aportaron, esto puede encontrar su explicación en el hecho de que la reacción en ningún caso terminó básica por lo que muy posiblemente la activación no fue lo suficientemente efectiva, resultando insuficiente para favorecer la reacción la cantidad de hidróxido de sodio añadida.

Evaluación del rango de pH de trabajo del producto obtenido.

La curva de valoración de la figura 3 muestra el rango de pH de trabajo. La zona de linealidad (pH = 3-9) se corresponde con la ionización de los grupos cargados del intercambiador, y por tanto con las mejores condiciones para trabajar con él. El comportamiento observado es característico de los intercambiadores débiles, los cuales no están ionizados en todo el intervalo.

En las soluciones azucaradas, los valores de pH se encuentran en este intervalo, lo cual no debe por tanto conllevar a ajustes previos al contacto con el material. En caso de que los valores estuvieran fuera del intervalo óptimo de trabajo no es recomendable emplear el intercambiador, pues su capacidad de intercambio se vería comprometida.

Figura 3. Curva de valoración del intercambiador con NaOH 0.1 N en KCl 1N.



Potencialidad del DEAE-bagazo en la industria azucarera

La tabla II resume los resultados obtenidos al tratar la disolución de azúcar crudo y el jugo mezclado con el producto obtenido en el experimento 2.

Tabla II. Resultados obtenidos en la decoloración de la solución de azúcar y crudo y de jugo mezclado empleando el producto obtenido.

	(g DEAE-bagazo/100 mL de solución)	Abs 420 nm	Abs 660 nm	% decoloración 420 nm	% decoloración 660 nm
Soluciones ensayadas	0	0,187	0,035	-	-
Solución de azúcar crudo	1	0,103	0,03	44,92	14,29
	2	0,086	0,022	54,01	37,14
	3	0,072	0,019	61,50	45,71
Jugo mezclado	0	1,381	0,185	-	-
	1	0,883	0,109	36,06	41,08
	2	0,816	0,101	40,91	45,41
	3	0,702	0,093	49,17	49,73

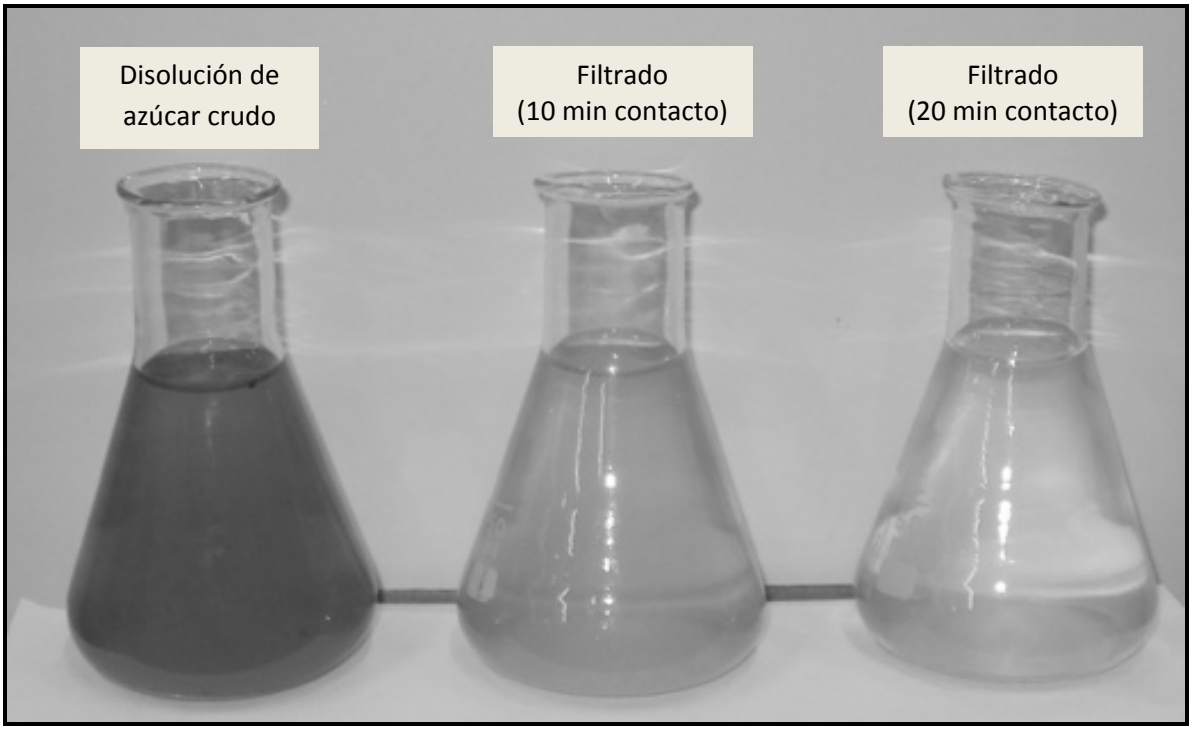
En la tabla anterior se puede apreciar que el porciento de decoloración a 420 nm se encuentra entre 45 y 61% para la solución de azúcar crudo y entre 36 y 49 % para el jugo mezclado. En el caso de las lecturas realizadas a 660 nm la remoción varía desde 14 a 45% para el crudo y desde 41 a 49% para el jugo, en dependencia de la relación empleada.

La remoción de color en el jugo mezclado es menor que en el crudo. Esto puede atribuirse a que el DEAE-bagazo remueve precursores en el jugo mezclado y en el azúcar crudo los precursores ya han sido convertidos en color.

Los resultados anteriores permiten corroborar la potencialidad del material en la eliminación de los compuestos de tipo iónico y coloreado en el jugo mezclado y los que quedan incluidos en los cristales de azúcar. Todos ellos como ya se había planteado conspiran en contra de la calidad del azúcar.

La fotografía 1 muestra cualitativamente la decoloración que se alcanza al poner en contacto la disolución de azúcar crudo con el producto obtenido (Exp 2). No se apreció turbidez aparente en la solución después de la filtración.

Fotografía 1. Decoloración de la disolución de azúcar crudo con el producto obtenido



CONCLUSIONES

1. El método resultó apropiado para funcionalizar al bagazo con grupos intercambiadores amino terciario.

2. Al aumentar la relación molar celulosa/eterificante se consigue mejor sustitución, lo cual se refleja en un incremento del porciento de nitrógeno.

3. El grado de sustitución aumenta al incrementarse el tiempo de reacción de 30 a 60 min. Sin embargo, a los 120 min el valor decae.

4. En el material los grupos cargados se mantienen ionizados en el rango de pH entre 3-9, por lo tanto estas son las mejores condiciones para emplearlo.

5. El producto obtenido resultó efectivo para la remoción de color en jugo mezclado y en soluciones de azúcar crudo.

REFERENCIAS

1. Adams, B. A.; Holmes, E. L. (1935), J. of Soc. Chem. Ind. 54.
2. Bento, L. (1992). Proc. Sug. Ind. Technol. 51, 201-220.
3. Bento, L. (1998), Int Sugar J. 100 (1191), 111-117.
4. Clarke, G. (1996). U.S. Patent. 5504196, April 2.
5. Davis, SB. (2001). Communications from the Sugar Milling Research Institute. 169, 25.
6. Fechter, W. L. (2001). Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 24, 100-107.
7. Getaz, MA. (1989). Sugar Milling Research Institute. Technical Report. 1533, 22.
8. Godshall, M. A; B. Legendre. (1988). Int. Sugar J. 90 (1069), 16-19.
9. Legendre, B. L.; Clarke, M. A.; Godshall, M. A.; Grisham, M. P. (1999). Zuckerindustrie. 124 (2), 120-125.
10. Mersad, A.; Lewandowski, R.; Heyd, B.; Decloux, M. (2003). Int. Sugar J. 105 (1254), 269-281.
11. Monduí, R. y col. (2008). Informe final proyecto ICINAZ 2008.
12. Smit, P. (1951), U.S. Patent. 2, 564, 820. August 21.

REMOCION Y PREVENCION DE INCRUSTACIONES EN LAS FÁBRICAS PRODUCTORAS DE AZUCAR DE CAÑA

SCALE REMOVAL AND SCALE PREVENTION IN CANE SUGAR FACTORIES

Dirk Großmann, KEBO GmbH&Co.KG, Düsseldorf, Germany, dgrossmann@kebo.de
Manuel Pelaez, KEBO GmbH&Co.KG, Dusseldorf, Germany, pelae03z@gmail.com

Abstract

Chemical cleaning of evaporators is more effective and less dangerous for workers than mechanical cleaning with high pressure water systems or brushing. Approved methods of chemical cleaning for different scale compositions are shown.
Because reducing the scale formation gives more benefit to sugar factories than scale removal successful applied methods for scale prevention are shown including the application of antiscalent and optimization of juice purification.

Introducción

Chemical cleaning of evaporators is more effective and less dangerous for workers than mechanical cleaning with high pressure water systems or brushing. Approved methods of chemical cleaning for different scale compositions are shown.
Because reducing the scale formation gives more benefit to sugar factories than scale removal successful applied methods for scale prevention are shown including the application of antiscalent and optimization of juice purification.

La formación de incrustaciones es un problema importante en las fábricas de azúcar de caña. Las incrustaciones que bloquean la transferencia de calor se forman rápidamente en evaporadores e intercambiadores de calor y causan varias paradas durante la temporada de molienda para su eliminación. Dependiendo de la calidad del jugo y el diseño del evaporador se han encontrado intervalos de paradas para la limpieza química que oscilan entre 7 y 30 días.

En base a nuestra experiencia en la industria azucarera durante más de 40 años presentaremos métodos para la eliminación de las incrustaciones y para la prevención de las mismas.

Materiales y Métodos

Todos los análisis fueron realizados en los laboratorios KEBO, en Düsseldorf, Alemania. Para la identificación de metales y elementos, se utilizó tecnología ICP, aplicando métodos normalizados especificamente modificados por el laboratorio analítico de KEBO respecto a los análisis para incrustaciones en fábricas de azúcar.

Para la identificación de aniones se aplicó tecnología de cromatografía iónica aplicando igualmente métodos normalizados específicamente modificados.

Los productos utilizados para la limpieza química; hidróxido de sodio, ácido fórmico, ácido sulfámico y ácido clorhídrico, fueron de grado técnico suministrados por diferentes proveedores locales en cada uno de los países de aplicación.

Los productos químicos especiales utilizados, comercialmente disponibles, fueron todos producidos por KEBO GmbH & Co.KG, Düsseldorf, Alemania, y fueron los siguientes:
- Agente secuestrante y humectante KEBOPLEX SC
- Inhibidor de la corrosión para ácido fórmico y sulfámico LITHSOLVENT CS
- Inhibidor de la corrosión para ácido clorhídrico LITHSOLVENT 620
- Antiincrustante KEBO DS
- Floculante KEBOFLOC 402
- Antiespumante KEBOSPUM KIS

Resultados y Discusión

1 Limpieza Química

La principal razón para la eliminación de las incrustaciones formadas durante la operación es la reducción de la transferencia de calor que estas causan. La Tabla 1 muestra la reducción que exaperimenta la transferencia de calor por las incrustaciones en función del espesor de la misma. Incrustaciones de mas de 1.0 mm son comunes en fábricas de azúcar de caña y con frecuencia se forman rapidamente.
Las incrustaciones son frecuentemente eliminadas por una combinación de tratamiento químico y mecánico. Aunque la limpieza mecánica es la única opción para eliminar obstrucciones después de un accidente o falla en la operación, cuando se aplica regularmente toma demasiado tiempo además de ser peligrosa para los trabajadores que la realizan con empleo de agua caliente a alta presión. Otra desventaja adicional es que elimina solamente las incrustaciones depositadas sobre la superficie de calentamiento y deja el resto de las instalaciones del evaporador incrustadas. Con el tiempo estas incrustaciones se desprenden y caen en el jugo, son transportadas y pueden causar nuevas tupiciones en tuberías.

Table 1: Heat Transfer at clean and scaled Heating Surfaces (Schneider 1968).

K_{clean} [$Wm^{-2}K^{-1}$]	Scale thickness [mm]	K_{scaled} [$Wm^{-2}K^{-1}$]	$\frac{K_{scaled}}{K_{clean}} * 100$ [%]
3000	0.1	2609	87
	0.2	2308	79
	0.5	1714	57
	0.6	1579	52
	1.0	1200	40
2000	0.1	1818	91
	0.2	1667	83
	0.5	1333	67
	0.6	1250	63
	1.0	1000	50

Para la eliminación química de las incrustaciones es importante identificar su composición. Además de algunos orgánicos los compuestos principales encontrados han sido Oxalato de Calcio, Fosfato de Calcio, Carbonato de Calcio, Sulfato de Calcio, Sulfito de Calcio y Silicatos.

La composición de las incrustaciones muestra gran variación de un área a otra y de un vaso a otro aún en la misma fábrica. Ambos hechos se muestran en la Tabla 2.

Table 2 (Part 1): Scale Compositions as analysed in the KEBO Laboratory

Country	Effect 1						Effect 2					Effect 3						Effect 4						Effect 5		
	CO_3	SO_3	SO_4	Ox	PO_4	SiO_2	CO_3	SO_4	Ox	PO_4	SiO_2	CO_3	SO_3	SO_4	Ox	PO_4	SiO_2	CO_3	SO_3	SO_4	Ox	PO_4	SiO_2	CO_3	Ox	SiO_2
Afghanistan	32	28		35																						
Brazil					44					35 35		8	51 35			13 20		11	43 34				13 13			
Colombia				27	24						88						78									
Cuba															54		24			27	15					
India	16			13	52		19	13		50 40		18 13 67	17	13	55 48	10 16 38	13	14 17 15	74	58 34	65 60 28	12	10	10	40	19
Indonesia	86		24		19							15		27			21	17		20 37			28 22			
Ivory Coast				58 60					80 89						71 74		8 13				41 54		38 32			

Table 2 (Part 2): Scale Compositions as analysed in the KEBO Laboratory

Country	Effect 1				Effect 2					Effect 3						Effect 4						Effect 5			
	CO_3	Ox	PO_4	SiO_2	CO_3	SO_4	Ox	PO_4	SiO_2	CO_3	SO_3	SO_4	Ox	PO_4	SiO_2	CO_3	SO_3	SO_4	Ox	PO_4	SiO_2	SO_4	Ox	PO_4	SiO_2
Pakistan			16	16							70	73				33		42	30		20				
Philippines		16	64				13	51					95						40		40				
Salvador		19	20				21	24					22		20				43		20				
South Africa		36	58				14 28 42	15 30 33	40 11				20 89 30 31		50 56 52			49	12 44 28	52	58 49 66 20	79 67	46	12	42 64
Thailand	39		23	22	39			53	35	42 32				34	32	39 40 22 43			47		30 25 28		52		

La eliminación de las incrustaciones frecuentemente no se completa en una sola etapa y necesitan una combinación de tratamiento alcalino y ácido para lograr una superficie limpia. El orden y detalles de ambos tratamientos dependen de la composición de la incrustación. No existe una incrustación típica para fábricas ni para vasos y tampoco un procedimiento típico de limpieza. Los procedimientos que se muestran a continuación dan una información general , pero no reemplazan el análisis de las incrustaciones y la recomendación individual de limpieza para una fábrica específica.

La limpieza química con aditivos especiales tiene por objetivo obtener superficies limpias al final del tratamiento. Su aplicación NO se realiza para ablandar o suavisar la incrustación durante cualquier etapa del tratamiento químico para posteriormente continuar con cepillado, hydro jet u otro procedimiento de limpieza mecánica.

1.1 Limpieza Alcalina

La limpieza alcalina se utiliza para cualquier equipo incrustado de la fábrica como evaporadores, intercambiadores de calor, tachos y otros. Basado en la experiencia práctica adquirida en la industria de la caña de azúcar, la limpieza química frecuentemente comienza con la etapa alcalina. Una solución alcalina efectiva es:

NaOH	5 %
Na_2CO_3.	5 %
Agente secuestrante	0.8%
Agente humectante	0.7%

Carbonato de sodio se añade para transformar los compuestos insolubles de calcio como el oxalato en carbonato: $CaOx + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3$

La sosa caústica (NaOH) proporciona el medio alcalino apropiado para esta reacción y para actuar sobre los compuestos orgánicos.

El agente humectante se añade para reducir la tensión superficial y facilitar la penetración de la solución química, de forma que esta reacción química no tenga lugar

sólo sobre la superficie de la misma. El agente secuestrante se añade para romper la estructura de la incrustación, dispersar las partículas y disolver los compuestos de calcio. La acción secuestrante y humectante puede ser realizada por un único producto que combina ambos efectos.

Es importante enjuagar con agua caliente o hervir los evaporadores después del tratamiento alcalino. Incrustaciones adicionales se eliminan con este enjuague.

El método de limpieza alcalina puede ser utilizado para la eliminación de azúcar caramelizada y también del carbón de azúcar, siempre y cuando los tubos no estén bloqueados. La solución alcalina para esta aplicación es similar a la señalada anteriormente, sin carbonato de sodio y reforzando el agente secuestrante.

1.2 Limpieza Acida

Carbonato de calcio y otras sales solubles de calcio pueden ser fácilmente eliminadas por medio de la limpieza ácida con una solución de ácido al 5%. Además de razones económicas la selección del ácido para la limpieza química depende de la composición de la incrustación. Acidos típicos son el ácido fórmico y el ácido sulfámico. El ácido clorhídrico puede ser utilizado siempre que la instalación no contemple acero inoxidable. Durante la limpieza el consumo de ácido debe ser comprobado mediante titulación y si la concentración cae por debajo del 2%, ácido fresco debe ser añadido. Cuando la concentración del ácido se estabilice, la limpieza se ha completado.

Para la limpieza ácida es importante utilizar el inhibidor apropiado para proteger de la corrosión los materiales de la instalación. Ácidos sin inhibidor nunca deben ser utilizados. Comercialmente hay disponibles inhibidores de la corrosión para todos los tipos de ácidos y para cualquier clase de material encontrado en las instalaciones de la fábrica. El Diagrama 1 muestra la velocidad de corrosión del acero en un 5% de ácido fórmico con 0,25% de inhibidor y sin inhibidor.

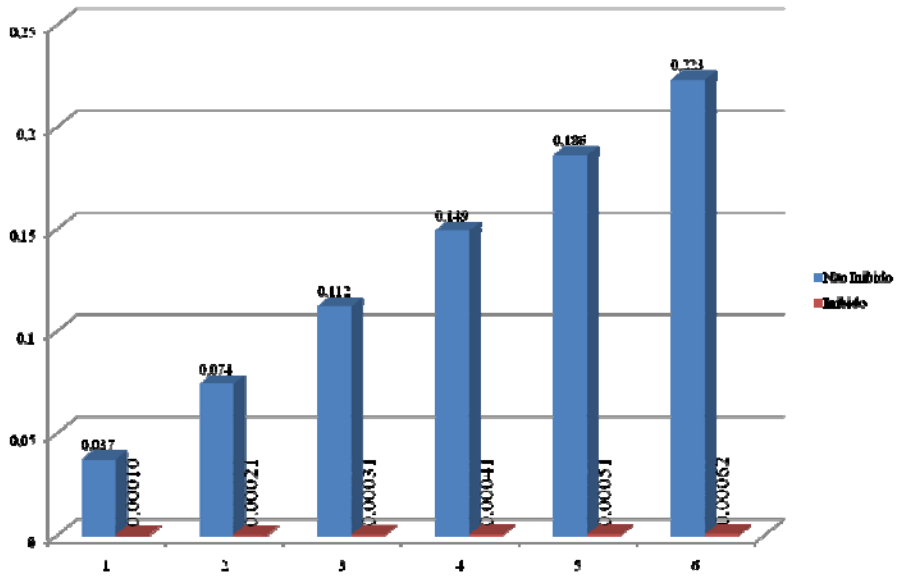


Diagram 1: Corrosion Rates with and without Inhibitor.

1.3 Sistemas CIP

Las soluciones de limpieza pueden ser aplicadas de formas diferentes. El mejor método para fábricas de azúcar de caña con alta demanda de limpieza es un sistema CIP (limpieza en lugar) con tanques de almacenamiento para las soluciones alcalinas y ácidas, bombas y tuberías para cada evaporador o intercambiador de calor.

En el evaporador la solución puede hervirse, esto significa que la solución circula igual que el jugo por una tubería de conexión desde el final del evaporador hasta el tanque de jugo claro. Esto es típico en las fábricas de azúcar de remolacha al final de la campaña. Los evaporadores pueden limpiarse independientes por hervidura o aspersión. Diagrama 2 muestra un ejemplo de sistema CIP con reutilización de soluciones de evaporadores para intercambiadores de calor aplicado en una fábrica brasileña.

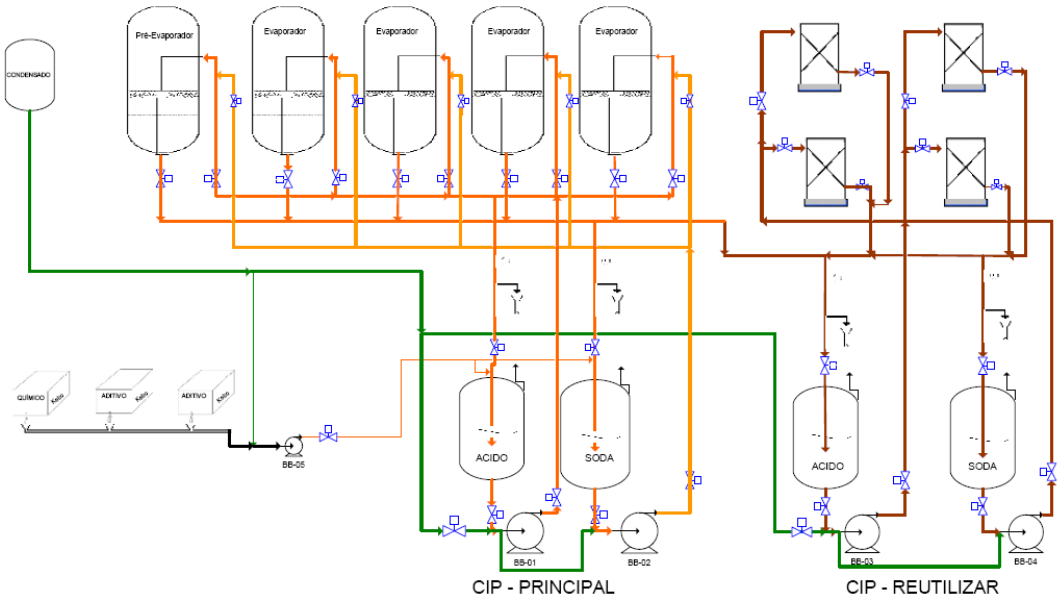


Diagram 2: CIP System used in a Brazilian Factory

2 Antiincrustante

El objetivo de la limpieza de la estación de evaporación es recuperar el valor original de la transferencia de calor, sin embargo cuando se aplica un antiincrustante que previene la formación de incrustaciones, este se mantiene en un nivel alto durante más tiempo. Mientras las fábricas de azúcar de remolacha que aplican antiincrustantes de alto rendimiento limpian por lo general sólo al final de la campaña que se extiende hasta 140 días, las fábricas de azúcar de caña tienen que parar frecuentemente para realizar limpieza química y/o mecánica durante la campaña.

2.1 Pincipio de Funcionamiento

Mientras muchos diferentes antiincrustantes están disponibles para el tratamiento del agua, la composición química de antiincrustantes para aplicación a los jugos de caña

está regulada por normas nacionales e internacionales tales como las de la FDA. Los mejores antiincrustantes para aplicar al jugo de la caña son a base de poliacrilato. Previenen la formación de incrustaciones estabilizando las pequeñas y aún invisibles micro cristales de sales de calcio que se forman durante la evaporación y concentración del jugo. Sin antiincrustante los micro cristales crecen, se unen y de esta manera forman la incrustación. Un extremo de la cadena molecular del antiincrustante es capaz de adherirse a la superficie de estos micro cristales y evitar puedan continuar creciendo. Esto mantiene los micro cristales estables en el jugo de forma tal que desde el punto de vista técnico se comportan como si estuvieran disueltos. La estabilización de estos microcristales de calcio se mantiene durante todo el proceso y salen del mismo con las melazas o mieles finales, nunca con el azúcar.

2.2 Control de la Aplicación de Antiincrustantes sin abrir el Evaporador

Durante la operación, un evaporador no se puede abrir para observar la formación de incrustaciones. Sin embargo, la formación de inscrustaciones puede ser comprobada por la observación de sus efectos negativos.

La razón de evaporación puede ser determinada mediante la medición de sustancia seca del jugo (Brix) en la entrada y salida del evaporador si el vapor suministrado (consumo de vapor) se mantiene constante.

Frecuentemente una fábrica trata de lograr la evaporación deseada (sustancia seca en la salida) aumentando la cantidad de calor, es decir el suministro de vapor. La mayor cantidad de vapor necesaria para una determinada evaporación da como resultado un aumento en el diferencial de presión Δp o en el diferencial de temperatura ΔT . Ambos indicadores son monitoreados por sistemas tradicionales de control del proceso o manualmente registrados por el operador. Si no hay otras razones para estas alteraciones, la formación de incrustaciones se puede seguir mediante la comparación de estas cifras. Generalmente, durante un período corto de tiempo la diferencia de presión puede mostrar fluctuación, lo que puede ser provocado por la misma operación o por otros problemas en el área. Por lo tanto para comprobar la formación de incrustaciones, la tendencia de Δp y ΔT durante un tiempo importante debe ser considerada.

Para seleccionar la dosificación correcta del antiincrustante base poliacrilato, es importante conocer el contenido de calcio del jugo porque el calcio es la parte mas importante de los compuestos formadores de incrustaciones. Por lo general, no existe una fuente adicional de calcio durante el proceso de evaporación. Por lo tanto, el contenido de calcio del jugo clarificado es el factor más importante para determinar la tasa de dosificación del antiincrustante. La diferencia del contenido de calcio entre el jugo denso y el jugo claro, cuando se calculan base materia seca, también pueden indicar la formación de incrustaciones.
El contenido de calcio del jugo se realiza por titulación con EDTA como se describe y acepta por ICUMSA.

3 Influencia de la Purificación del Jugo sobre la Incrustación en el Evaporador

3.1 Floculante

Los floculantes se utilizan para mejorar la sedimentación de la precipitación primaria del fosfato de calcio y otras impurezas durante el proceso de purificación del jugo. Casi todas las fábricas de azúcar de caña con clarificación por sedimentación utilizan polialcrilamidas aniónicas de alto peso molecular y de baja a media densidad de carga iónica. Los floculantes se venden en estado de polvo y tienen que ser disueltos en agua antes de su uso. Durante el tiempo de disolución de aproximadamente una hora la solución deberá ser agitada para evitar la formación de aglomerados de floculante en el agua. La concentración de la solución de floculante listo para su aplicación es de aproximadamente 0,1%.

La solución del floculante debe ser dosificada en un punto de alta turbulencia para asegurar una mezcla óptima de la solución altamente viscosa en el jugo y una buena floculación. La dosificación de la solución en puntos de baja turbulencia da como resultado mezclas débiles y una floculación incompleta. Para evitar la destrucción de los flóculos, las turbulencias después de la mezcla deben ser evitadas.

3.2 Antiespumante

Si bien es muy común utilizar antiespumantes en la producción de azúcar de remolacha, no es usual en fábricas de azúcar de caña. La razón no es que la formación de espuma no ocurra durante el procesamiento del jugo de la caña de azúcar, sino que los problemas derivados de la formación de espuma no son tan evidentes como en las fábricas de azúcar de remolacha.

La formación de espuma se inicia desde los molinos, pero en la mayoría de los casos no es hasta la etapa de sedimentación donde la espuma ocasiona algún problema técnico. En el clarificador los compuestos activos de la formación de espuma en el jugo pueden causar problemas en la sedimentación. Las burbujas de aire estabilizadas por estas sustancias atrapan los flóculos y causan la flotación de una parte importante de los lodos, que de otra manera sedimentan según lo previsto. Lodos y espumas se encuentran frecuentemente en la salida del clarificador y no son totalmente eliminados por los coladores de jugo clarificado. Estas partículas de lodo entran en los evaporadores y frecuentemente se encuentran como incrustaciones de fosfato de calcio en los primeros vasos.

La aplicación de antiespumantes antes de la clarificación reduce la formación de espumas y evita la flotación del lodo. El antiespumante para esta aplicación debe ser formulado para jugos de alta temperatura y estar libre de siliconas.

Conclusión

La forma más rápida y segura para eliminar las incrustaciones en evaporadores e intercambiadores de calor es la limpieza química con soluciones alcalinas y ácidas. Con los inhibidores de la corrosión la solución ácida se puede utilizar sin ningún riesgo de pérdida del material.

Los antiincrustantes previenen la formación de incrustaciones y conservan la transferencia de calor en un alto nivel. Reducen el consumo de energía y prolongan el tiempo de los ciclos entre limpiezas. Contribuyen al buen funcionamiento de la estación de evaporación.

Las partículas de lodo que no se eliminan durante la sedimentación del jugo y pasan a través de los coladores de jugo clarificado pueden ser fuente de formación de incrustaciones en los evaporadores, sobre todo en los primeros efectos. Las partículas de lodo en el jugo clarificado pueden ser evitadas mejorando la clarificación del jugo con la correcta aplicación de floculantes y antiespumantes.

Bibliografía

Schneider, F. (ed.) 1968. Technologie des Zuckers. p. 725. Hannover, Alemania.

DETERMINACIÓN OPERATIVA DE LA VISCOSIDAD EN LAS MIELES FINALES

OPERATING DETERMINATION OF VISCOSITY IN MOLASSES

Autor : MSc Licenciado Humberto Cuellar Fariñas

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
Estación Territorial Villa Clara
Dirección de correo electrónico: laboratorio@icidca.vc.azcuba.cu

Resumen

Se plantea un método operativo para la determinación de la viscosidad en las mieles finales basado en el principio de la Ley de Stokes y que en esencia mide el tiempo de caída de un cuerpo cilíndrico metálico que es dejado caer sobre la superficie del líquido, en este caso miel final en condiciones estandarizada dado que este tiempo es proporcional a la viscosidad del producto.
Se comparan los tiempos de caída con la viscosidad hallada con un viscosímetro Brookfield a 50ºC y se establece la ecuación de correlación entre ambas variables siendo esta ecuación la siguiente: Viscosidad = 1449 * tiempo + 6992.
El método es validado encontrándose que éste presenta una precisión y exactitud adecuada para las condiciones del mismo.
El método resulta sencillo, rápido y de muy bajo costo.
La evaluación económica arroja como resultado que el método propuesto es 7 veces más barato que el método que emplea el viscosímetro Brookfield lo que significa que el país se ahorraría empleando el mismo $ 58 400 sólo por el concepto de la técnica de análisis. A esto hay que agregar todo lo que significa disponer de un método de análisis que permita alertar preventivamente situaciones anormales que nos ayudan a tomar de inmediato las medidas pertinentes y con ello reducir las pérdidas de azúcar en la miel final.
Su aplicación en la provincia de Villa Clara durante la zafra 2013 permitió disponer de una herramienta más para el análisis y la toma de decisiones para la reducción de las pérdidas de azúcar en las mieles.
Palabras claves: viscosidad, Brookfield, agotamiento, miel final

Abstract

The present paper is about an operating method for the determination of viscosity in final molasses.
This method is based on Stokes's Law and in essence measures the time of fall of a cylindrical metallic body on a liquid's surface, in this case molasses. The process occurs under standardized conditions because the time is proportional to the viscosity of the product. The fall's time of the metallic cylinder is compared with the viscosity found with a Brookfield viscosimeter at 50º C and the equation of correlation between both variables is established as the following: Viscosity = 1449 * time + 6992. The method is validated because of its adequate precision and exactness for its conditions. It is also simple, fast and in a very low- cost.
The economical analysis showed that the proposed method is seven times cheaper than the Brookfield viscosimeter's method and the country could save $ 58 400 with the application of the analysis technique proposed. Another advantage is to have a method of analysis that permits to alert about abnormal situations and to avoid losses of sugar in molasses.
Keywords: Viscosity, Brookfield, exhaustion, molasses

Introducción

La influencia de la viscosidad en el agotamiento de las mieles finales es un fenómeno conocido por todos los azucareros y citados entre otros por Rein (2002) y Chen (1991),) incluso es considerado como el segundo factor más importante que incide en las pérdidas de azúcar en la miel según cita Van der Poel (1998) . Sin embargo en la mayoría de los casos desconocemos la magnitud en que la misma está incidiendo en el bajo agotamiento y el comportamiento muy anormal de los valores de este indicador que se ha ido agravando a través de los años.
Ya desde los años 90 algunos tecnólogos venían alertando sobre el incremento de la pureza en la miel final como es el caso de Lodos (1998) y su relación con algunos factores incidentes tales como: bajos rendimientos en cristales, altos brix en los licores madres y elevadas viscosidades.
La relación de la viscosidad de la miel final con los valores de pureza de la misma es significativa según experiencias realizadas al efecto , pero la vida práctica demuestra la estrecha relación entre las mismas lo que se manifiesta durante la propia elaboración de las masas cocidas finales por parte del puntista.
Las causas de una alta viscosidad en la miel final son varias, pudiéndose resumir de acuerdo a los siguientes factores:

- Incremento de la caña atrasada en general y en particular la caña sobre carros, influenciado también por la mecanización y los Centros de Acopio.
- Bajo aprovechamiento de la molida del ingenio.
- Incremento de las materias extrañas.
- Alto tiempo de retención de los materiales en proceso.
- Violaciones de la disciplina tecnológica en las diferentes etapas del proceso.

Aunque uno de los factores fundamentales del incremento de la viscosidad en los productos azucareros lo constituye la magnitud del grado de deterioro de los mismos, hay otros aspectos como los enumerados anteriormente que pueden contribuir de igual forma a agravar este problemática.
Dada la alta incidencia que está provocando la viscosidad en el agotamiento de la miel final de manera muy marcada en los últimos años, es que se hace necesario determinar este parámetro diariamente para conocer su incidencia en el agotamiento de este producto pero al mismo tiempo poder actuar sobre los aspectos que están incidiendo en este comportamiento. Sin embargo la carencia de viscosímetros en nuestros ingenios azucareros no permite poder llevar este control de manera sistemática.
Por las razones explicadas anteriormente nos dimos a la tarea de buscar un método alternativo que permitiera hallar la viscosidad de una manera sencilla y con un grado de confiabilidad aceptable y que fuera aplicable a todos los ingenios. Para ello decidimos basarnos en el principio de la Ley de Stokes y establecimos la condiciones necesarias para medir el tiempo de caída de un cuerpo cilíndrico metálico que es dejado caer sobre la superficie del líquido, en este caso miel final, ya que este tiempo será proporcional a la viscosidad del mismo

Materiales y métodos.

Para la ejecución de nuestro trabajo se analizan 47 muestras de mieles finales producidas por los diferentes ingenios. Se caracterizan primeramente estas mieles hallándole su viscosidad con el viscosímetro Brookfiel a temperatura de 50ºC tal como se presenta por Pérez (2006).
Seguidamente se procede a hallar el comportamiento de estas mieles en cuanto al tiempo que demora en caer una bola metálica de 9 mm de diámetro y un peso de 4.5 g sobre la muestra de miel final contenida en un vaso de precipitado o beaker de 50 ml con dimensiones de 5 cm de diámetro por 7 cm de altura y a una temperatura de 32 ºC. (posteriormente analizaremos el comportamiento del tiempo de caída de la bola con la temperatura)
Se comparan los tiempos de caída obtenidos con este método que de ahora en adelante llamaremos "método propuesto" con los valores hallados de viscosidad con el viscosímetro Brookfiel a 50ºC y se determina la ecuación de correlación entre ambas variables.
Seguidamente se estudian las condiciones de trabajo del método propuesto en el cual se incluyen:

- Relación entre la viscosidad de las mieles y el tiempo de caída de la bola para las condiciones establecidas en la técnica de análisis.
- Influencia de la temperatura en el tiempo de caída de la bola.

Posteriormente se valida según Normas (2010) y Rios (2003) este método de determinación operativa de la viscosidad estudiándose los siguientes indicadores:

a) Especificidad

b) Precisión

- Cálculo de la repetibilidad y precisión intermedia

Para la determinación de la precisión del método (repetibilidad y reproducibilidad interna) se analiza la viscosidad a una muestra de miel final durante 6 días diferentes a las cual se le realizan 3 réplicas por cada día seleccionado. Los resultados son evaluados a través de las siguientes determinaciones:

La repetibilidad es expresada como: Desviación estándar de la repetibilidad (s_r), Varianza de la repetibilidad (s_r^2) ,Coeficiente de variación de la repetibilidad (CVr)

La reproducibilidad interna es expresado como: Desviación estándar de la reproducibilidad interna (s_R), Varianza de la reproducibilidad interna (s_R^2), Coeficiente de variación de la reproducibilidad interna (CV_R)

- Cálculo de la repetibilidad para diferentes niveles de viscosidad

Para determinar la repetibilidad a diferentes niveles de viscosidad se analizan 3 muestras de miel final de diferentes niveles de viscosidad (8000, 20 000 y 40 000 cps) las cuales definimos como nivel bajo , nivel medio y nivel alto respectivamente. Se realizan 3 réplicas por cada muestra.

A partir de los resultados obtenidos para cada muestra se calculan: el valor medio, la desviación estándar y el Coeficiente de Variación y se aplica el test de Cochran para determinar la homogeneidad de varianzas para los 3 niveles de viscosidad.

c) Exactitud

Para evaluar la exactitud del método propuesto se analizan 30 muestras diferentes de miel final aplicando dicha técnica y desarrollando a su vez a las mismas muestras el método de referencia utilizando el viscosímetro Brookfield . A partir de los resultados obtenidos la prueba estadística de observaciones pareadas a fin de determinar si existen o no diferencias significativas entre los resultados obtenidos por ambos métodos y por lo tanto por esta vía mostrar la exactitud del método objeto de validación.

d) Evaluación económica

Se comparan los costos de los métodos Brookfield y operativo teniendo en cuenta los consumos de materiales, energía eléctrica, la depreciación de equipos de medición y los gastos de salario .

Además se analiza la influencia económica provocada por un incremento de viscosidad en el ingenio de Ifraín Alfonso durante un período de 6 días de trabajo para mostrar la incidencia negativa por este concepto.

Discusión de los resultados.

Evaluación del método de ensayo.

a) Selección de las condiciones de trabajo.

- Relación entre la viscosidad de las mieles y el tiempo de caída de la bola para las condiciones establecidas en la técnica de análisis.

Se evalúa sí existe relación entre el tiempo de caída de la bola y la viscosidad. Los resultados de comparar ambos parámetros mediante el análisis de 47 muestras de miel final se muestran en la figura I

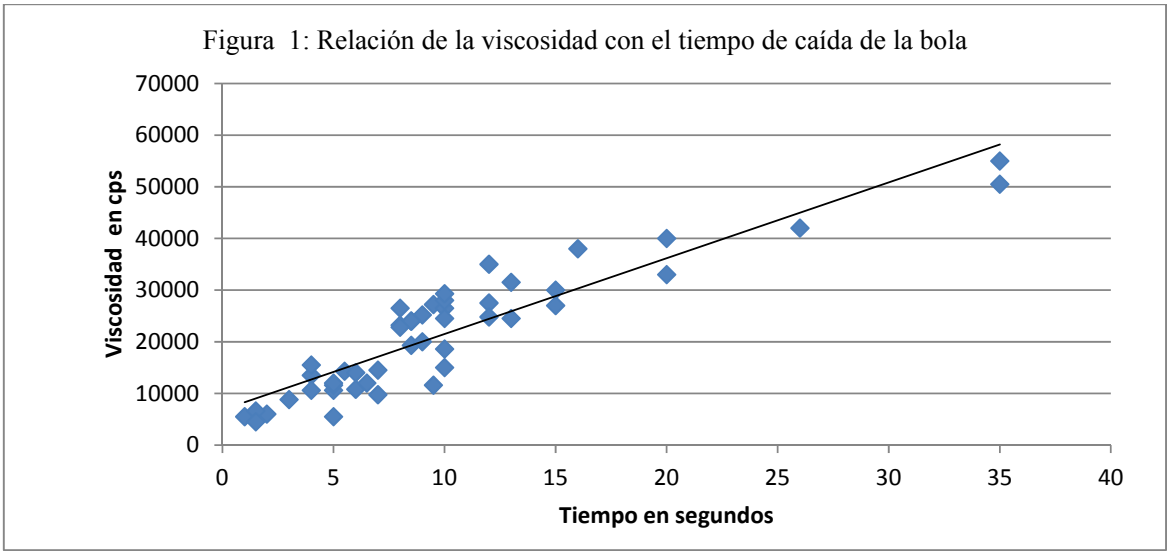
Como se puede observar en el mismo , hay una relación positiva entre el tiempo de caída de la bola y la viscosidad, por lo que puede ser factible calcular la viscosidad a partir de esta determinación propuesta.

La ecuación encontrada que relaciona ambas variables y su coeficiente de determinación fueron los siguientes:

$$y = 1449\,X + 6992$$
$$R^2 = 0.872$$

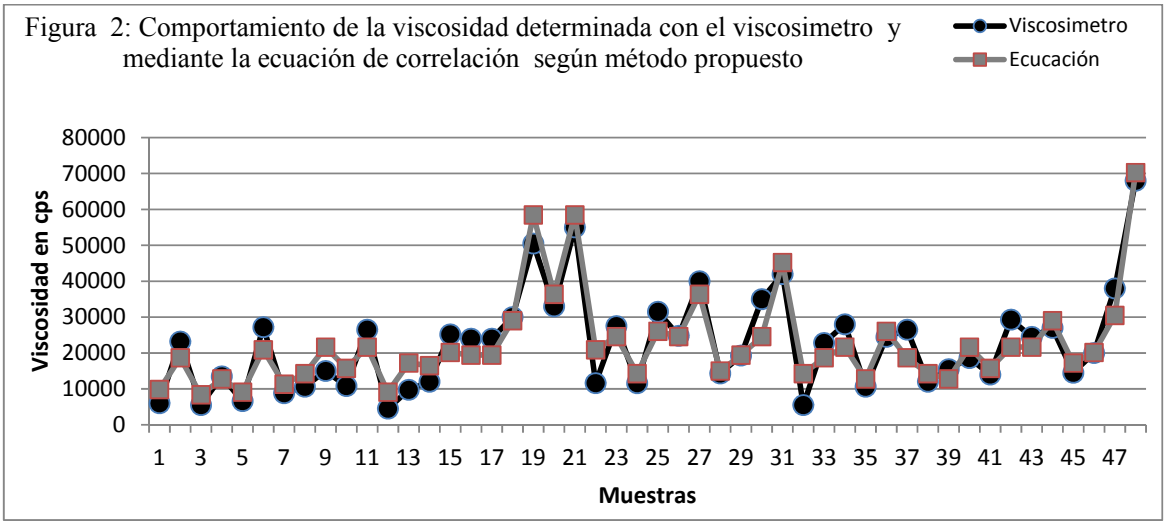
Es decir, que hay una correlación significativa entre ambos variables y de acuerdo al coeficiente de determinación hallado podemos de manera operativa calcular la viscosidad a partir del tiempo de caída de la bola .

Figura 1: Relación de la viscosidad con el tiempo de caída de la bola



Para ejemplificar la validez del método operativo como vía de alertar sobre el comportamiento de la viscosidad, presentamos en la figura 2 el comportamiento de la viscosidad mediante los análisis hechos a diferentes muestras de miel final con el viscosímetro Brookfield y a través del método operativo y aplicando la ecuación de correlación.

Figura 2: Comportamiento de la viscosidad determinada con el viscosimetro y mediante la ecuación de correlación según método propuesto

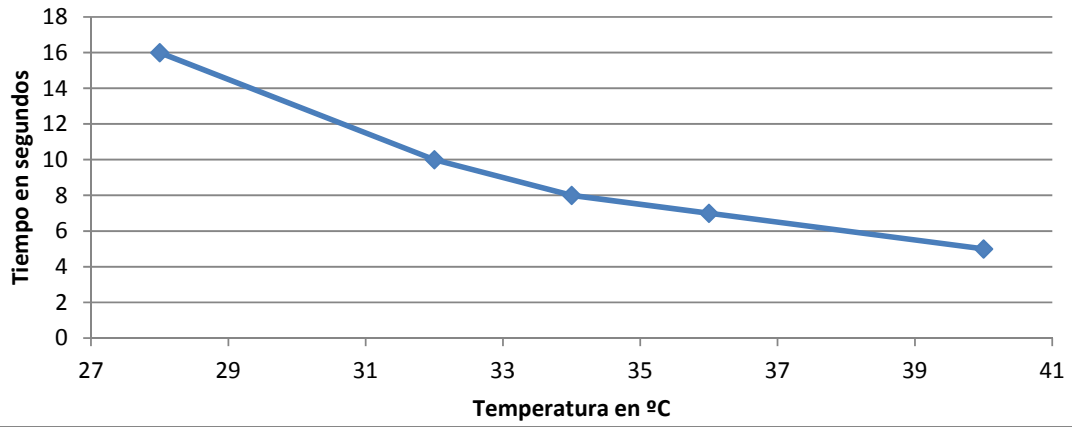


Como se puede ver, el comportamiento obtenido es prácticamente el mismo por ambos métodos de determinación, lo que nos indica que podemos utilizar como método preventivo de control la técnica operativa propuesta por su fácil aplicación y su bajo costo

b) Influencia de la temperatura en el tiempo de caída de la bola.

Se tomó una muestra de miel final y se medió el tiempo que demora en caer la bola o sea el tiempo que demora desde que se deja caer la misma hasta que sea cubierta por la propia miel final a diferentes temperaturas (40º, 36º, 32º y , 28º). Los resultados se muestran en la figura 3.

Figura 3: Relación entre la temperatura de la miel y el tiempo de caída de la bola



Como se puede observar hay una dependencia del tiempo de caída de la bola respecto a la temperatura caracterizada por una disminución de este tiempo a medida que aumenta la temperatura, por esta razón hay que establecer una temperatura de trabajo, la cual establecimos como 32ºC , ya que a este temperatura los tiempos de caídas pueden ser medibles dentro de los rangos de bajos grados de viscosidad..

b) Validación del método de ensayo

- Especificidad

La naturaleza del método y la observación de la técnica operatoria conducen a afirmar que el método es totalmente específico para determinar la viscosidad en las mieles.

- Precisión

En la tabla I se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados durante 6 días diferentes a una muestra de miel final.

Tabla I: Resultados de la viscosidad obtenidos para el análisis de la repetibilidad y reproducibilidad interna durante 6 días diferentes

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Réplica 1	20300	22300	20300	22300	24300	20300
Réplica 2	22300	18300	22300	20300	22300	22300
Réplica 3	22300	24300	22300	20300	22300	20300

A partir de estos datos y mediante el programa Statgraphics Centurion XV.II se hallan los diferentes parámetros estadísticos.

Se calculan la desviación estándar dentro y entre los días , así como los coeficientes de variación correspondientes siendo los resultados de los mismos los siguientes:

$S_{dentro} = 1632.99$ $C.V_{dentro} = 7.55$ (repetibilidad)

$S_{entre} = 1520.23$ $C.V_{entre} = 7.03$ (reproducibilidad interna)

Los coeficientes de variación obtenidos confirman una buena precisión del método para las condiciones estudiadas.

Cálculo de la repetibilidad para diferentes niveles de viscosidad

En la tabla II se presentan los resultados de los análisis realizados a 3 muestras de miel final de diferentes viscosidades , así como los valores medios de viscosidad , la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Tabla II: Resultados de las muestras analizadas a 3 niveles diferentes de viscosidad

	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Réplica 1	9890	22931	35972
Réplica 2	8441	24380	37421
Réplica 3	8441	21482	38870
Media	8924	22931	37421
Desv. Est.	836.6	1449.0	1449.0
C.V	9.37	6.32	3.87
Varianza	28.92	38.06	38.06

Al realizar el test de Cochran se obtiene lo siguiente:

$C_{calculado} = 0.362$ $C_{tabla} = 0.871$

$C_{calculado} < C_{tabla}$

Al ser $C_{calculado}$ menor que C_{tabla} ($\alpha = 0.05$) significa que las varianzas entre las 3 concentraciones son equivalentes , es decir que el factor concentración no influye en la variabilidad de los resultados.

Exactitud

Antes de proceder a realizar el análisis de exactitud se determina si existe homogeneidad de varianzas entre los resultados de los análisis efectuados a 30 muestras de miel final por ambos métodos (el Brookfield y el propuesto) , para ello planteamos la hipótesis.

$H_o : s_1^2 = s_2^2$ (Hipótesis nula)

$H_1 : s_1^2 \neq s_2^2$ (Hipótesis alternativa)

$F_{calculado} = 1.16$ $F_{crítico} = 1.86$

Como se puede observar, el valor $F_{calculado}$ es inferior a su valor crítico para un nivel de significación de 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula y podemos decir que existe homogeneidad de varianza en los resultados evaluados por ambos métodos, por lo tanto podemos entonces proceder al cálculo de observaciones pareadas. A continuación mostramos los resultados obtenidos de este análisis según el programa Statgraphics Centurion XV.II

Diferencia hipotética de las medias = 0	
$t_{calculada}$	0,552
$t_{crítica}$	2,04
Observaciones	30

$t_{calculada} < t_{crítica}$

Por lo tanto , podemos decir que el método propuesto para la determinación de viscosidad presenta una buena exactitud.

Evaluación económica

En la tabla III se presentan los resultados derivados de la evaluación económica del método.

Tabla III. Balance económico
(Para una frecuencia de 4 análisis diario en 120 días de zafra)

Indicador	Método Brookfield	Método propuesto
Consumo materiales y cristalería	19.99	19.15
Amortización de equipos	1131.00	30.03
Consumo de electricidad	33.26	5.94
Gasto en salarios	144.00	128.00
Costo total	1328.25	183.15
Costo /análisis	2.52	0.35

Como se puede observar en la tabla , el costo por análisis del método propuesto es inferior que el Método Brookfield representando un 86 % menos en valores. Esto significa que solamente por concepto de aplicación de la técnica analítica propuesta el país se ahorraría $ 58 400.
Si a esto agregamos lo que significa poder alertar a los implicados sobre la presencia de sustancias no azúcares , causante de un aumento de la viscosidad , para que se tomen las medidas pertinentes y lograr su reducción y con ello elevar la eficiencia industrial en lo que respecta a las disminución de las pérdidas en miel final , las ganancias económicas serán mucho mayores. A modo de ejemplo ponemos el caso específico del ingenio Ifraín Alfonso quien presentaba un valor de viscosidad en miel final de 60000 cps durante 3 días de trabajo lo que se tradujo en una pureza en miel de 46.73 . Ante esta situación se tomaron las medidas pertinentes y se reduce posteriormente esta viscosidad a valores promedio de 25000 cps reduciéndose de igual manera la pureza de la miel a valores de 42.69. Esta situación de la alta viscosidad provocó una pérdida de azúcar equivalente a $ 3356.80 en 3 días de trabajo al comparar un período con otro. A continuación resumimos este comportamiento.

Indicadores	Viscosidad 60000 cps	Viscosidad 25000 cps	Diferencia
Viscosidad	60000	25000	35000
Pureza Miel	46.73	42.69	4.04
Pérdidas económicas por la alta viscosidad			$ 3356.80

Si extrapolamos esta situación a los demás ingenios del país las pérdidas serían cuantiosas.

Conclusiones:

1.- El método operativo propuesto de la caída de la bola resultó ser un método rápido, sencillo, barato y confiable para el control del comportamiento de la viscosidad de las mieles finales .
2.- La validación realizada demuestra su capacidad para ser utilizado como un método de control operativo al mostrar valores de repetibilidad y exactitud aceptables.
3.- El método propuesto es 7 veces más barato que el método Brookfield por lo que puede ser implantado sin necesidad de grandes recursos.

4.- Su aplicación en la provincia de Villa Clara durante la Zafra 2013 permitió disponer de una herramienta más para la evaluación del comportamiento del agotamiento de la miel final y lo que es más importante poder tomar medidas preventivas para evitar el incremento de las pérdidas en miel final.

Referencias

Chen, J; Chou, C. (1991) Manual del azúcar de caña, pp.76-78

Lodos, J ; Rodriguez, M. (1998) Causas indusriales de las altas pérdidas en las mieles finales. Revista Cubazúcar, Vol.XXVII, pp.5-8.

NC TS-368:2010. Guía para la validación de métodos de ensayo químicos para alimentos.1ra Edición, Abril, 2010.

Pérez, F; Fernández,F. (2006) Métodos Analíticos para azúcar crudo. Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras, Cuba. Publicaciones Azucareras, pp.182-186

Rein, P. (2002) Cane Sugar Engineering**.** Berlin. Verlag, pp.405-407

Rios, G; Fernández,S. (2003) Validación de los métodos analíticos empleados en el estudio de inyectable de fosfato de disopiramida. Revista Cubana de Farmacia, 37 (2)

Van der Poel et al. (1998) Sugar Technology . Beet and Cane Sugar Manufacture Berlin, Verlag, pp.688-691, 984-986.

LA DEXTRANA: CAUSAS DE SU APARICIÓN Y CONSECUENCIAS DE SU PRESENCIA

DEXTRAN: PRESENCE AND CONSEQUENCES

Autor: Eduardo Casanova Cabeza
Coautores: Fernando Fernández, Julián Rodríguez, Jesús Mesa y analistas de LEYCAL

ICIDCA, eduardo.casanova@icidcaby.azcuba.cu

Resumen

En este trabajo se realiza un análisis de la incidencia de la frescura de la caña y su deterioro microbiológico en el contenido de dextrana y la pérdida en peso de la caña.

Además, se correlaciona a la dextrana con su incidencia en las pérdidas en azúcar. Se cuantifica la caída de la pol en caña mediante la presencia de dextrana en jugo y el porciento en que se ocluye finalmente en el cristal de azúcar.

Posteriormente se analiza la incidencia económica de la dextrana en la comercialización del azúcar, las penalizaciones por incumplimiento de las especificaciones de contenido de dextrana en los contratos 14 y de la Unión Europea con los países de ACP, así como las tendencias que se están desarrollando al respecto en el mercado mundial.

Finalmente se ofrece un cuadro comparativo sobre las ventajas y desventajas existentes entre los métodos analíticos para la determinación de dextrana.

Palabras claves: dextrana, deterioro de la caña de azúcar, calidad caña

Abstract

This paper is concerned with the analysis of the incidence of the freshness of the sugar cane and its microbiological deterioration on the content of dextran and the loss of weight of the cane.

Dextran is related to its incidence on the loss of sugar. The decrease of pol in the cane is quantified through the presence of dextran in the juice and the percentage of its occlusion in the sugar crystal.
The economic incidence of the dextran on the commercialization of sugar is analyzed, as well as the penalization for the unfulfilment of the specifications about the dextran content found in the New York and the European Union contracts. The tendencies developing in the world market in this regard are also considered.

Finally, a comparative chart about the advantages and disadvantages between the different analytical methods for the dextran determination is given.

Key words: dextran, cane sugar deterioration, cane quality

Introducción

La dextana, un polisacárido que puede llegar a ser de alto peso molecular, no es un componente de la caña de azúcar y su aparición está determinada por la contaminación del vegetal por un microorganismo bien conocido en el mundo azucarero: el lecuconostoc mesenteroides. Su presencia está condicionada a varios factores: en primer lugar la exposición del interior del tallo de la caña por corte, troceado o magulladura que permita la infección por este microorganismo y seguido de altas temperatura y humedad; contribuyendo a su desarrollo el tiempo que medie entre el corte (y quema en caso de que esta operación tenga lugar) y el procesamiento de la caña.

El tándem es la única área del ingenio donde el leuconostoc puede desdoblar la sacarosa e incrementar el contenido de dextrana que traiga la caña desde el campo, pues las temperaturas del proceso tecnológico, así como las concentraciones de sólidos solubles (Brix) de los productos intermedios dentro de la fábrica no permiten el desarrollo del microorganismo y por tanto la producción de dextrana.

La dextrana es enemiga del cañicultor al deteriorar la calidad de la caña afectando su contenido de pol y por tanto su pago por calidad y del industrial, pues dificulta la operación fabril, incrementa las pérdidas en proceso, disminuye la calidad del azúcar y provoca reclamaciones del cliente final del producto.

En el presente trabajo se realizará un recorrido por algunos de los momentos más importantes, tanto para el agricultor como para el industrial, donde se evidenciaran algunas de las pérdidas que sufren ambos participantes del proceso agro-industrial azucarero.

Materiales y métodos

Los datos que se aportan en este trabajo proceden de materiales (caña, jugo, productos intermedios de la producción industrial y azúcar crudo) obtenidos de fábricas cubanas en zafras de los últimos 20 años.

Los métodos analíticos empleados, cuando no se indique lo contrarios, fueron los recomendados por el manual oficial de métodos analíticos de la industria azucarera cubana en su última versión corregida por Pérez Sanfiel (2006).

Se realiza un análisis comparativo entre los resultados y experiencias alcanzados por los autores del presente trabajos y por autores de otras latitudes.

Resultados y discusión

1. Frescura de la caña vs dextrana.

La valoración del grado de descomposición química que sufre la caña de azúcar como consecuencia del troceado y/o quemado en cualquier tipo de cosecha no debe determinarse solo por la determinación de la acidez, azúcares reductores o pH, sino que debe incluir la determinación de oligosacáridos, polisacáridos o gomas, por ser estos algunos de los productos resultantes de los procesos de deterioro que con mayor incidencia incrementan las pérdidas de azúcar en el proceso fabril.

Las gomas de bajo peso molecular son polisacáridos solubles, que en el jugo de la caña fresca presentan valores razonablemente bajos, propios de un constituyente normal, pero que aumentan en cañas deterioradas. Cuando se presentan atrasos en las cañas se crean en el vegetal las condiciones óptimas para que el Leuconostoc Mesenteroides y, en menor medida, otros microorganismos crezcan rápidamente, contribuyendo a destruir la sacarosa y formar productos de su metabolismo altamente perjudiciales a la industria.

En el deterioro de las cañas influyen dos factores fundamentales: la superficie expuesta al deterioro y el tiempo que media entre quema-cosecha-molida. Como resultado del estudio del primero de estos factores se determinó que el área expuesta a la contaminación aumentaba cuando se presentaban las siguientes deficiencias en el proceso de corte: corte por magulladura y desgarramiento, corte por astilladura y corte escalonado. Es decir la calidad del corte jugará un importante papel en el deterioro de la caña.

En cuanto al factor tiempo, su magnitud se comportará en función del esquema de cosecha que se emplee y la eficiencia de la misma. El tiro directo de caña por combinada hace posible que el central reciba caña de cómo mínimo de 2 a 3 horas de cortada y entre 4 y 8 horas de quemada, en dependencia de la hora en que se efectúen la quema y el corte respectivamente. Mientras que (bajo condiciones óptimas) para las cañas de combinada procesadas por instalaciones de limpieza, el tiempo entre quema y molida puede llegar a 24-36 horas y entre corte y molida (en los caso que no se queme) a 18-24 horas. En el caso de las cañas de corte manual y procesadas por instalaciones de limpieza, el período se alarga, pudiendo llegar de 36 a 48 horas de quemada y hasta 24 y 36 horas entre corte y molida. Todas estas cifras se pueden considerar como valores promedio bajo condiciones de operación normales.

El área expuesta al deterioro en la caña troceada aumenta de 3 a 4 veces, comparada con la caña entera, con un largo promedio de trozo de 30 a 40 cm. Ahora bien, en caso de producirse los cortes por desgarradura motivados por desajustes o mal diseño del aparato de corte, las áreas expuestas a la contaminación podrían aumentar mucho más si se les compara con el tradicional corte manual.

En la tabla siguiente se observa la forma acelerada en que se incrementa el contenido de dextrana en el caso de las cañas troceadas. Estos valores variarán en función de la temperatura y humedad a que sea sometida la caña. Estos valores son promedios de diferentes momentos dentro de una zafra, se pueden tomas como indicativos, pero no como valores absolutos.

Tabla I
Relación entre sistemas de cosecha, las horas de cortada y el contenido de dextrana en jugo primera mezclado expresado en ppm

Horas	**Manual verde**	**Manual quemada**	**Combinada verde**	**Combinada quemada**
24	98	174	195	389
48	244	295	325	648
72	320	375	490	1330

*No hubo lluvias en el periodo analizado

En cuanto a pérdidas en peso los autores registraron promedios de pérdidas entre 1,5 y 2, 3% por día de atraso. Las cifras reportadas por otros autores, como Hylton (2007) varían para caña verde 0,75 % y caña quemada 1,5 %, en ambos casos por día. Estos datos, como se ha dicho en el párrafo anterior estarán en función de las condiciones de temperatura y humedad imperantes, por lo tanto serán ciertas sólo para el caso analizado en cuestión. Pero lo importante en todos los casos es el efecto negativo que tendrá esta disminución de peso sobre la economía del cañicultor.

2. La dextrana y su incidencia en las pérdidas de azúcar.

Se han realizado los cálculos pertinentes para hallar las pérdidas de azúcar motivadas por microorganismos. Primeramente se realizó un cálculo de las pérdidas simulando las condiciones de cañas enteras y troceadas verdes y quemadas respectivamente.

Posteriormente se realizaron mediciones en condiciones de producción, utilizando los mismos principios analíticos y de cálculos empleados en muestras experimentales, obteniéndose los resultados que se ofrecen en la tabla II.

Si las cifras que se ofrecen en la tabla II se aplicasen a una fábrica de una capacidad de 6 000 t diarias, moliendo 150 días de zafra a razón de una norma de molida al 85 % y con solo 10 de rendimiento, podría perder por año alrededor de 200 t de azúcar, si moliera el ciento por ciento de sus cañas enteras y verdes, con 24 horas de promedio entre corte y molida. Esta misma fábrica llegaría a perder más de 2 400 toneladas de azúcar si moliera todas sus cañas troceadas, quemadas y con 72 horas de atraso. En la vida real debe producirse una variante intermedia entre estos 2 extremos.

Tabla II
Caída de pol en caña por causas microbiológicas obtenidas en condiciones de producción.

Horas	Entera verde	Entera quemada	Troceada verde	Troceada quemada
24	0,18	0,30	0,35	0,70
48	0,26	0,46	0,70	1,15
72	0,42	0,85	1,6	2,35

Estas pérdidas serían en realidad producto de azúcar que dejó de entrar en el central, es decir pol que produjo el campo y que no llegó al basculador. Las pérdidas de azúcar que ocasionarán los oligosacáridos y los polisacáridos formados durante el deterioro al ser introducidos en el proceso fabril, pueden equivaler a pérdidas de azúcar por caída del rendimiento aún mayores que las ocurridas antes de entrar en la fábrica.

El grado de deterioro de la caña es difícil de medir en términos absolutos. Diversos autores han adoptado diferentes criterios al respecto, entre ellos Greenfields (1982) y Kitchen (1988). Un criterio bastante generalizado ha sido la pureza del jugo de primera extracción. Bajo condiciones normales la pureza puede considerarse como válido, pero cuando el grado de deterior de las cañas es alto y por tanto implica altos contenidos de dextrana, el poder de rotar la luz polarizada en el mismo sentido que la sacarosa que presenta este polisacáridos cuestiona su validez. Esto se hace evidente al comprobar las experiencias de algunos autores como Morel du Bois (2005) y Ravnö A. B. (2005) que plantean un incremento en la lectura de la pol de $0{,}30^{o}$ Z por cada 1000 ppm de dextrana presente en la solución en cuestión.

Podría llegarse a la conclusión de que el contenido de dextrana en jugo de primera extracción podría ser un buen indicador del grado de deterioro de una caña que se está moliendo, pero lo difícil de lograr mediciones confiables y en corto tiempo invalida la aplicabilidad de la anterior conclusión en esquemas de control de los laboratorios que no cuenten con equipamiento adecuado.

La presencia de la dextrana es siempre un indicativo de que se ha habido pérdidas de sacarosa, por tanto ha aparecido algo que no es sacarosa, es decir se incrementan las impurezas. La pérdida de sacarosa en función de la dextrana detectada no puede considerarse como un factor constante, pero Cerutti de Guglielmont et al, (2000) han estimado que alcanza al menos el 0,4 % del azúcar original por cada 1000 ppm presente. Esta pérdida de sacarosa reduce tanto la pureza del jugo, como el recobrado del azúcar que entra a la instalación industrial.

Durante el proceso de clarificación la dextrana se comporta como un protector de los coloides, inhibiendo su coagulación. Este efecto incrementa el contenido de ceniza y de color al azúcar, según Sahaedo (2002). De lo cual se deduce que el incremento de la ceniza se produce durante todo el resto del proceso tecnológico, con la incidencia en el agotamiento de las mieles como ha sido aceptado por todos los clásicos.
Ha sido interesante comprobar que el % de la dextrana encontrada en el jugo mezclado y que pasa al cristal de azúcar según Rabón (2005) es del 20 % y que una proporción semejante de 5 a 1 ha sido detectada en varias oportunidades por Duarte en la década de los 80 del pasado siglo y este autor a principios del presente encontró relaciones semejantes y que se muestran en la tabla a continuación:

Tabla III
Contenido de dextrana en jugo mezclado y azúcar producido dentro de los tres días en fue procesado dicho jugo.

Muestra	Dextrana en J. M. (ppm)	Dextrana Azúcar (ppm)	Muestra	Dextrana en J. M. (ppm)	Dextrana Azúcar (ppm)
1	450	95	12	2450	551
2	600	120	13	2750	688
3	650	126	14	2975	763
4	725	151	15	3050	792
5	1200	229	16	3225	806
6	1350	250	17	3685	983
7	1400	350	18	3850	1027
8	1800	429	19	3975	795
9	1950	379	20	4250	1214
10	2175	453	21	4500	900
11	2300	455	22	5350	1029

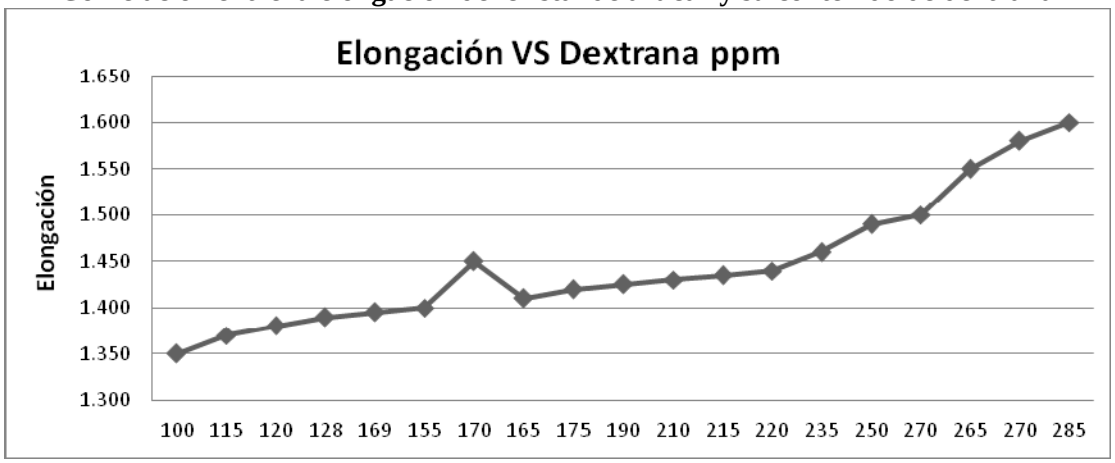
Según los datos de la tabla anterior el % de dextrana presente en el azúcar en relación con el contenido promedio de dextrana encontrado en el jugo mezclado durante los tres días anteriores a la producción del azúcar en cuestión fue del 22,4 %, con una desviación estándar de 3,05 y una correlación de r^2 de 0,765, que puede considerarse aceptable para las condiciones de este tipo de experimento.

Acorde a las experiencias expuestas en los dos párrafos anteriores podemos decir que el % de la dextrana presente en el jugo mezclado y que pasa al grano de azúcar se encuentra entre el 20 y el 22 %.

Hasta principios de la década de los 90 del pasado siglo autores como Lionnet (2006) consideraban a la dextrana como la máxima responsable de la elongación del cristal de azúcar, lo que traía aparejado que la fractura del cristal alargado producida durante la centrifugación y el incremento de la pureza de la mieles y la consecuente pérdidas en azúcar era responsabilidad de la dextrana. Diversos autores después de los años 90, incluyendo los cubanos Hormaza (1998) y Ramos (2006), han demostrado exhaustivamente que los causantes de la deformación del cristal son los oligosacáridos, en primer lugar las kestosas. Lo que no descarta la posibilidad de que durante el proceso de producción de la dextrana aparezcan trisacáridos responsables de dichas elongaciones.

En el siguiente gráfico se ha ploteado el índice de elongación del cristal de azúcar contra el contenido de dextrana (método ICUMSA) en azúcar de alta pol producido por diferentes fábricas cubanas durante cuatro zafras. Aunque los autores no pretenden plantear una correlación entre la presencia de la dextrana y la elongación del cristal, como ha sido demostrado por otros autores ya mencionados, no deja de ser interesante plantear la posible relación que pueda existir entre la presencia de la dextrana y la de los trisacáridos responsables de la elongación en cuestión.

Gráfico 1
Correlación entre la elongación del cristal de azúcar y su contenido de dextrana



Los autores no han podido tener acceso a una formulación estadísticamente confiable que permita, bajo las condiciones cubanas, establecer el azúcar posible a cristalizar (llevar al saco) en función de la calidad del jugo de primera extracción (o de la calidad de la caña). Es por ello que no se considerado posible establecer la incidencia de estos factores (entre ellos el contenido de dextrana como indicador de calidad del jugo de primera extracción) en el azúcar dejada de cristalizar.

3. La dextrana y su incidencia económica en la comercialización del azúcar

Es conocido que en los contratos de compra de azúcar donde se tienen en cuenta requisitos de calidad adicionales a los clásicos pol, humedad y color, la dextrana juega un papel protagónicos. Tanto el mercado de Nueva York, así como los contratos de azúcar crudo que se firman con los países de la Unión Europea, no sólo ponen límites al contenido de dextrana, sino que establecen las multas más altas cuando se producen incumplimiento, sin proponer pago de primas por sobre cumplimiento.

En la siguiente tabla se brindan las penalizaciones aplicadas a los países exportadores de ACP (Asia, Caribe, Pacífico) según el London Sugar Group Contract (2000).

Tabla IV
Incremento del contenido de dextrana y la penalización establecida por los contratos de azúcar de Europa con los países de la ACP

Parámetro	Especificación	Penalización
Dextrana	**Menor que 350 ppm**	Deducir 0,010 euros por t por cada 5 unidades por encima de 350 hasta 450
		Deducir adicionalmente 0,013 euros por t por cada 5 unidades por encima de 450 hasta 550
		Deducir adicionalmente 0,016 euros por t por cada 5 unidades por encima de 550 hasta 450

En los contratos que se establecen por el contrato 14 de Nueva York (Domino Contract, 1984) se precisan las siguientes penalizaciones por incumplimiento del contenido de dextrana en azúcar crudo:

Tabla V
Incremento del contenido de dextrana y la penalización establecida por el contrato 14 de Nueva York

Parámetro	Especificación	Penalización
Dextrana	**Menor que 250 M.A.U.**	Deducir 0,007 % del precio base por tonelada por cada 1 M.A.U. por encima de 250 hasta 350
		Deducir adicionalmente 0,009 % del precio base por tonelada por cada 1 M.A.U. por encima de 350 hasta 450
		Deducir adicionalmente 0,011 % del precio base por tonelada por cada 1 M.A.U. por encima de 450 hasta 550
		Deducir adicionalmente 0,013 % del precio base por tonelada por cada 1 M.A.U. por encima de 550

Cada vez con mayor frecuencia, según Monier (2012), los compradores que acuden al mercado mundial (cuyos contratos solo estipulan requisitos relativos a la pol, la humedad y el color) demandan de sus proveedores contenidos de dextrana entre 150 y 250 ppm, con claras llamadas a no repetir las compras futuras de no cumplirse con estos requisitos.

Es muy difícil establecer cuál debe ser el contenido de dextrana máximo permisible que asegure niveles aceptables en azúcar por el mercado. Si se toma como cierto lo expresado en este trabajo que el 22 % de la dextana presente en el jugo mezclado es ocluida en el cristal de azúcar y que en estos momentos los compradores en el mercado mundial demandan contenidos de dextrana en azúcar no mayores a 250 ppm; el

máximo contenido permisible de dextrana en jugo sería de 1125 ppm, niveles que pueden ser encontrados como promedio en cualquier fábrica cubana.

Ahora bien, en los casos de altos contenidos de humedad y temperatura y tiempos entre corte (peor aún si la caña es quemada) y molida mayores a las 24 horas, los jugos mezclados han llegado hasta las 10 000 ppm de dextrana. Bajo estas condiciones, bastaría que solo el 2,5 % de las cañas estuviesen en esta categoría y que el resto (97,5 %) promediasen los 1125 ppm para que los azúcares crudos producidos alcanzasen 300 ppm y por tanto serían cuestionados por los compradores.

La información expuesta en los párrafos anteriores es más que suficiente para demostrar la incidencia económica de la dextrana en la comercialización del azúcar. No obstante existen otros elementos que complementan los criterios hasta aquí expuestos.

Sobre la polarización del azúcar. El efecto dextrógiro de la dextrana, ya expuesto en párrafos anteriores, tendrá también su efecto sobre la lectura de la pol del azúcar. Se ha observado la misma influencia, señalada al inicio de este trabajo, incrementando la lectura de la pol en 0,3 % por cada 1000 ppm de dextrana presente. Esta situación es menos crítica cuando se emplea el subacetato de plomo en la determinación de la pol, por eliminar este producto hasta dos terceras partes de la dextrana presente, de acuerdo a Morel du Bois 2005a), y esto podría explicar las diferencias observadas entre la polarimetría NIR, donde no se emplea el subacetato de plomo, y cuando es empleado esta sal en la clarificación de la muestra antes de su lectura cuando las concentraciones de dextrana son altas.

Sobre la filtrabilidad de los azúcares crudos. Ya ha sido mencionado el efecto negativo de la dextrana sobre la clarificación estabilizando los coloides presentes. Esto podría ser una explicación del efecto indirecto que ejerce la dextrana sobre la filtrabilidad de los crudos, pues han demostrado Hormaza, J. y Casanova, E. (1996), así como Lionnet (2002), que después de la eliminación enzimática de la dextrana presente, los azúcares han continuado presentando dificultades en su filtrabilidad. Un hecho también interesante es el caso de las refinerías donde se carbonata, pues después de someter a los licores a este tipo de clarificación, que elimina las sustancias coloidales provenientes de la fabricación de crudo, las dificultades sobre la filtración desaparecen, si que sea (en este caso) previamente eliminada la dextrana presente. Por tanto podría concluirse que el efecto de la dextrana sobre la filtración estaría en función de su acción sobre la estabilización de los coloides durante el proceso de clarificación de los jugos de caña y el paso de estas impurezas al resto del proceso.

4. La dextrana y su determinación.

Uno de los mayores problemas con se enfrenta cualquier estudio sobre la dextrana en los productos azucareros pasa, en primer lugar, por su determinación. Es posible que se encuentren con trabajos donde el método para la determinación de la dextrana no se especifique con suficiente claridad y por tanto los datos no siempre sean comparables y se puedan llegar a conclusiones erradas. Por esta razón se ofrece al lector una breve panorámica de los métodos más usado hoy en día y las virtudes y defectos que cada cual presente, de manera que el lector tome las precauciones pertinentes y saque sus propias conclusiones.

Método ICUMSA, GS 1/2/9-15 (2011)

Este método es oficial del ICUMSA, relativamente fácil, preciso y es empleado ampliamente. Es poco afectado por la presencia de otras impurezas en productos (azúcares) de baja pureza, de ahí su amplio empleo en azúcares crudos y blancos.

Si se aplicase a otros productos debe darse a las muestras un pre-tratamiento acorde a las características del producto.

Roberts/AOAC, Roberts (1983)

Fue creado especialmente para un amplio rango de pesos moleculares. En la práctica es más útil para la detección de dextrana de alto peso molecular y no de la dextrana total. Es empleado en USA y no correlaciona con el ICUMSA.

MAU del contrato 14 de Nueva York

Es similar al ICUMSA, pero incluye la remoción de ceniza por intercambio iónico y sus unidades se expresan como unidades de mili absorbancia (MAU). Su correlación con el método ICUMSA ha sido establecida como:

$$ppm\ dextana = \frac{MAU + 110}{0{,}659}$$

Esta equivalencia está basada en el estándar de dextrana T-40. No se corresponde totalmente con el método ICUMSA probablemente, según Rauh et al (2003) porque la correlación entre la absorbancia y la dextrana no es lineal o por el empleo de estándares de diferentes pesos moleculares.

Enzima –HPEAC (Zimmees et al, 1999, Morel du Bois, 2000)

Es altamente específico y por lo tanto aplicable a productos de baja pureza. Tiene como inconveniente que es un método trabajoso y caro, por lo que no se recomienda para análisis de control de rutina o donde se necesiten resultados rápidos. Los resultados correspondientes a las dextranas de alto peso molecular coinciden razonablemente con los métodos ICUMSA y el inmunológico, no así con el método de Roberts.

Inmunológios (Rauh et alt, 1999 y 2003)

Este es un método rápido (2-3 minutos), específico, fácil de operar, manuable y aplicable a todos los productos de la fábrica, solo requiere como pre-tratamiento una filtración a través de filtros de 10 µl. Las dextranas de peso molecular inferiores a 40 000 Daltons no son detectadas.

Conclusiones

- La dextrana constituye un problema económico para cañicultores, industriales y comerciantes, por tanto es interés de toda la cadena productivo-comercial su eliminación.
- Algunos de los problemas que son atribuidos a la dextrana, no están directamente vinculados a la misma, pero son problemas generalmente asociados al deterioro de las cañas, el contenido de dextrana podría ser considerado como un indicador de dicho deterioro.
- Es necesario establecer un mejor control analítico sobre el contenido de dextrana en jugo de primera extracción y jugo mezclado y en el azúcar crudo, de manera que pueda establecerse una mejor correlación entre el deterioro de las cañas, la calidad de los jugos que entran a la fábrica y la calidad del crudo producido.
- Para las condiciones cubanas no está bien establecido la incidencia de la calidad de la caña con la recuperación de azúcar que debe esperarse.
- Aunque se encuentra disponible en el mercado el kid de inmuno ensayo que permite la detección de

dextrana en azúcar en pocos minutos, la técnica debe ser validada para otros productos, en primer lugar para el jugo de primera extracción

Referencias

- Cerutti, Guglielmone et al. (2000), Sucrose utilization and dextran production by Leuconostoc mesenteroides isolated from the sugar industry. Sug. J March: 36-41.
- Greenfield, P.F. and Geronimos, G.L. (1982), Effect of dextrans on the viscosity of sugar solutions and molasses. Int. Sugar J. 80, 67-72.
- Hormaza, J. ISSCT (1989), pp 63-73.
- Hormaza, J; Casanova, E. (1996), Altas purezas en las mieles finales, el problema continúa. Premio Academia de Ciencias de la República de Cuba.
- Kitchen, R.A. (1988), Polysaccharides of sugar and their effects on sugar manufacture. Chaptr 14, pp, 208-235 in: Chemistry and Procesing of sugar beet and sugar cane. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam, The Netherlands.
- Lionnet, G. R. E. (2006), Some comments on the elongation ratio of crystals in C-massecuites Proc S Afr Sug Technol Ass, pp, 427-433.
- Monier, T. (2012), Comunicación oral, TECNOAZUCAR, La Habana, Cuba.
- Morel du Bois, P.G. (2005), A review of five seasons' monitoring of MJ and VHP dextran using specific enzyme –HPAEC methodology. SMRI Technical Report.
- Pérez Sanfiel, F.; Fernández, F. et al. (2006), Métodos analíticos para azúcar crudo. Publicaciones Azucareras.
- Rabón, A. B. et al. (2005), Dealing with dextran in the South African Ass 79, pp, 28-47.
- Ramos, E. L.; Ravelo, S. (2006), Azúcar un factor a considerar en la selección de variedades. 49 Congreso de la ATAC, Noviembre.
- Rauh, J.S. et alt (2003), Dextran test method provides versatility for sugar monitoring. Int. Sug. J 105 (1215), pp, 100-103.
- Sahaedo, P.; Lionnet, G.R.E. and Davis. (2002), Mixed juice clarification revisited Proc S. Afr. Sug. Technl. Ass. 76: pp, 421-432.

EFECTO TECNICO- ECONÓMICO DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA MAGNÉTICO ANTIINCRUSTANTE EN LOS EVAPORADORES DE LA INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA

TECHNICAL-ECONOMIC EFFECT OF THE MAGNETIC ANTI-FOULING SYSTEM APPLICATION IN EVAPORATORS OF THE CUBAN SUGAR INDUSTRY

Autores: Ing. Misley Morales Carmouze[1]; Dr. Israel Cepero Acán[1]; Lic. Rafael Dunand Castellanos[1]; Lic. Ricardo Martínez Águila[1]; Ing. Disney Tirado Roa[2].

[1] 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.
[2] UEB "14 de Julio", Cienfuegos
Email: misley.morales@icidca.edu.cu; israel.cepero @icidca.edu.cu

RESUMEN

En nuestro país se ha investigado durante muchos años a diferentes escalas, la aplicación del Sistema Magnético Antiincrustante (SMA) en la industria azucarera, específicamente en las áreas de calentadores y evaporadores.
En el presente trabajo se evalúa el efecto técnico – económico de la aplicación del Sistema Magnético Antiincrustante (SMA) en los evaporadores de la UEB "14 de Julio", en Cienfuegos, a partir de datos recopilados antes y después de la aplicación del SMA. Los resultados alcanzados con la aplicación de esta tecnología, han evidenciado que se logra reducir el efecto negativo de las incrustaciones en el proceso de transferencia de calor, lo que nos permitió alcanzar un ahorro en el consumo de vapor, alargamiento de las paradas por limpieza y la disminución del consumo de agua y vertimiento de residuales químicos al medio ambiente.

Palabras claves: magnetismo; tratamiento magnético de fluidos; limpieza de sistemas de evaporación

ABSTRACT.

Our country has been researched for many years at different scales, application of antifouling Magnetic System (EMS) in the sugar industry, specifically in the areas of heaters and evaporators.
In this paper the technical effect – economic Magnetic Antifouling System application (SMA) in evaporators of UEB "July 14" in Cienfuegos, from data collected before and after the implementation of SMA. The results achieved with the application of this technology, have shown that is possible to reduce the negative effects of fouling on the heat transfer process, which allowed us to achieve a savings in steam consumption, increase of the stops for cleaning and decreased water consumption and quantity of chemicals waste into the environment.

Keywords: magnetism, magnetic treatment of fluids, evaporation cleaning systems

INTRODUCCION

La aplicación del tratamiento magnético antiincrustante (TMA) en la industria azucarera cubana ha estado fundamentalmente dirigida a eliminar los efectos que producen las incrustaciones calcáreas en las superficies de intercambio térmico, considerando fundamentalmente: las pérdidas de la transferencia de calor, la disminución del consumo de productos químicos, ahorro del agua y del volumen de residuales que se vierten al medio ambiente.

Los resultados experimentales, recopilados a lo largo del tiempo, como consecuencia de la acción del campo magnético, han demostrado un efecto sobre las soluciones acuosas y los sistemas dispersos en agua, lo que se manifiesta a través de la variación en las propiedades físicas y químicas de éstos, incluidos aquellos que son la base de los fenómenos de transporte.

El desarrollo de la aplicación de la Tecnología Magnética, al jugo de caña clarificado, mediante la utilización del Sistema Magnético Antiincrustante (SMA), ha relevado resultados altamente positivos en cuanto a la disminución del volumen de incrustaciones y a la prolongación del ciclo operativo del sistema de evaporación de las fábricas de azúcar (que por regla general se encuentra entre 10 y 12 días), que aún son una dificultad de primer orden y su eliminación representa un renglón de alto costo industrial. La solución de este problema así como el alargamiento de los ciclos operativos están, entre otros, definido por la utilización de esta técnica. Existen resultados de experiencias de la aplicación de esta tecnología en otros dos ingenios fuera del país “Ofelina”, de la Compañía Azucarera La Estrella SA CALESA en la República de Panamá y “Alfredo Monet Quintela” (ALUR), Compañía Alcoholes, República Oriental del Uruguay.

El objetivo de este trabajo es realizar el estudio del efecto técnico – económico de la aplicación de esta tecnología, a partir de datos recopilados antes y después de la aplicación del SMA en los evaporadores de la Empresa Azucarera “14 de Julio” ubicada en Cienfuegos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el presente estudio se tomaron resultados provenientes de la Unidad Empresarial de Base (UEB) “14 de Julio” que pertenece a la Empresa Azucarera Cienfuegos del Grupo Empresarial AZCUBA, debido a que es la única UEB en el país que tiene instalada actualmente esta tecnología, además es una fábrica con buenos resultados de eficiencia agroindustrial debido su estabilidad, lo que ha demostrado su representatividad en la generalización para la industria nacional e internacional.

Para realizar esta evaluación fue necesario recopilar datos del comportamiento de algunos indicadores de las zafras, desde el 2003 hasta el 2011, lo que nos permitió poder determinar el nivel de eficiencia y rendimiento industrial de la fábrica antes y después de la aplicación del TMA, así como el impacto en la disminución del ciclo de limpieza de los evaporadores y en el ahorro de productos químicos empleados para este fin.

- **Descripción general de los equipos empleados en el TM.**

La aplicación de esta tecnología, tiene como base esencial la instalación de unos dispositivos, magnetizadores AZUMAG de 6 pulg. (Figura. 1), con la siguiente descripción general:

Son magnetizadores de segunda generación, diseñados y construidos bajo la asesoría técnica de especialistas del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), los cuales flexibilizan la disposición de los imanes permanentes y por ende las características magnéticas de dicho equipo. Son equipos de imanes permanentes anizotrópicos o de tierras raras con disposición bipolar ajustables a la magnitud del campo magnético y a las condiciones del fluido que lo requiera. Pueden utilizar la activación magnética en materiales ferromagnéticos.

Las zapatas polares (Norte y Sur) del magnetizador (Figura. 2) generan un flujo magnético a lo largo del conducto, cuya magnitud puede ser ajustada variando la distancia L entre las mismas. De esta manera se controla la activación de la superficie interior del conducto de hierro y por ende la generación de centros de precipitación de las sales de dureza durante el TMS, lo cual se evalúa a partir de la efectividad del SMA.

Figura 1. Magnetizador AZUMAG de 8 pulg. instalado en los pre-evaporadores y evaporadores.

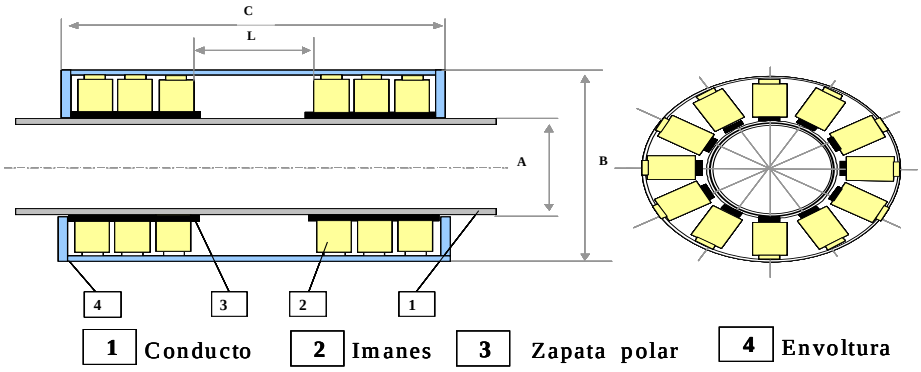


Figura 2. Partes constructivas del magnetizador AZUMAG

- **Información general de la UEB "14 de Julio", relacionada con el SMA.**

El central azucarero "14 de Julio" tiene una norma potencial de molida de 2 990 T/d. el sistema de evaporación esta constituido por dos pre-evaporadores trabajando en paralelo y un cuádruple efecto (Figura. 3).

Los equipos magnetizadores instalados en el sistema de evaporación, se encuentran distribuidos según se muestra en la Figura 3. A la entrada de cada pre-evaporador y vaso de evaporación del múltiple efecto, están instalados los magnetizadores bipolares de 8 pulg y 6 pulg respectivamente, con energía magnética y estructura geométrica ajustable a las características termodinámicas, hidráulicas y de composición del jugo de caña que entra a cada pre-evaporador y evaporador.

Es necesario mencionar que de los seis equipos magnetizadores que debían estar instalados actualmente, solamente hay cinco, estando pendiente uno por instalar que deberá incluirse para la zafra 2014. Estos magnetizadores están instalados en esta fábrica hace 7 años y su vida útil es de 8 a10 años aproximadamente, por lo que se va haciendo necesario pensar en la sustitución a corto plazo de los mismos. Durante el tiempo que llevan instalados estos equipos, los técnicos que trabajan en su

mantenimiento, han desarrollado una cultura en el cuidado y conservación de los magnetizadores, incluso se han buscado alternativas para la protección de los mismos.

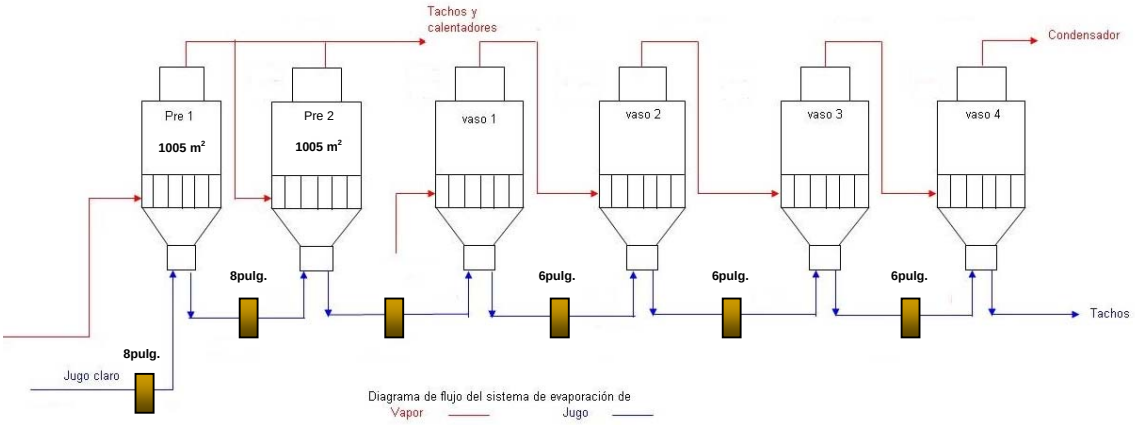


Figura 3. Distribución de los magnetizadores pre-evaporadores y evaporadores.

- **Situación actual de la producción de los magnetizadores.**

Los equipos magnetizadores AZUMAG de 6 y 8 pulg que se emplearon para llevar a cabo esta tecnología en la UEB "14 de Julio", fueron producidos por técnicos e investigadores del antiguo Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), que hoy forman parte del ICIDCA, en estrecha colaboración con diferentes entidades productoras de dispositivos magnetizadores y otros centros científicos (CIME, DITEL, CNEA. IMRE, CUJAE).

Uno de los principales problemas que presenta hoy el desarrollo de esta tecnología, es precisamente, la producción de estos equipos para que puedan adquiridos por las UEB. El país y en particular el Grupo Empresarial AZCUBA, trabaja actualmente en la habilitación de una fábrica que garantice la producción de estos equipos, lo que resulta esencial para lograr los resultados esperados en la industria azucarera.

Para estas producciones se destinó a la Empresa de Servicios Industriales (ZETI), ubicada en el municipio Sagua la Grande, provincia Villa Clara y la transferencia de la tecnología será realizada por el ICIDCA con el objetivo de realizar la producción y comercialización a nivel nacional e internacional de estos magnetizadores.

- **Desarrollo de la aplicación de la tecnología de TMA**

Las UEB durante la zafra, como parte del mantenimiento, realizan periódicamente paradas para limpiar el sistema de evaporación, con el fin de eliminar las incrustaciones que se forman en el mismo. Estas paradas normalmente en cualquier ingenio se realizan cada 12 días, con una duración de 12 horas cada uno. Con la aplicación TMA, a partir del 2006 se observó un efecto en el alargamiento de los días de mantenimiento y la cantidad de caña molida entre mantenimiento. En la zafra 2006-2007 se instalaron los magnetizadores, en el sistema de evaporación de la UEB "14 de Julio", con el objetivo de aumentar los períodos entre limpiezas. En la figura 4 se muestra un ejemplo del magnetizador AZUMAG instalado.

Figura 4. Magnetizador instalado a la entrada del 4to vaso de evaporación.

Los objetivos a alcanzar con la implementación del SMA en este central eran los siguientes:

- Alcanzar la máxima eficiencia en su conjunto de evaporación.
- Alargar los períodos entre limpiezas de los vasos evaporadores.
- Alargamiento de los ciclos de mantenimiento.
- Incremento de la caña molida entre mantenimiento
- Obtener ahorros de productos químicos, en las limpiezas realizadas a los evaporadores.
- Ahorro de energía (vapor) equivalente al consumo de bagazo.
- Disminuir el consumo de agua.

- **Evaluación técnico – económica del efecto del TMA.**

Para realizar la evaluación técnico-económica de la aplicación del TMA en esta fábrica, se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

1. Los datos utilizados para los análisis correspondieron a las zafras antes de la aplicación del TMA (2003-2006) y después de la aplicación del TMA (2007-2011) y fueron tomados de los partes diarios emitidos en la sala de control de la UEB “14 de Julio”.
2. La moneda utilizada para el análisis económico fue el Peso Cubano (CUP) y el Dólar Norteamericano (USD).
3. El precio de los productos químicos empleados en la limpieza fueron tomados del Listado Oficial de Precios de Ministerio del 2010.
4. Se consideraron los índices de consumo de productos químicos y materiales para la limpieza reportados por la fábrica.
5. Para ver el efecto en el incremento de la caña molida entre mantenimiento se tomó como referencia datos del comportamiento antes de la aplicación del TMA y se compararon con una zafra después de instalado los equipos magnetizadores, zafra 2011.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

En la tabla I se muestra el comportamiento de algunos indicadores de las zafras antes y después de aplicado el TMA. Los valores reportados evidencian que la fábrica mantiene valores de eficiencia significativos, considerados entre los mejores del país, con un rendimiento industrial promedio de 11%, manteniendo una estabilidad hasta la actualidad. En estos resultados además de otros factores, ha tenido una influencia de forma positiva, la aplicación del tratamiento magnético, ya que se ha logrado alargar los días de operación del sistema de evaporación, permitiendo moler más caña diariamente, así como lograr que se cumpla con el plan de producción de azúcar planificado en menos días efectivos de zafra, incrementándose el cumplimiento de la norma potencial (Np) en un 4 %, ya que en el período 2003 - 2006 antes de la aplicación del TMA, la Np promedio era de 76% y en el segundo período 2006-2011, después de aplicado el TMA, se incrementó al 80% .

Tabla I: Comportamiento de los principales indicadores de zafra.

Zafra	Caña (TM)	Azúcar (TM)	Miel (TM)	Cumplimiento de la norma potencial (%)	Rendimiento Industrial (%)
2002-2003	247.000	25.893	9.110	77.25	10.48
2003-2004	363.277	39.300	11.634	87.15	10.82
2004-2005	220.389	26.807	7.105	77.11	12.16
2005-2006	177.655	20.081	5.208	66.15	11.30
2006-2007	235.764	27.912	7.058	77.00	11.84
2007-2008	185.496	20.840	5.553	66.21	11.23
2008-2009	244.875	27.431	6.440	85.00	11.20
2009-2010	291.871	32.985	7.279	82.00	11.30
2010-2011	300.439	34.534	7.867	90.30	11.49
2011-2012	346.696	38.553	9.215	82.00	11.12

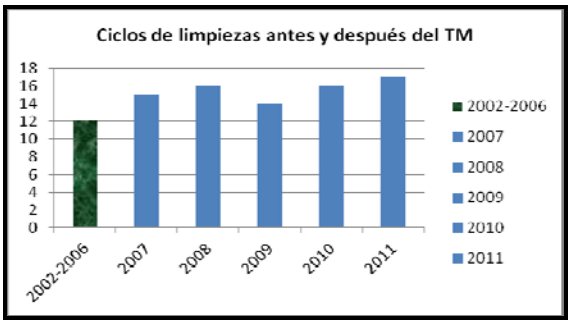
La UEB “14 de Julio” durante la zafra, como parte del mantenimiento, realizaba periódicamente paradas para la limpieza del sistema de evaporación, con el fin de eliminar las incrustaciones que se forman en los evaporadores. Estas paradas normalmente se realizaban cada 12 días y la caña molida entre mantenimiento era de 28700 TM, con una duración de 12 horas cada uno. Si tomamos como referencia la operación de este ingenio en el año 2011, con la aplicación TMA se observó un efecto en el alargamiento de los días de mantenimiento a 17 días y la caña molida entre mantenimiento se incrementó a 43337 TM.

Por otra parte si se analiza el comportamiento de los ciclos y las cantidades de limpiezas realizadas a los evaporadores, en las tablas II y III y en las figuras 5 y 6 se muestran los valores de los mismos antes y después de la aplicación del tratamiento magnético.

Tabla II. Ciclos promedios anuales de limpieza realizados, antes y después del TMA.

Año	Ciclos de limpiezas (d)
2003-2006	12
2007	15
2008	16
2009	14
2010	16
2011	17

Figura 5. Comportamiento de los ciclos de limpieza antes y después del TMA.

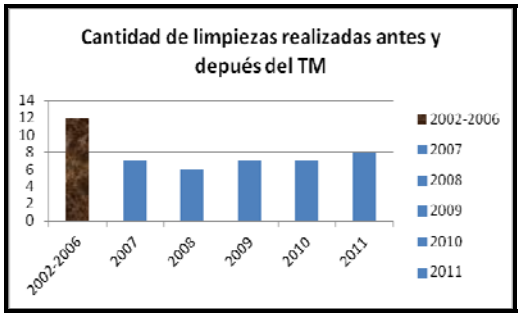


Como puede apreciarse hubo un incremento de 12 a 16 días como promedio en la duración de los ciclos de limpieza en las zafras después de aplicado el TMA, superando así los ciclos históricos de trabajo del sistema de evaporación en 4 días, esto tienen gran impacto también en la reducción del vertimiento de desechos contaminantes a medio ambiente. En la mayoría de los casos superaron los 15 días y solo uno se comportó por debajo de este valor que fue de 14 días.

Tabla III. Cantidades de limpieza promedios anuales realizadas antes y después del TMA.

Año	Cantidad de limpiezas realizadas (u)
2003-2006	12
2007	7
2008	6
2009	7
2010	7
2011	8

Figura 6. Comportamiento de las cantidades de limpieza antes y después del TMA.



Si se analiza la cantidad de limpiezas realizadas, los valores de la tabla III y el comportamiento de la figura 6 muestran una disminución de un 42% de las cantidades de limpiezas realizadas a los evaporadores, ya que de 12 como promedio que se realizaban antes de aplicar el TMA, se redujo a un promedio de 7. Este efecto produce un impacto en el ahorro del consumo de productos químicos y agua utilizados para este fin así como del consumo de bagazo, debido a que se disminuyen las paradas por concepto de limpieza del múltiple efecto. Además se logran incrementos en la eficiencia de la fábrica manteniéndose las cantidades de toneladas promedios de azúcar producida en menores tiempos de zafra.

Para el desarrollo de esta tecnología los gastos fundamentales en que se incurren están asociados fundamentalmente al empleo de productos químicos, energía (bagazo) y mantenimiento. A continuación en la tabla IV aparecen los principales gastos en los períodos 2003- 2006 (antes del TMA) y 2007 - 2011 (después del TMA) y se muestran la cuantificación de los ahorros obtenidos en USD y en porciento, de un período con respecto al otro.

Tabla IV. Principales ahorros en los gastos incurridos en la operación de limpieza de los evaporadores

Concepto	2003-2006	2007-2011	Ahorro (USD)	Ahorro (%)
Productos químicos	20,362.44	12,242.81	**8,119.63**	**40**
Energía	210,173.56	167,489.28	**42,684.28**	**20**
Mantenimiento	19,985.18	19,214.11	**771.06**	**4**
TOTAL	250,521.17	198,946.20	**51,574.97**	**21**

Los resultados de esta tabla muestran que hubo un ahorro promedio total en los gastos de la operación de limpieza de los evaporadores de 51.574,97 USD, siendo la disminución de un 21% en relación al período antes de aplicarse el TMA. De todos los gastos analizados, los productos químicos son los que mayor influencia tienen, con un 40%.

En la tabla V se refleja el ahorro promedio en CUP, por disminución de paradas del ingenio para la limpieza de los evaporadores antes y después de aplicado el TMA. El mismo está basado fundamentalmente en la disminución del número de limpiezas de un período con respecto al otro.

Tabla V. Ahorros por disminución de paradas del ingenio para la limpieza de los evaporadores.

Concepto	2003-2006	2007-2011	Ahorro (CUP)	Ahorro (%)
Ahorro /paradas	1,814,400.00	747,315.00	**1,067,085.00**	**-**
TOTAL	1,814,400.00	747,315.00	**1,067,085.00**	**59**

Los resultados evidencian que hubo un ahorro del 59% del período 2007-2011 (con TMA) con relación al período 2003-2006 (sin TMA), equivalente a 1.067.085,00 CUP como promedio.

CONCLUSIONES

Este trabajo permite demostrar que efectivamente, la aplicación de Sistema de Magnético Antiincrustante (SMA) constituye una de las alternativas más eficientes para eliminar los efectos que producen las incrustaciones en los sistemas de evaporación en las fábricas de azúcar, ya que el mismo permite obtener los siguientes beneficios:

- Alargamiento de los días de operación del sistema de evaporación, permitiendo moler más caña diariamente y que se cumpla con el plan de producción de azúcar planificado en menos días efectivos de zafra, incrementándose el cumplimiento Np promedio de un 76% en el período 2003 -2006 a un 80% en el período 2006-2011.
- Incremento de los ciclos entre limpieza de los evaporadores de 12 a 16 días como promedio, superando así los ciclos históricos de trabajo del sistema de evaporación en 4 días.
- Incremento de la caña molida entre limpieza en un 66%.
- Disminución de un 42% de las cantidades de limpiezas realizadas a los evaporadores como promedio de 12 a 7.
- Reducción del volumen de desechos contaminantes al medio ambiente.
- Efecto económico positivo ya que se logra una reducción apreciable de los costos con respecto al período en que no se aplicaba esta tecnología.

RECOMENDACIONES

- Instalar en todas las UEB del país estos dispositivos para ayudar a alcanzar mejores niveles de eficiencia industrial de los centrales y tener ahorros económicos para el país.

- Lograr la transferencia de tecnología a la Empresa de Servicios Industriales (ZETI) para la producción de estos equipos y de esta forma poder disponer de los mismos.

REFERENCIAS

- Dunand, R.; Cepero, I.; Martínez, R.; y otros (2009), Informe final del proyecto “Aplicación Integral de la Tecnología Magnética en Procesos de la Agroindustria Azucarera. ICINAZ.
- Tirado, D.; Espinosa, E.; Martín, O.; y otros, (2012), Evaluación actualizada del efecto del tratamiento magnético en el central 14 de julio. XVI Fórum de Ciencia y Técnica.
- Dunand, R. y colaboradores, (1991). Estudio preliminar de las variables que influyen en el tratamiento magnético de disoluciones acuosas. Industria Azucarera, No. 1.
- Dunand, R. y colaboradores (1991). El campo magnético y su utilización como método para inhibir las incrustaciones en las instalaciones de intercambio calórico de las fábricas azucareras. Industria Azucarera, No. 2.
- Dunand, R.; Martínez, R.; Cepero, I., (2009). Introducción al Tratamiento magnético de fluidos acuosos. Algunas experiencias de sus aplicaciones, 69-98.
- Martínez, A. R.; Abad, J. (1998). Tratamiento Antincrustante en Sistemas de Evaporación de la Industria Azucarera. XII Forum de Ciencia y Técnica.
- Morales, M.; Cepero, I., (2013). Informe final “Efecto técnico-económico de la aplicación del Sistema Magnético Antiincrustante en los evaporadores de la UEB 14 de Julio”. Proyecto 232 “Eficiencia industrial y energética”, ICIDCA.

Biocombustibles

www.process-design-center.com

Hydrous ethanol in Gasoline
“wet is better than dry”

Hans Keuken, CEO

ECCE9-ECAB2

The Hague, The Netherlands

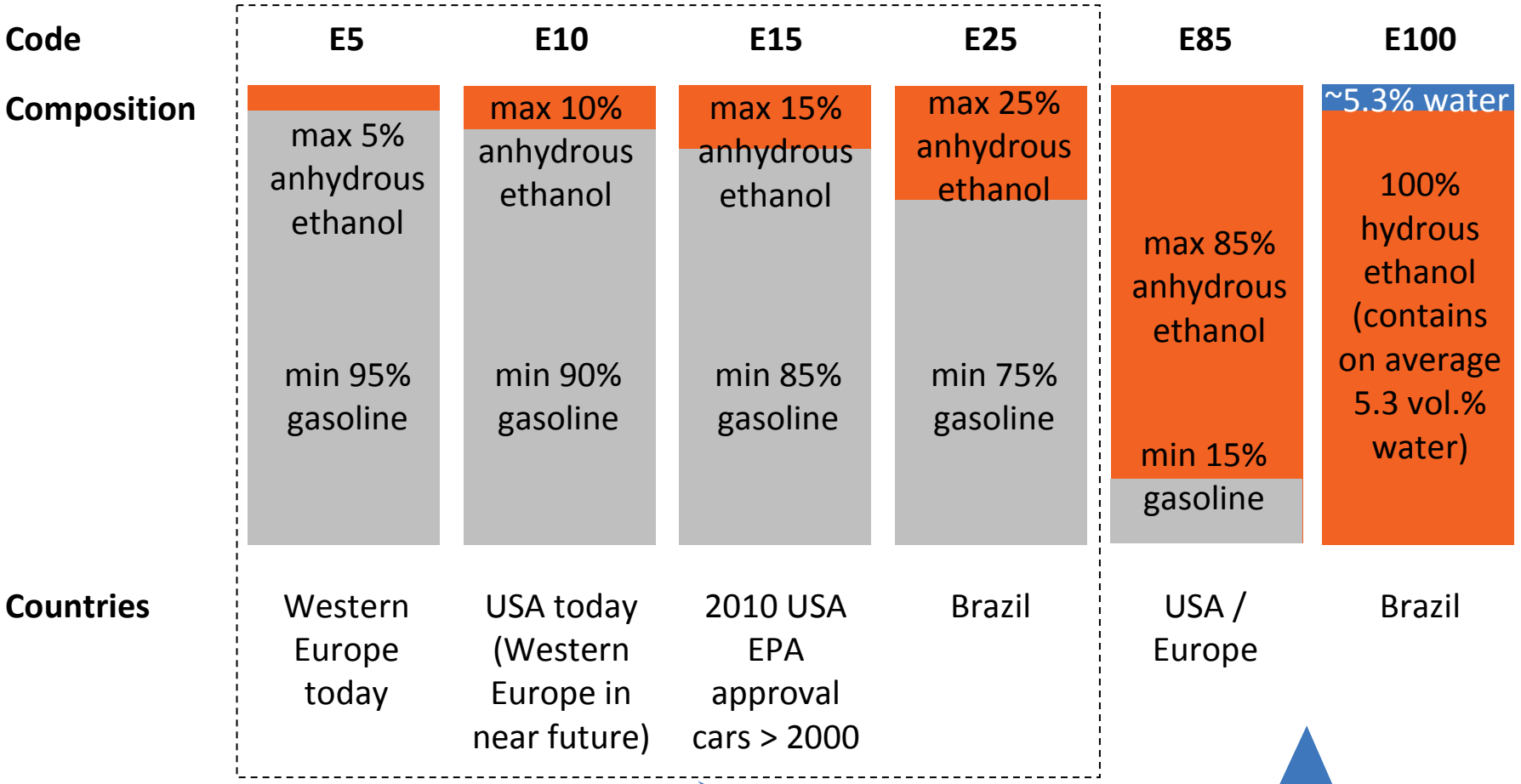
April 24, 2012

Hydrous & anhydrous ethanol

- Hydrous ethanol can be distilled up to 3.5 volume% water (limit = azeotrope)
- Anhydrous ethanol is further dehydrated to contain less water typically < 1%
- Dehydration units require additional capital & operating cost (energy)
- Brazilian prices in US$/ltr. can be found at www.cepea.esalq.usp.br/english/ethanol/?id_page=243
- Hydrous ethanol is approximately 15% cheaper

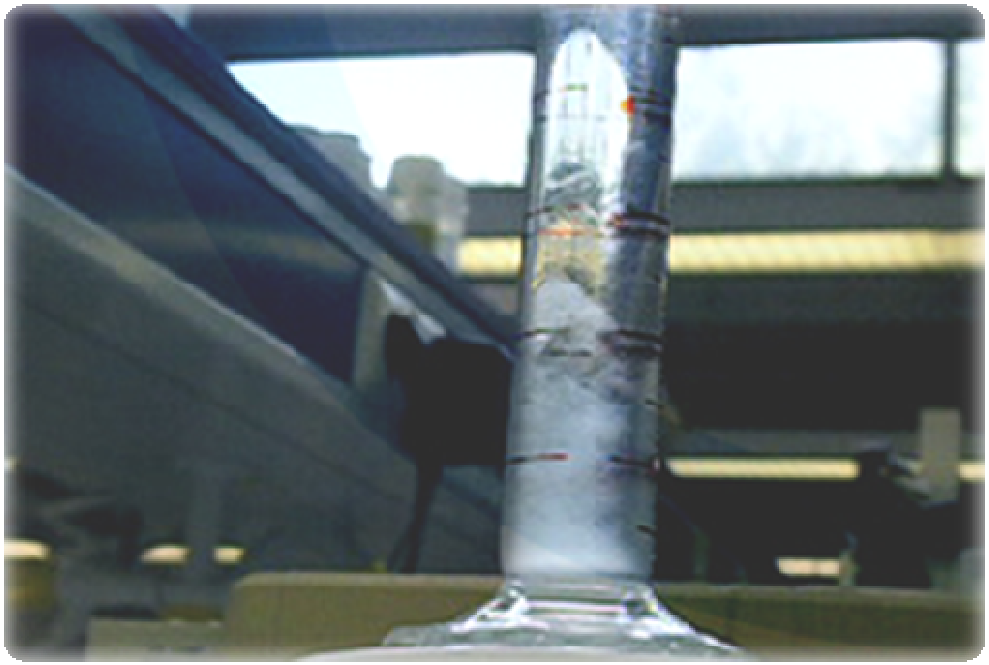
PDC copyright 2013

Composition of ethanol containing fuels



Conventional wisdom in blending

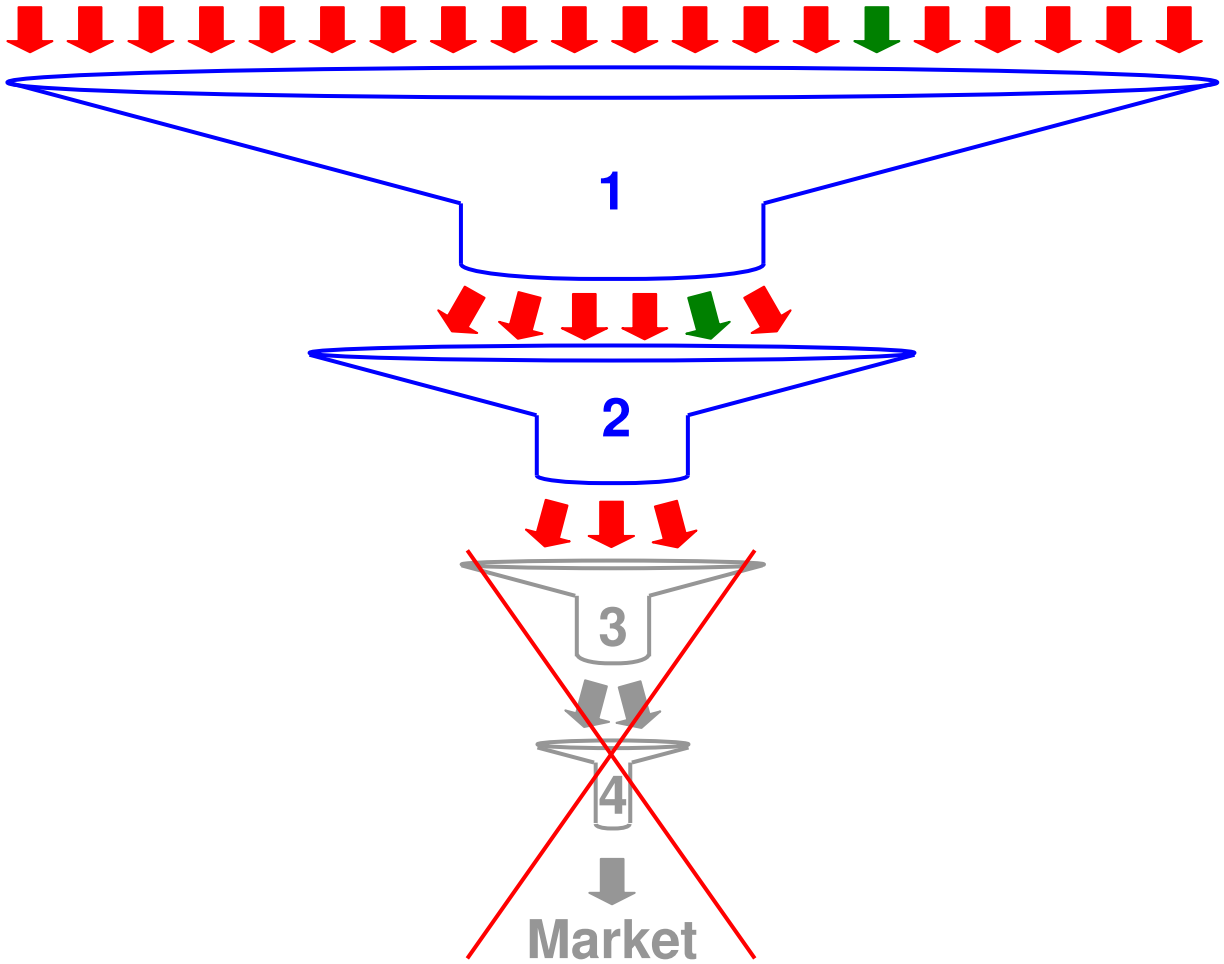
- Gasoline and water do not mix (2-liquid-phase system).
- One expects simply water to create corrosion.
- Ethanol has to be free of water to be blended in gasoline.
- Blends of dry ethanol with gasoline will pick-up water, e.g. from air humidity, logistical systems.



PDC copyright 2013

PDC's idea to overcome the azeotrope

How to overcome ethanol/water azeotrope?

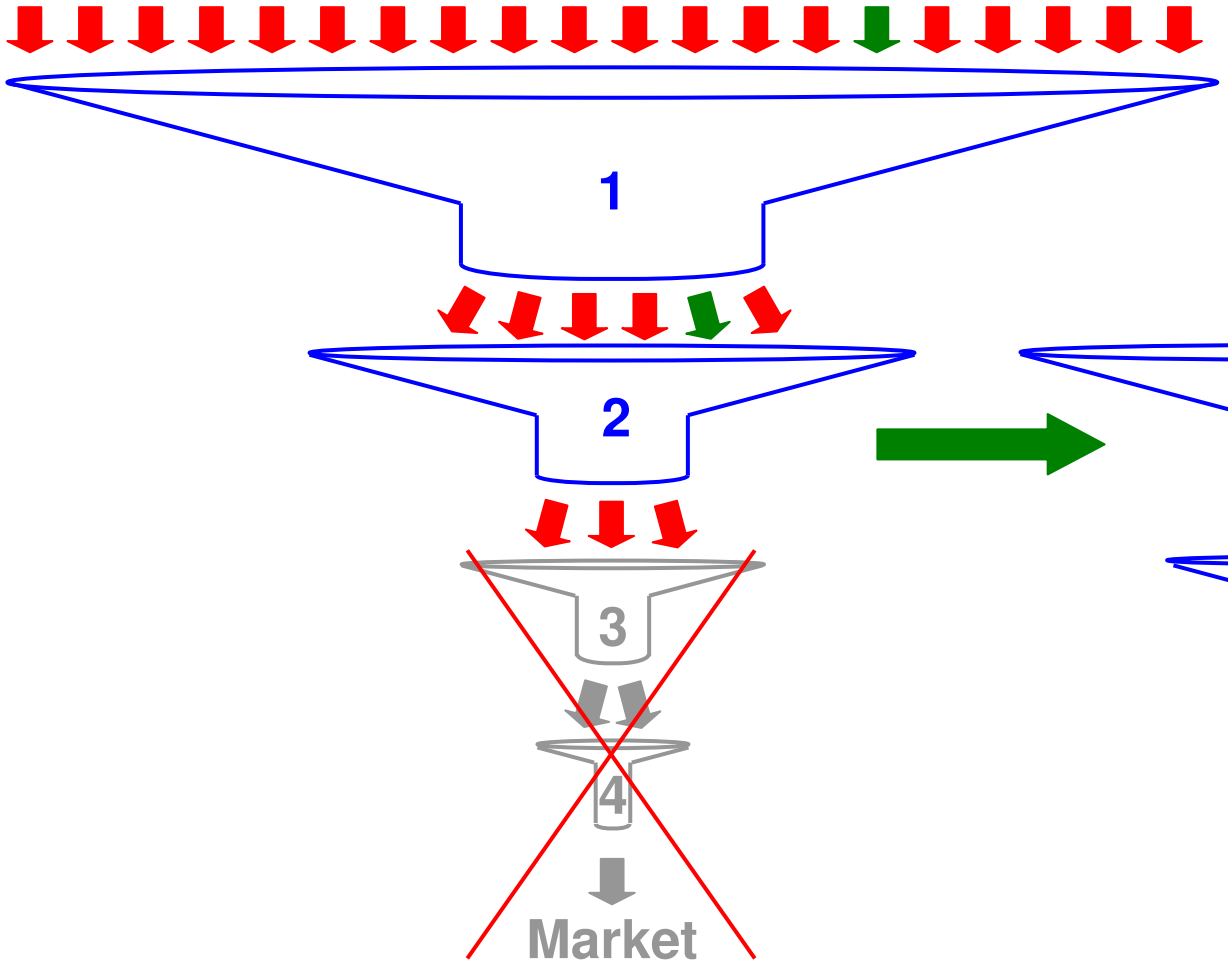


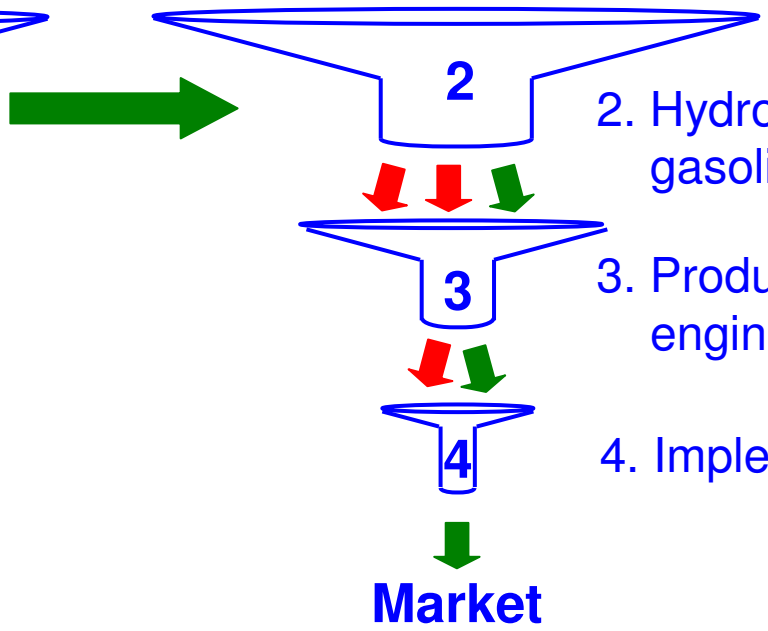
1. Ethanol extraction using gasoline
2. R&D
3. Engineering
4. Implementation

PDC copyright 2013

If we cannot get the water out ..... why not leaving it in?

How to overcome ethanol/water azeotrope?





1. Ethanol extraction using gasoline

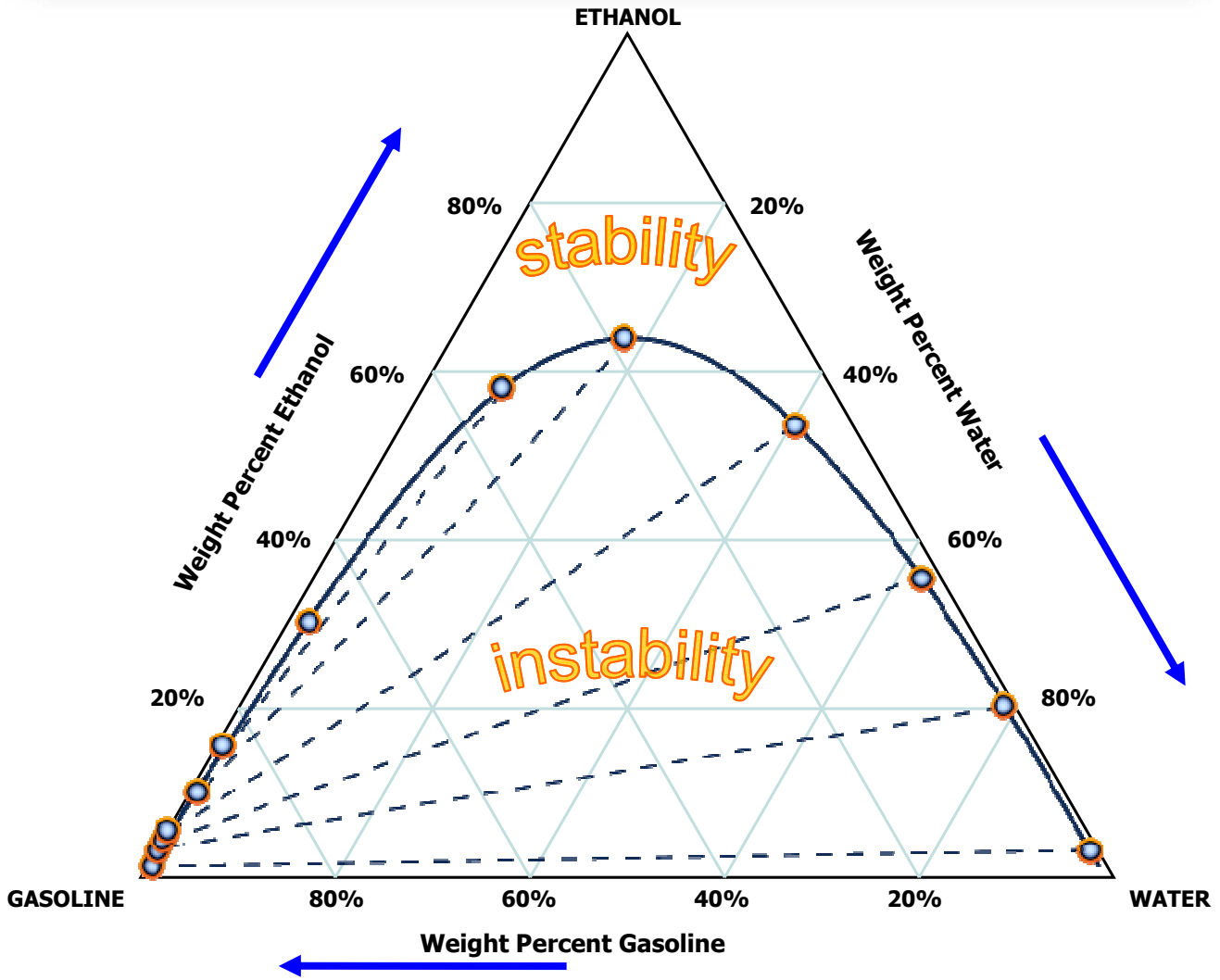
2. Hydrous ethanol gasoline

3. Product engineering

4. Implementation

PDC copyright 2013

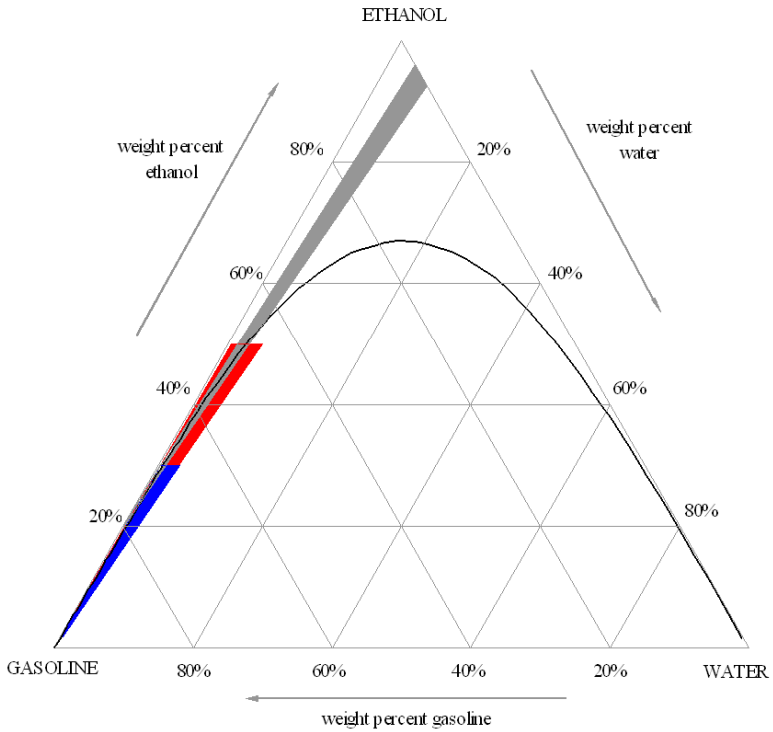
Ternary Diagram & Phase Separation



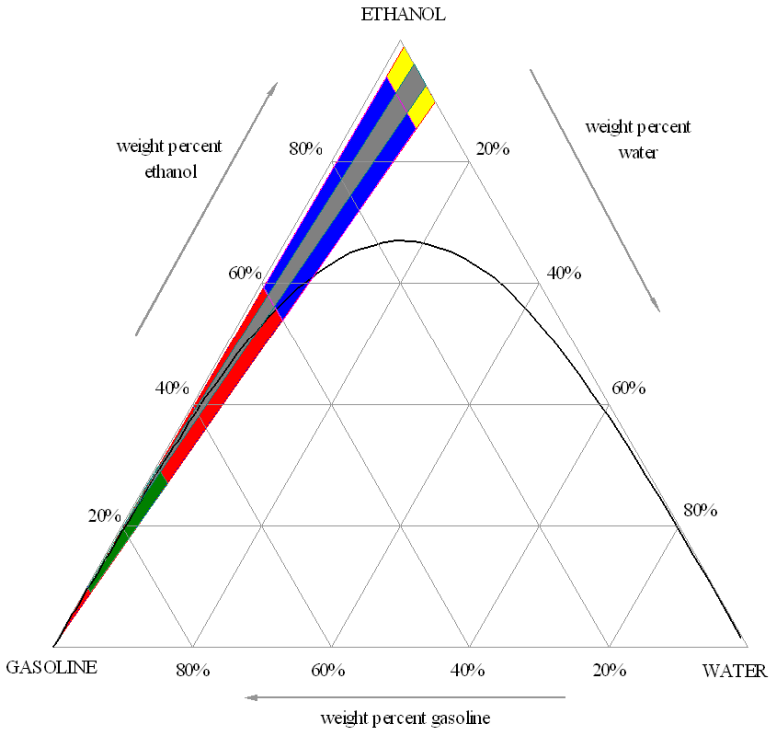
PDC copyright 2013

Patents: E1-E95 with 1-10% water on ethanol

Blends



Use



PDC copyright 2013

Shell confirmation hydrous ethanol for E10+

Shell Research - Amsterdam Sept. 2006

- Straight gasoline: haziness observed at -5ºC
- Straight gasoline + 5% hydrous Ethanol (hE5): haziness observed at -34ºC
- 10, 15 and 20% hydrous Ethanol: haziness could not be detected at -60ºC

Phase separation is not observed in any of the above blends!

PDC copyright 2013

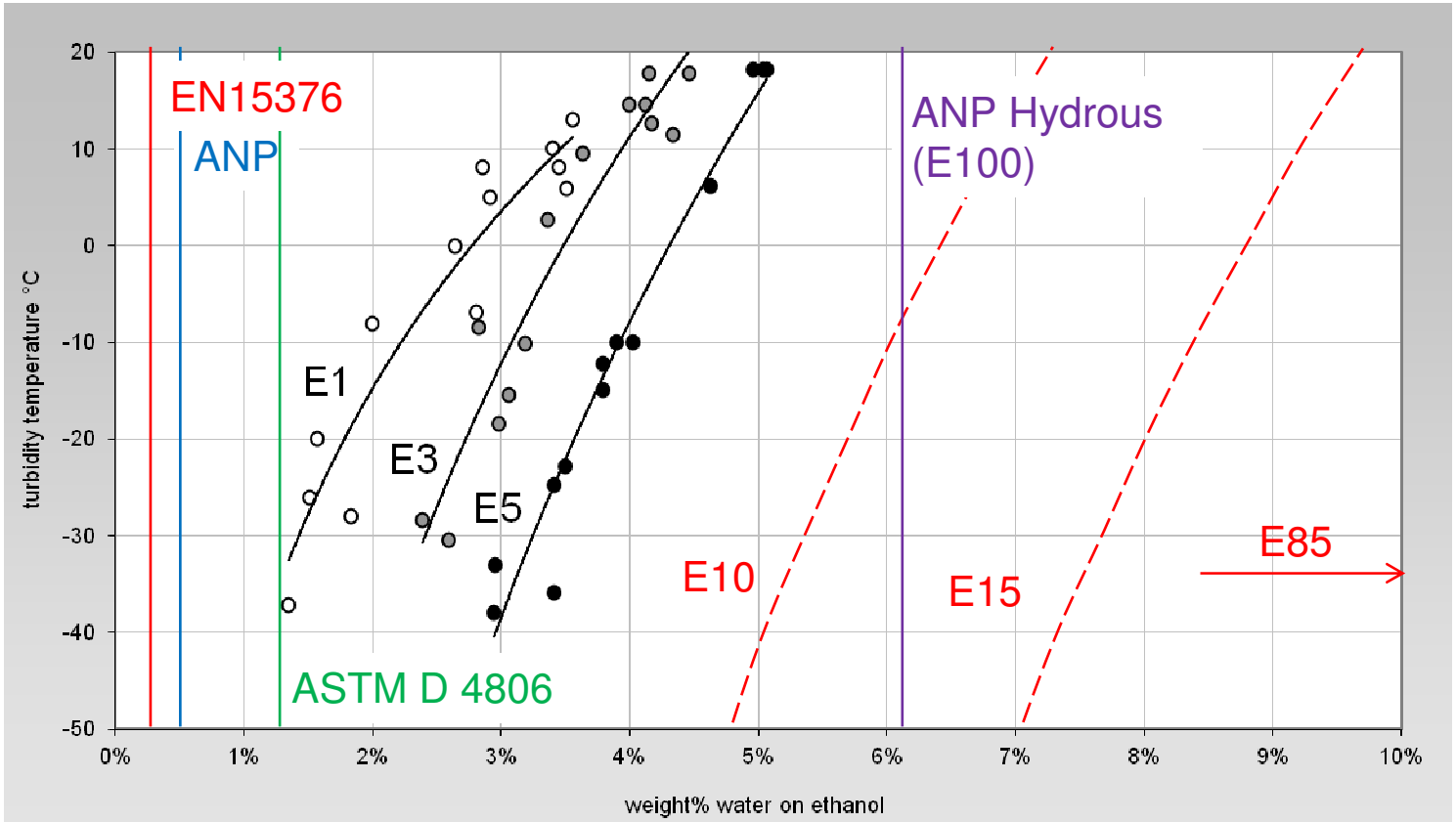
Our hE15 VW Golf test car

- **TNO performed hydrous E15 (hE15) emission tests in 2006 ordered by The Netherlands Ministry of Environmental Affairs (VROM). The positive results led to the permission to sell & use hE15 at gas stations.**

PDC copyright 2013

VW Golf drove 174.000 km since 2006

Phase Stability Ethanol Blends

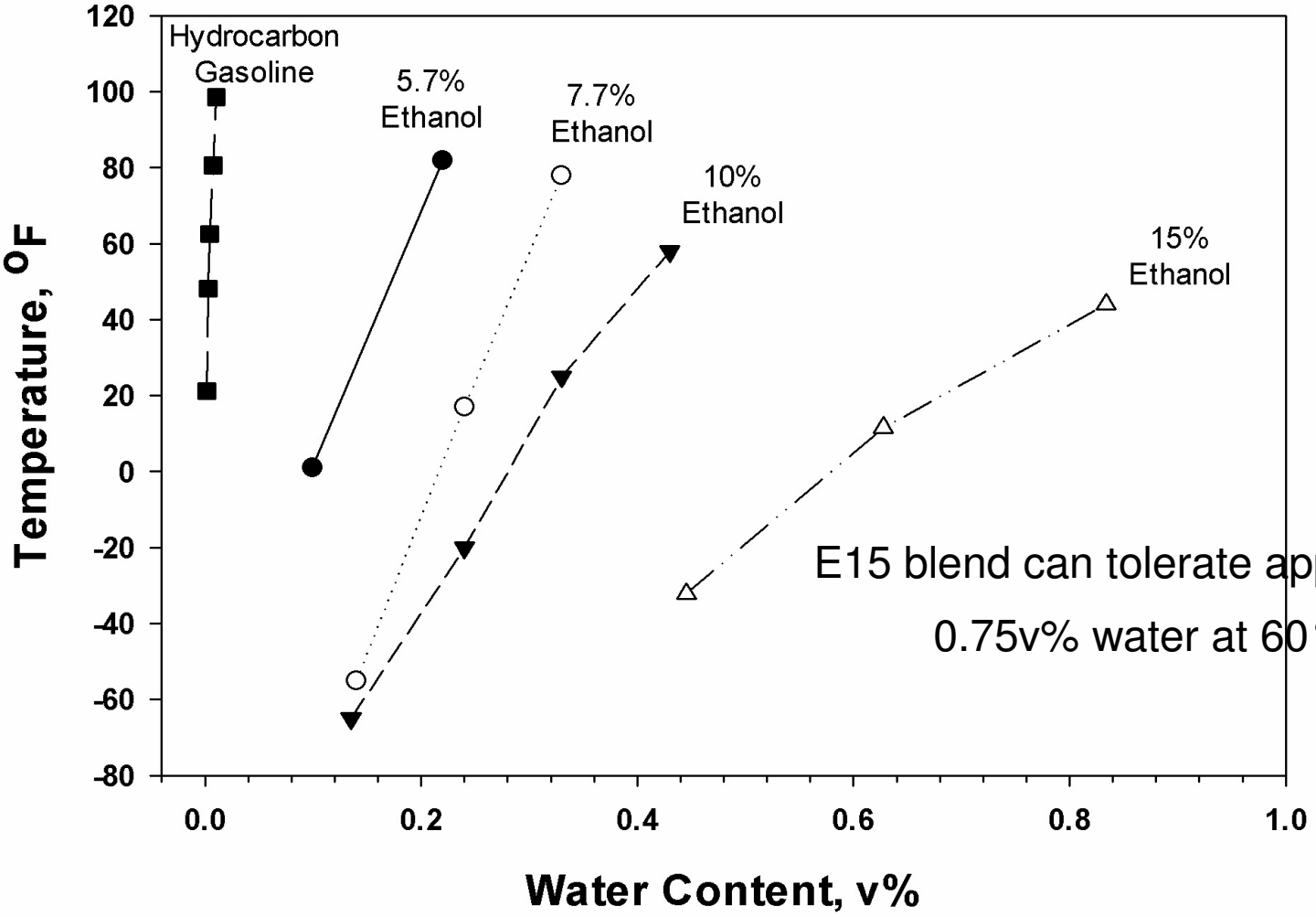


Data points: Terschel, DGMK (German Society for Petroleum and Coal Science and Technology) report 645 (2005)

PDC copyright 2013

A lower aromatic content results in a lower water tolerance

Copyright © 2012 Renewable Fuels Association.



E15 blend can tolerate approximately 0.75v% water at 60°F

Two basic types of corrosion

- **Electrochemical corrosion "wet corrosion"**

  Facilitated by conductivity especially in case of phase separation and the formation of a water layer in low blends (<E10)

Corrosion at the bottom of a tank after phase separation of water
Source: METI, Japan

- **Alcoholate (alkoxide) corrosion "dry corrosion"**

"dry" alcoholate corrosion of a cast Al-alloy in an E10 gasoline blend

Source: TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT — MPA Darmstadt IfW — Fraunhofer LBF — SzM

PDC copyright 2013

Wet Corrosion Tests by Sasol

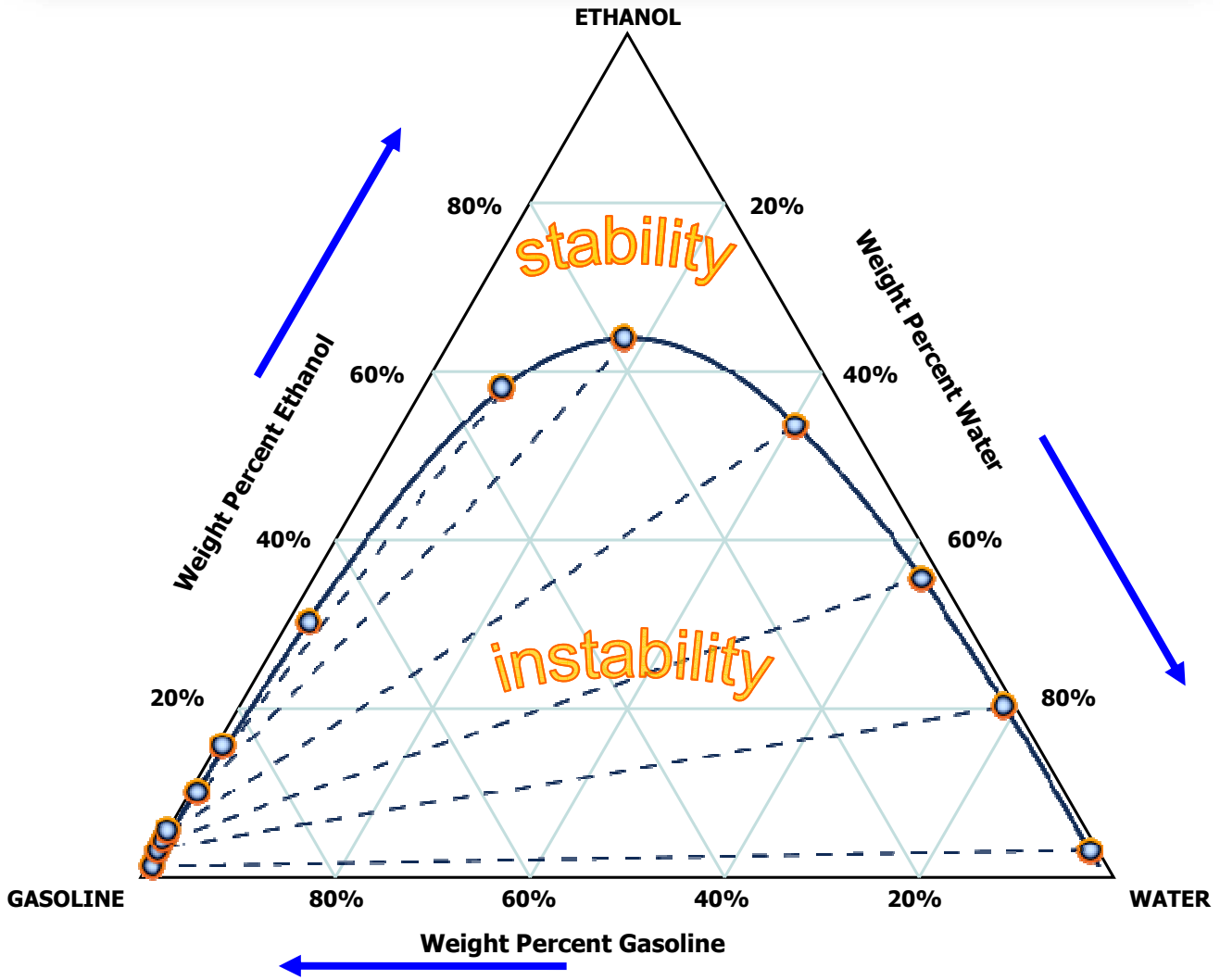
- **Sasol's "wet corrosion" tests (ASTM D665) of E2 and E10 on aluminum parts.**
  - Wet corrosion is corrosion in the presence of water

- **Sasol found:**
  - Both the base gasolines as well as the ethanol containing fuels (at 2% ethanol content) were corrosive during the wet corrosion test.
  - These fuels required additisation in order to prevent wet corrosion.
  - At 10% ethanol (bioethanol and synthetic ethanol) none of the fuels were corrosive in the wet corrosion test.

Presented at the XVIII International Symposium on Alcohol Fuels
(Delhi – India ISAF 2010)

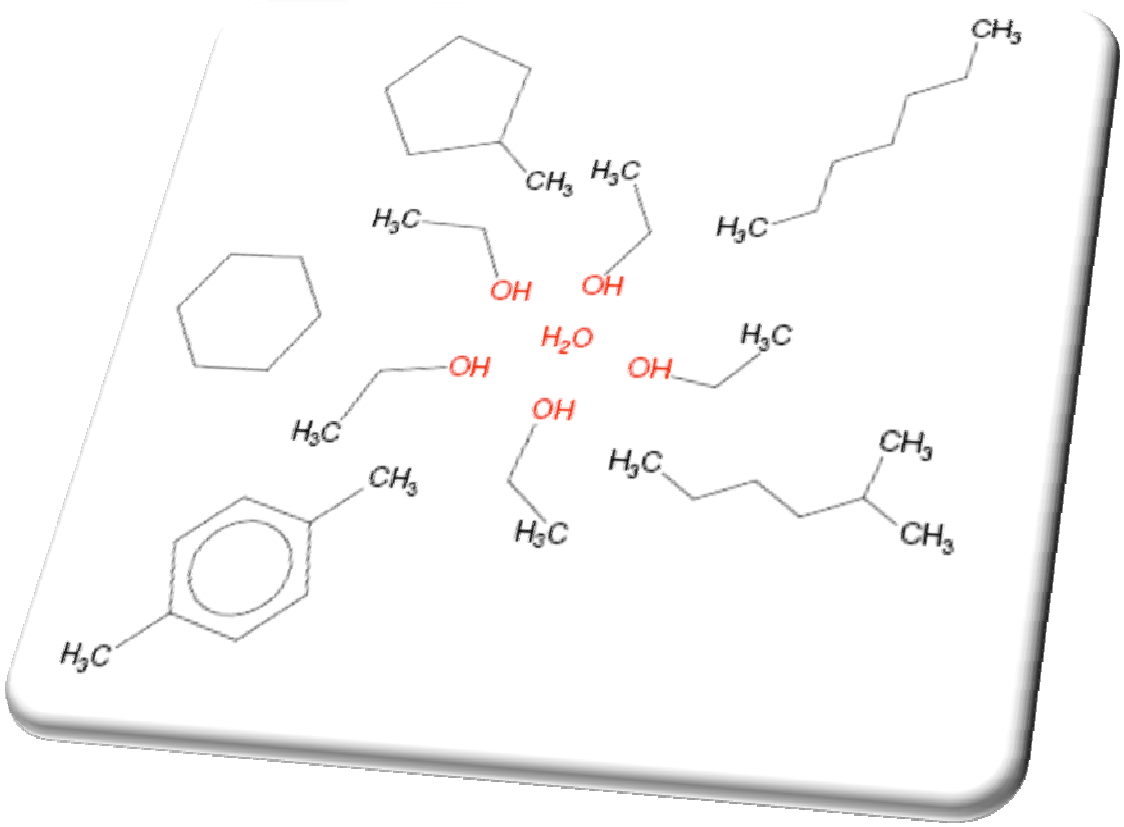
PDC copyright 2013

Ternary Diagram & Phase Separation



PDC copyright 2013

Capture H2O



PDC copyright 2013

Conductivity E10's adding salt water

Salt Water	E10, dry	E10, 0.2% water	E10, 0.5% water
0,10%	0,003	0,010	0,015
0,20%	0,015	0,008	0,010
0,30%	0,006	0,010	0,011
0,40%	0,015	0,009	0,010
0,50%	0,203	0,009	0,012
0,60%	0,276	0,009	0,012
0,70%	0,259	0,009	0,012
0,80%	0,201	0,020	0,013
0,90%	0,185	0,018	0,013
1,00%	0,182	0,018	0,012

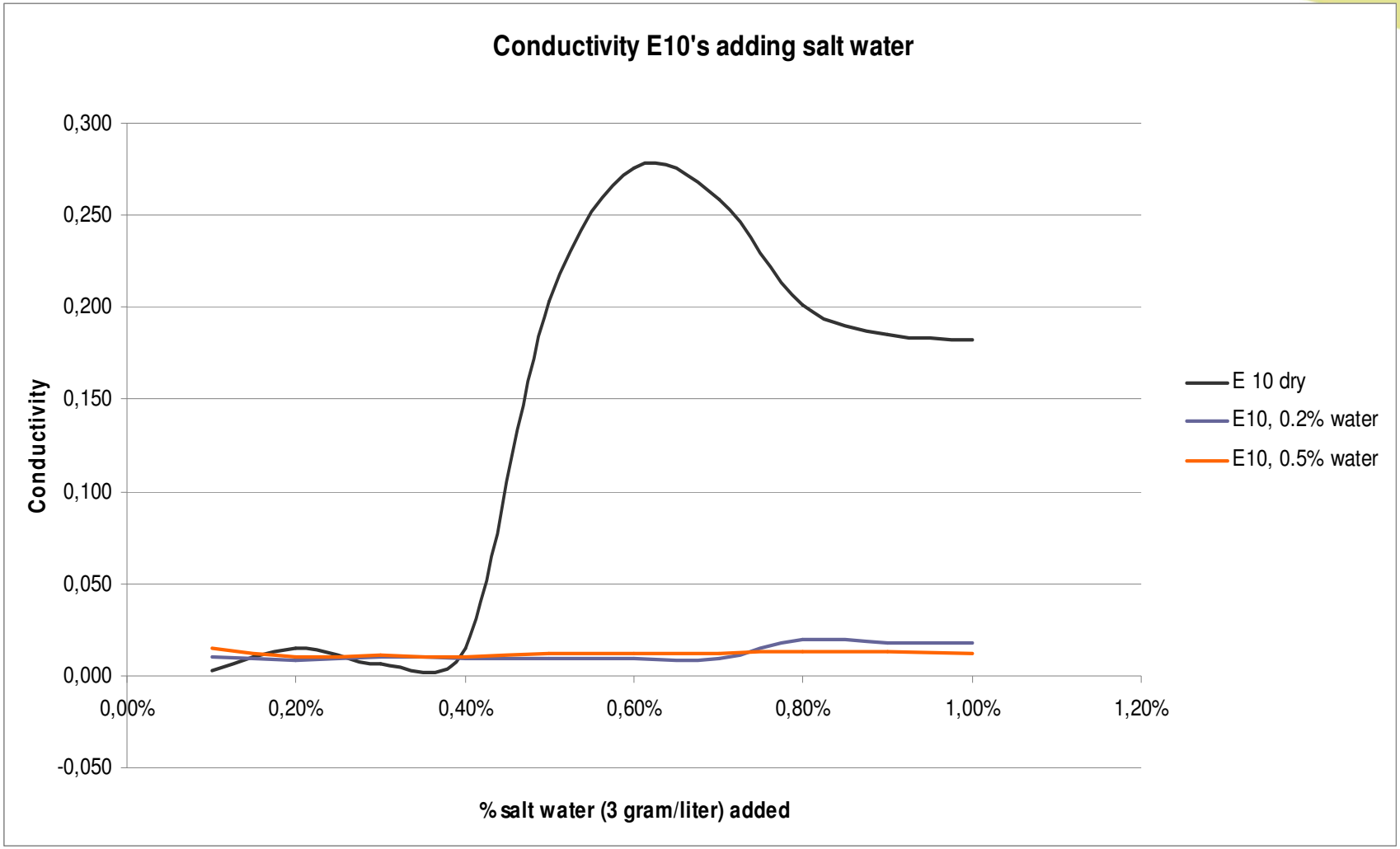
Test by SGS last week to see if more hydrous E10 picks up more salts?

salt drops out

free water

PDC copyright 2013

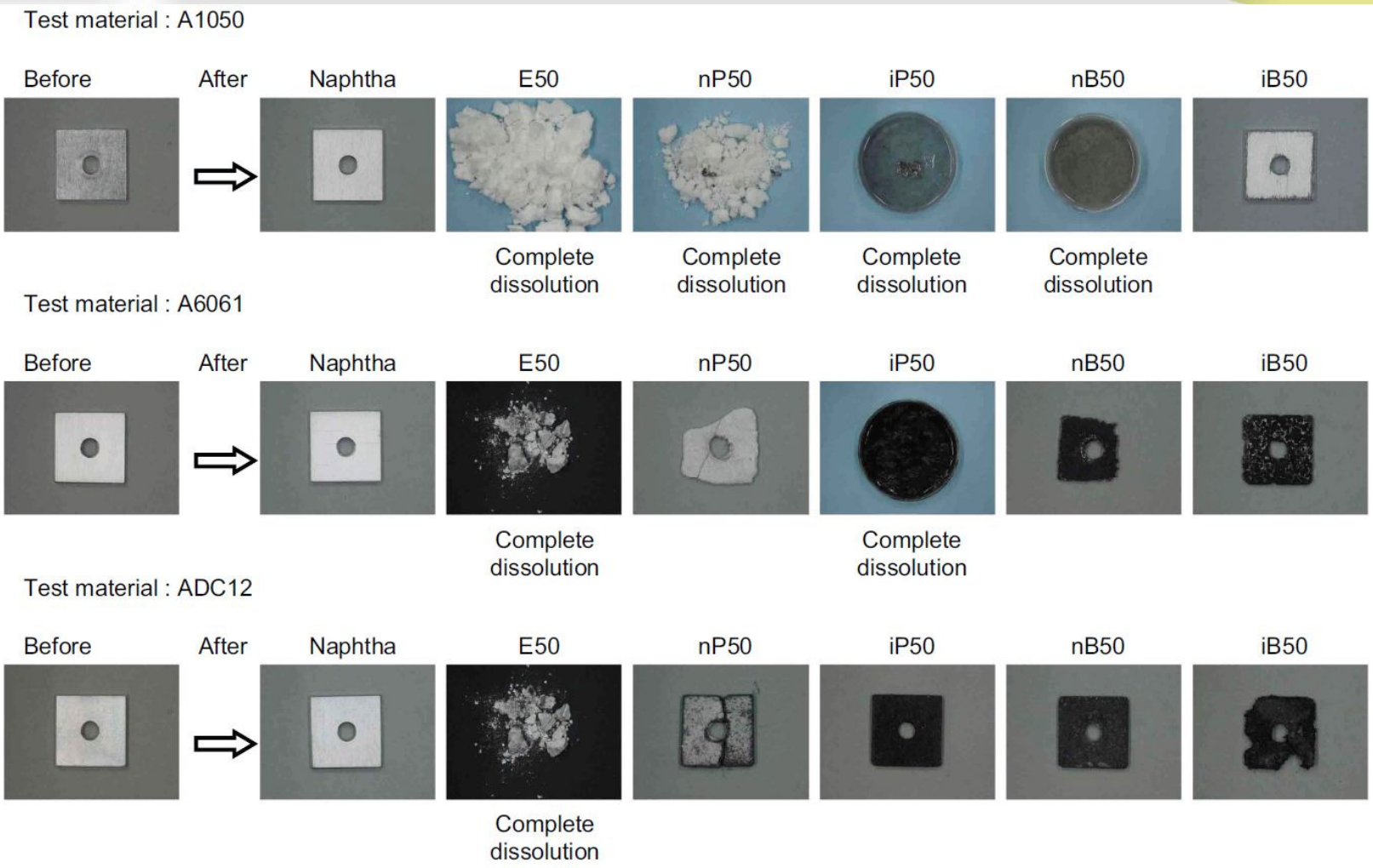
Conductivity E10's adding salt water



PDC copyright 2013

Dry Corrosion Research Japan (JARI)

SAE paper 2005-01-3708 Appendix 3.1 Copyright © 2005 SAE International



Appendix 3.1 Photographs of the immersion test results using a single alcohol fuel.
(Alcohol content : 50%, Water content : 150ppm).

Dry Corrosion Research Japan (JARI)

SAE paper 2005-01-3708 Appendix 1.1 Copyright © 2005 SAE International

Material in fuel system	Type	Gasoline 100%	E50 with 150 ppm water (overall) *	E50 with 500 ppm water (overall) *	E50 with 2000 ppm water (overall) *	E50 with 10.000 ppm water (1%, overall) *
Aluminum	A1050	OK	complete dissolution	complete dissolution	complete dissolution	OK
Aluminum	A6061	OK	complete dissolution	complete dissolution	OK	OK
Aluminum	ADC12	OK	reduction in mass	reduction in mass	OK	OK
Steel		change in surface	OK	OK	OK	change in surface
Copper		change in surface	change in surface	change in surface	change in surface	change in surface
Nickel		OK	OK	OK	OK	OK
Zinc		OK	change in surface	change in surface	OK	change in surface
Tin		OK	change in surface	change in surface	change in surface	OK

Legend:

OK	*No change observed*
change in surface	*change in color for instance, but no reduction in mass*

* *1 vol% overall water in E50 means a concentration of 2 vol% water in the added ethanol*

Alcoholate corrosion of aluminum

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Refers to the chemical corrosion of metals in the presence of fuel alcohol containing fuel blends
- Alcohols can react with aluminium alloys, lead and magnesium with the formation of alkoxide or alcoholate corrosion products

$$3C_2H_5OH + Al \rightarrow (C_2H_5O)_3Al + 3/2H_2 \quad (1)$$

$$(C_2H_5O)_3Al + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3C_2H_5OH \quad (2)$$

$$(C_2H_5O)_3Al \rightarrow Al_2O_3 + 6C_2H_4 + 3H_2O \quad (3)$$

(1) alcoxides (alcoholate) get hydrolyzed (2) or decomposed (3)

Damaging process may progress rapidly and is accompanied by an increase in pressure due to hydrogen formation

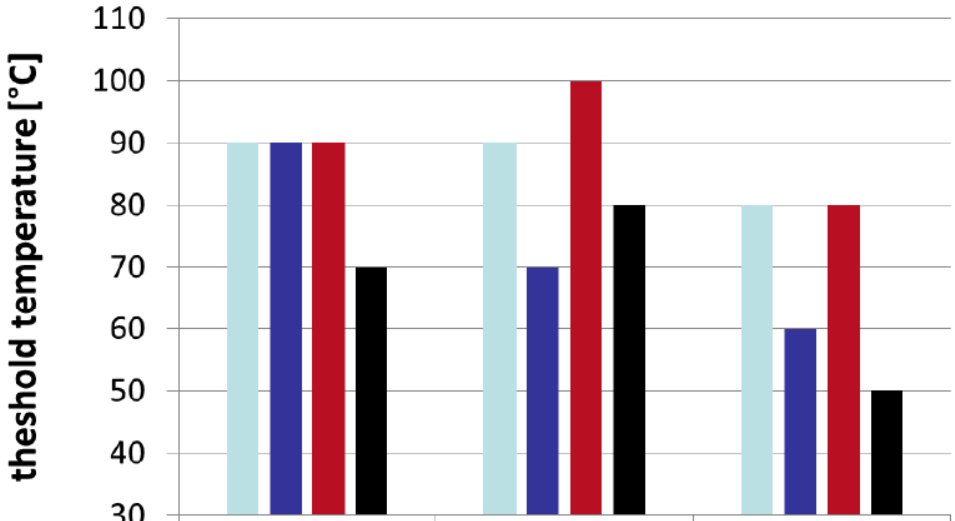
Alcoholate corrosion of Al

Alcoholate (dry) corrosion of aluminum

Technical temperature threshold

Influence of EtOH-content

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



	E10	E20	E85
Al99,5	90	90	80
AlSi9Cu3	90	70	60
AlMn1	90	100	80
Alusil	70	80	50

Observations:

- **Al99,5 / AlSi9Cu3** drop of threshold with increasing EtOH-content
- **AlMn1 / Alusil** highest threshold for E20, lowest E85
- Lowest overall threshold for cast **Alusil / E85**

Alcoholate (dry) corrosion of aluminum

Technical temperature threshold

Influence of water-content

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

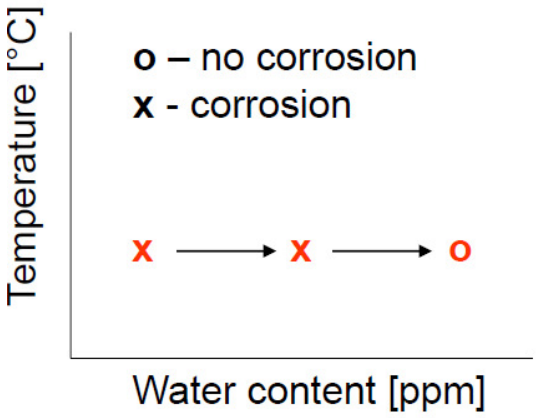
Starting temperature:

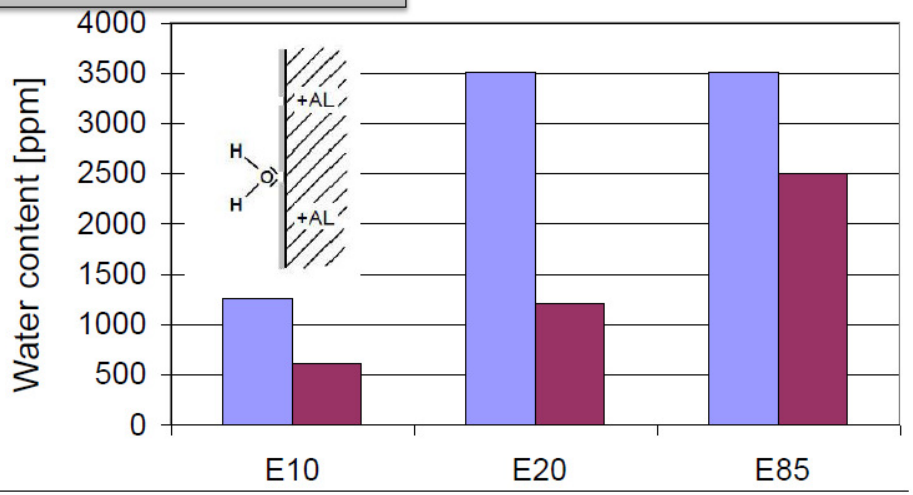
10 °C above the highest temperature level with **assured** alcoholate corrosion ➔ water addition, until no alcoholate corrosion occurs at this temperature level.

Starting temperature:

Al99,5	AlSi9Cu3
E10: 130°C	E10: 120°C
E20: 130°C	E20: 110°C
E85: 120°C	E85: 100°C

⇨ **Inhibition of alcoholate corrosion by water additions is possible, but....**

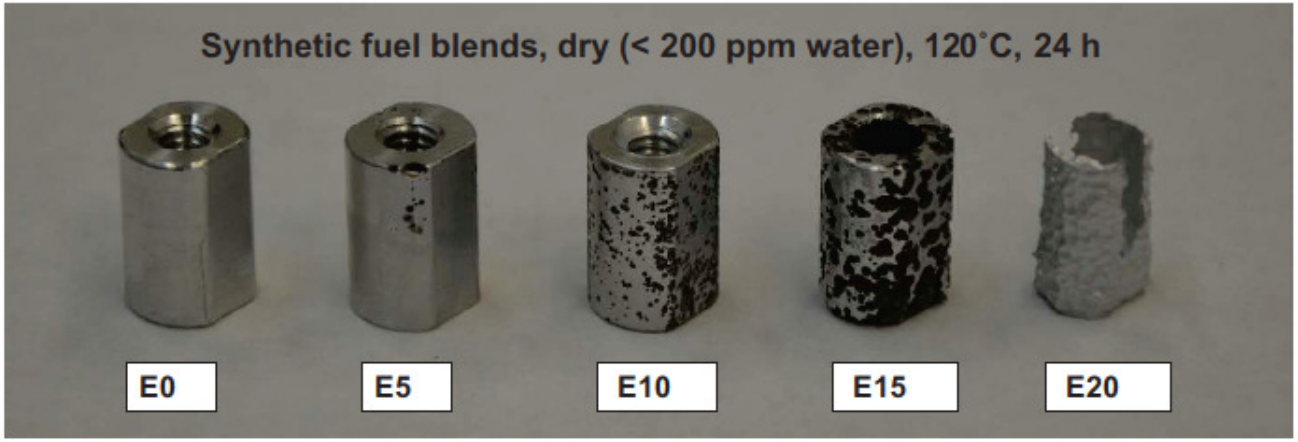




Dry corrosion E5, E10, E15 and E20

Accomplishments and Progress – Task 3

- Aluminum 1100 exhibited corrosion rates that increased with dry ethanol concentration
  - similar trends for other aluminum alloys and fluid temperatures
  - increasing %ethanol decreases reaction incubation time



PDC copyright 2013

Water as inhibitor in E100

Accomplishments and Progress – Task 3

- Temperature and water concentration significantly impacts aluminum corrosion in E100

Temperature (°C)	Water Content						
	≤ 50 ppm	≤200 ppm	≤ 0.1%	≤ 0.5%	≤ 1%	≤ 5%	≤ 10%
20	No	No	No	No	No	No	No
40	No	No	No	No	No	No	No
60							
80	Yes	Yes	No	No	No	No	No
100							
120	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No
140							
160	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
180							
200	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No

* YES = corrosion occurred in ≤ 24 h

Evaluation time ≤ 24 hrs

OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY
U. S. DEPARTMENT OF ENERGY

UT-BATTELLE

PDC copyright 2013

Effect of water on alcoholate corrosion

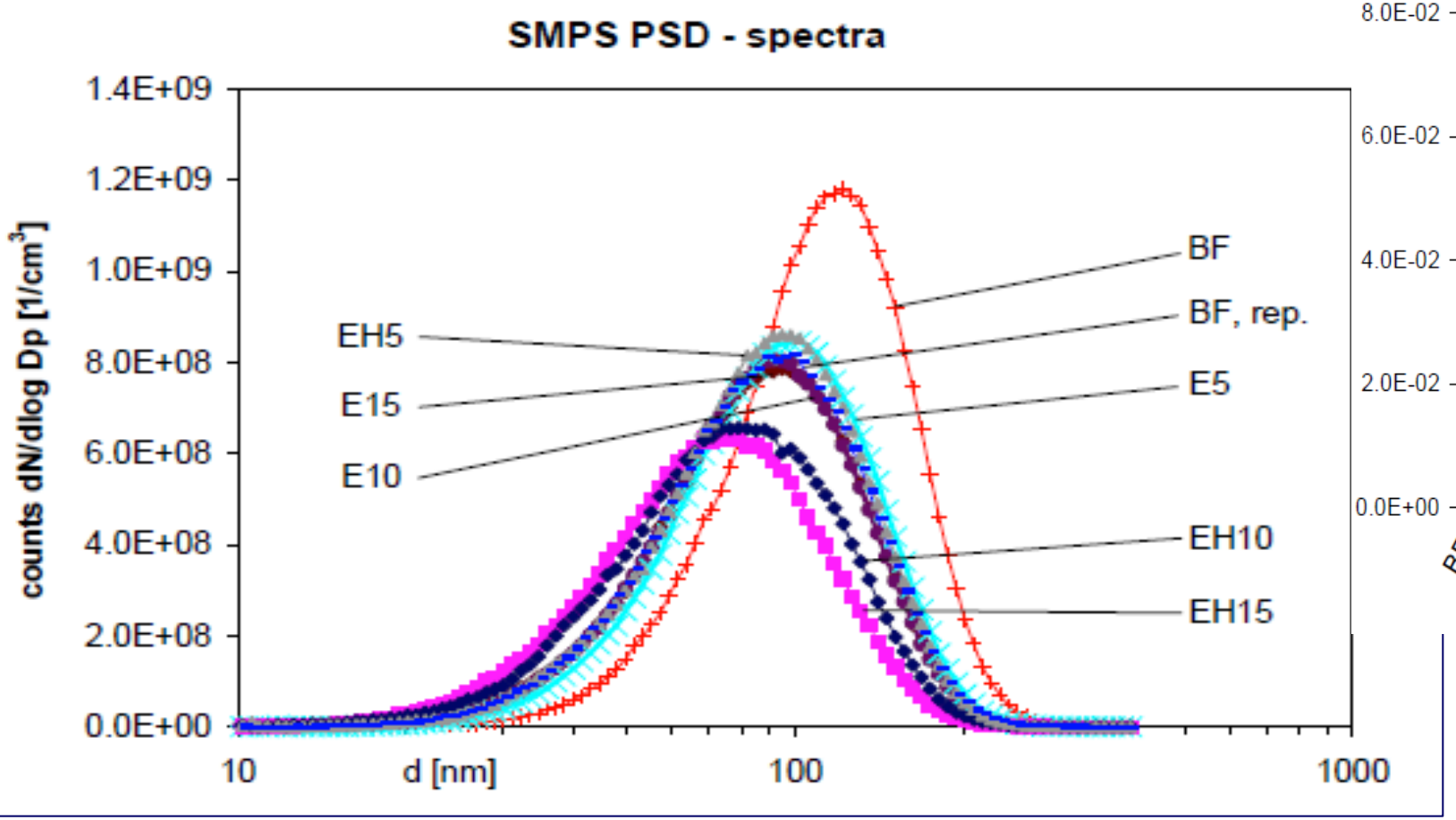
A little water works as fluoride in toothpaste and avoids corrosion

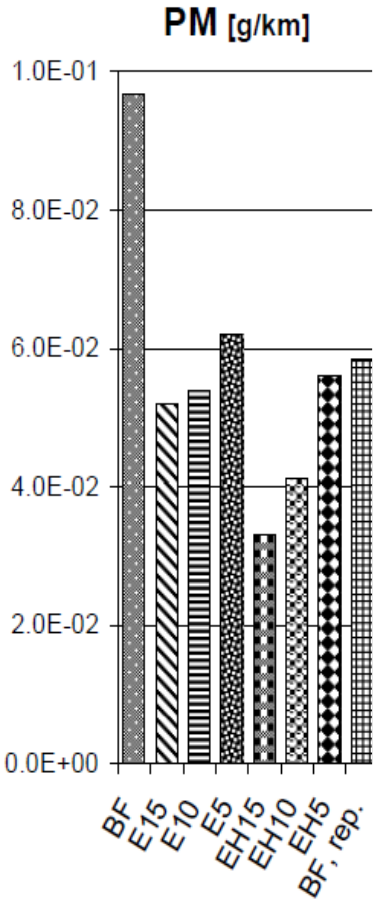
PDC copyright 2013

2-stroke motor cycle tests: PM

Nanoparticles at constant speed 40 km/h, warm, with different fuels. Average of 3 samples.

Kreidler Florett; 2-stroke; muffler: origine; lube oil: Motorex N° 4.

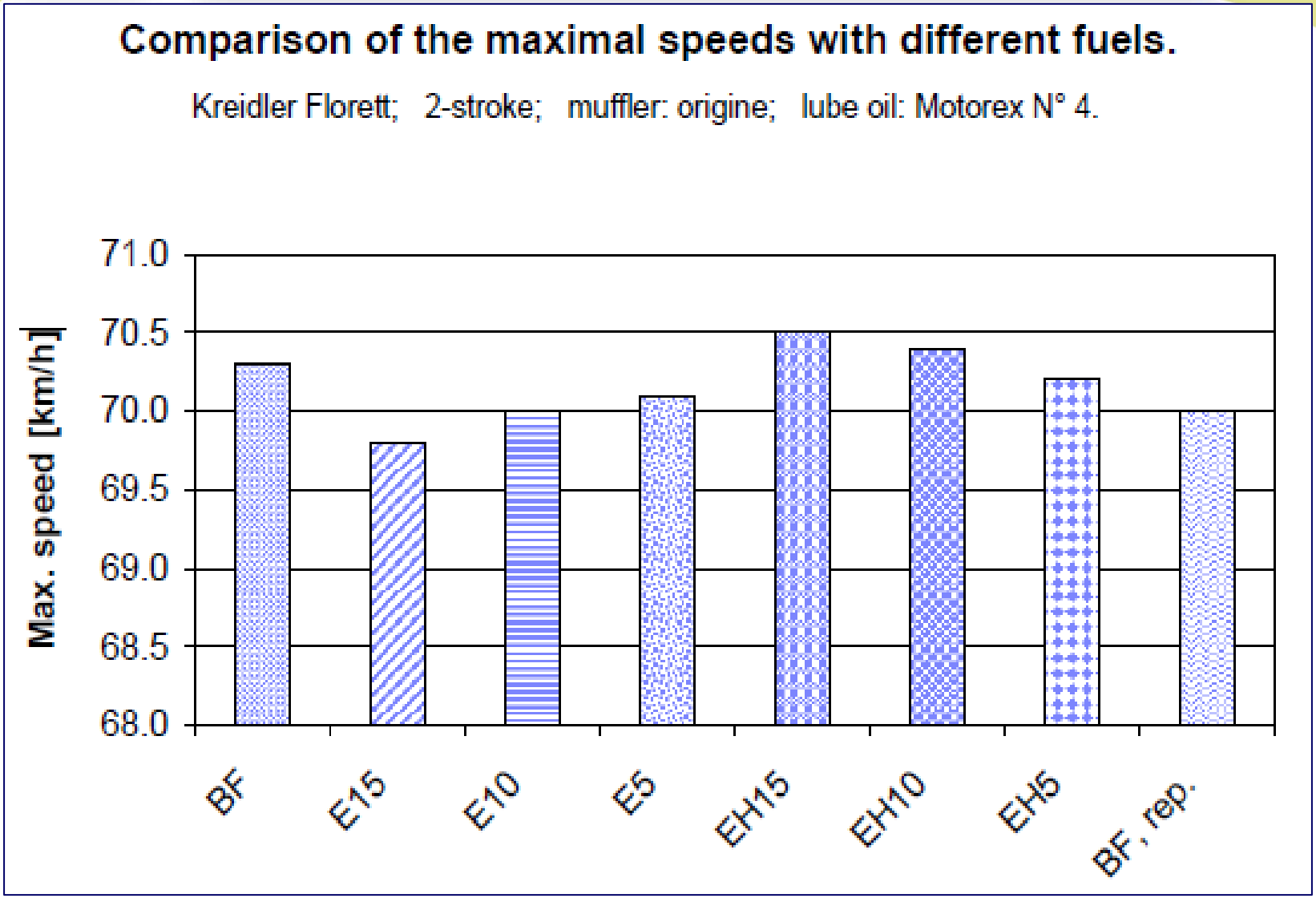




Czerwinski, J. et al., *Emissions of 2-Stroke Small Motorbike Kreidler 50cc with Ethanol Blends*, Berner Fachhochschule, Switzerland, 2009

PDC copyright 2013

2-stroke motor cycle tests: max. speed



Czerwinski, J. et al., *Emissions of 2-Stroke Small Motorbike Kreidler 50cc with Ethanol Blends*, Berner Fachhochschule, Switzerland, 2009

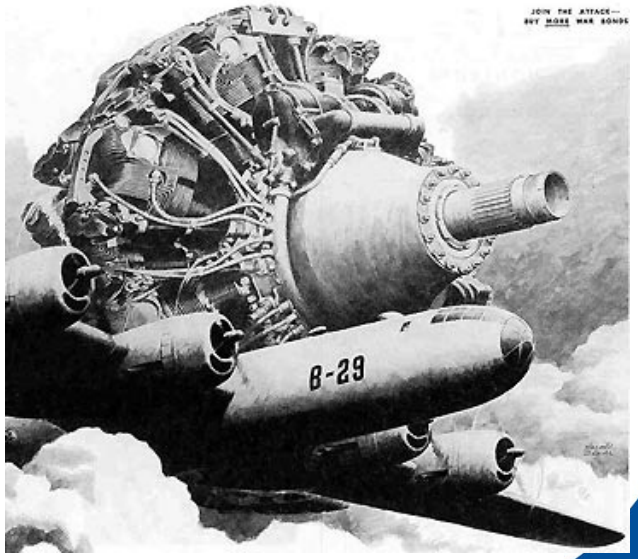
PDC copyright 2010

"Water Injection"
70 years proven technology!

2010

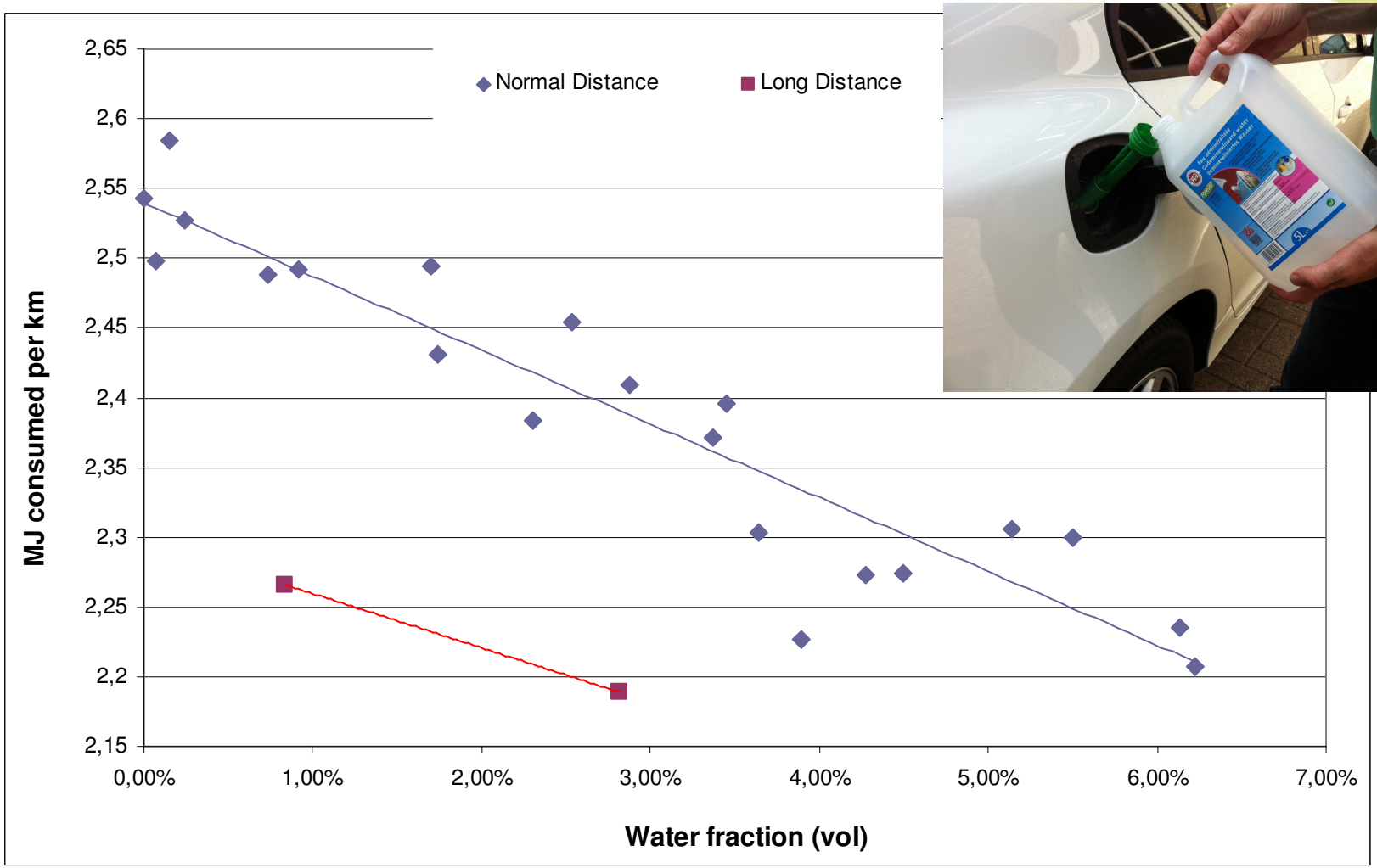
1983

1940's



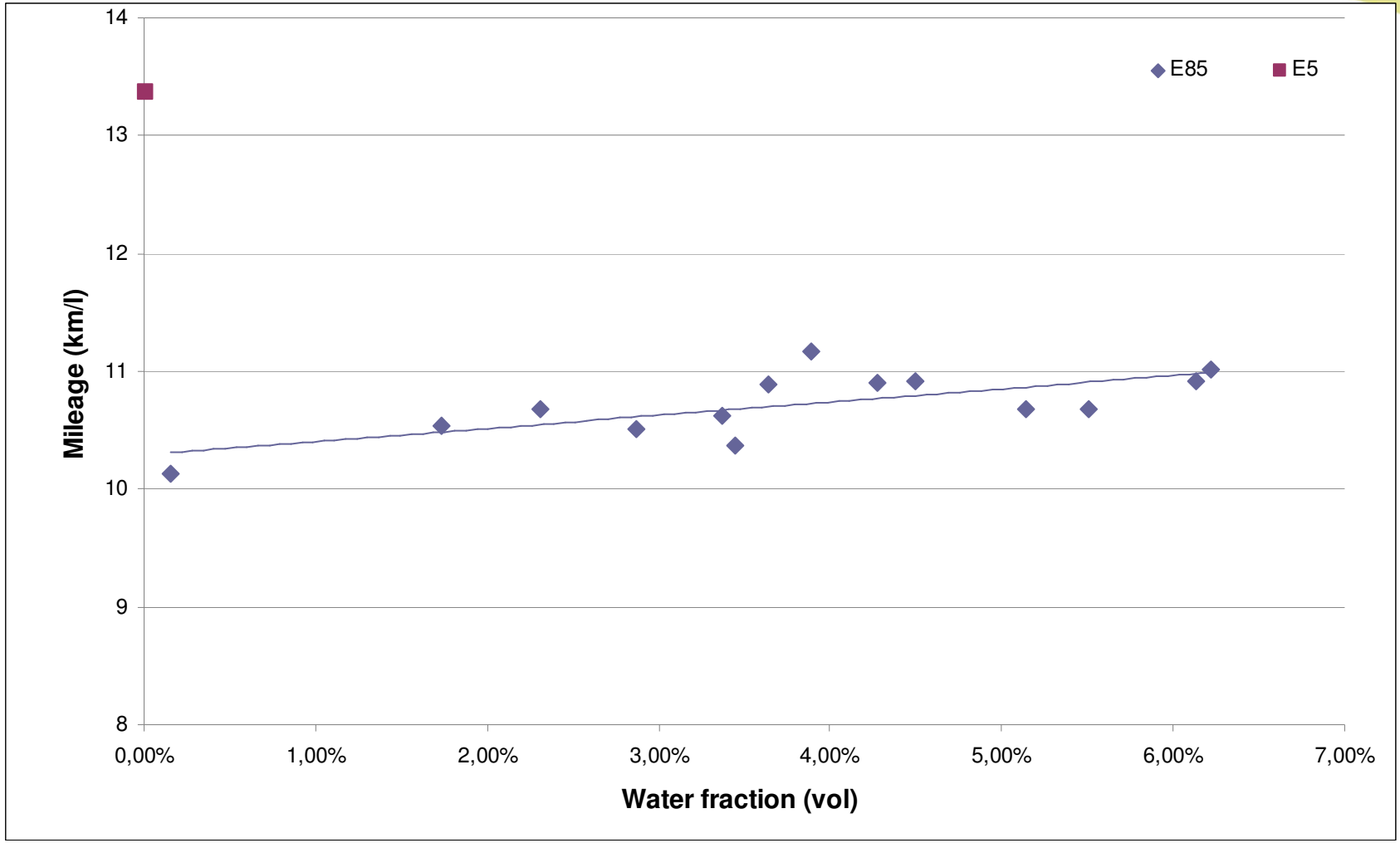
PDC copyright 2013

Energy efficiency in a modern down sized turbo charged Volvo S60 T4F (Flex Fuel Vehicle)



PDC copyright 2013

“Water injection” effect on mileage



PDC copyright 2013

Revision of Hydrous ethanol standard (NTA 8115) for E10+ blending

Property	Unit	Limits		Test method [a]
		Minimum	Maximum	(See Clause 2. Normative references)
Ethanol content	% (*m/m*)	93,0		EN 15721
Methanol content	% (*m/m*)		0,5	EN 15721
Water content [b]	% (*m/m*)	at 2,52%	6,1	EN 15489 EN 15692
pH [c]		6,0	8,0	EN 15490 ASTM D 6423 NBR 10891
Total acidity (expressed as acetic acid) [d]	mg/l		40 or 30 [d]	ASTM D 1613 EN 15492 NBR 9866
Electrical conductivity [e]	µS/cm		3,5	EN 15938 ASTM D 1125
Appearance		Clear and bright		Visual inspection [f]
Inorganic chloride content	mg/kg		1,0	EN 15492
Sulfate content	mg/kg		4,0	EN 15492
Phosphorus content [g]	mg/kg		0,2	EN 15487 EN 15837
Involatile material content [h]	mg/100ml		5	EN 15691 NBR 8644

Further tests in Europe:

Emission & Performance tests of hydrous versus anhydrous to clearly quantify the effect of a higher water content in ethanol containing gasoline.

E10 - hE10

E15 - hE15

E70 - hE70

E85 - hE85

By the Joint Research Centre of the European Commission

PDC copyright 2013

Example hydrous ethanol - economic impact

According the IEA website

http://www.iea.org/stats/oildata.asp?COUNTRY_CODE=JP

Japan consumed in 2009 an amount of 42350 x 1,000 tons of gasoline. This is 42350 / 0.75 = 56467 million liters of gasoline / yr.

Based on a future hE15 = 8500 million liters of Ethanol this represent approximately 1 billion US$/yr. ethanol manufacturing cost savings.

If a 0.75% water content results in a 1.5% efficiency increase in the engine, this represents a 1,5% additional saving of 42350 million liters = 635 million liters of gasoline for Japan alone.

Less corrosion in the cars

Further lower overall emissions

Easier to handle & store

PDC copyright 2008

Conclusions

- E10 is safer than E3 from a wet corrosion (phase separation) perspective.
- E10 in the US is less corrosive than E10 in Europe due to a higher water content in the ASTM D 4806.
- One should set both a minimum and a maximum water content for fuel ethanol for direct blending to avoid corrosion.
- More hydrous ethanol blends do not pick up more contaminants. They are less hygroscopic and part of the overall water tolerance is already filled up with clean distilled water.
- Hydrous ethanol is cheaper and requires less energy (lower carbon footprint) in the manufacturing and “water injection” is beneficial in the use leading to an overall better Well to Wheel energy efficiency and lower emissions.

PDC copyright 2013

Our of our new gasoline at the pump

Wij gebruiken cookies om onze website en uw ervaring te verbeteren bij het gebruik ervan. Meer info over de cookies die wij gebruiken, zie onze privacy policy. Bij verder bezoek, accepteer ik cookies van deze site. Lees meer...

Accepteer Cookies

Stations

Home Blue One 95 FAQ Stations Contact

PDC copyright 2013

RESEÑA SOBRE PROGRAMAS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE MEZCLAS GASOLINA/ALCOHOL

REVIEW ON QUALITY MANAGEMENT PROGRAMS OF GASOLINE&ALCOHOL BLENDS

Norma Elena Mora Men; Orlando Regalado Cerdeiras.

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET).
normae@ceinpet.cupet.cu; orlando@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

Sobre la base de que el aseguramiento de la calidad es el conjunto de acciones planificadas y sistemáticas que son necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que un producto o servicio satisface los requisitos imprescindibles para cumplir con los propósitos para los que fue creado, se presenta un apretado resumen de aspectos importantes de los Programas de Aseguramiento de la Calidad para Mezclas Gasolina/Alcohol, que se aplican en varios países y regiones. Se describen brevemente experiencias mundiales – con énfasis en Brasil y EEUU – en algunas de las áreas que abarca el marco jurídico sobre tecnología de mezclas de etanol anhidro combustible y gasolinas: estrategia, definiciones, especificaciones de calidad, e infraestructura analítica. Se enfatiza la importancia de la calidad del alcohol y la gasolina base en el éxito de esta tecnología, esencialmente, encaminada al ahorro de combustible fósil y disminución de emisiones. Se muestran propuestas para el Programa de Aseguramiento de la Calidad para Mezclas Gasolina/Alcohol en Cuba (PAC-MeGAs); entre ellas: definiciones de términos, especificaciones de calidad para el Etanol Anhidro Combustible y las MeGAs; y los principales equipos y procedimientos analíticos para el control de las propiedades físico-químicas y de explotación que los habilitan para su generalización.

Palabras claves: calidad; gasolinas; alcohol; mezclas gasolina/alcohol;

ABSTRACT

Based on that "quality management is the group of planned and systematic actions that are necessary to provide the appropriate confidence that a product or service satisfies the requirements…" indispensable to fulfill the purposes for which it was created, a tight summary on important aspects of the Programs for Quality Management for Gasoline / Alcohol Blends, that are applied in several countries and regions, is presented. World experiences are described shortly, with emphasis in Brazil and USA, in some of the areas that comprises the legal framework on technology for mixtures of anhydrous ethanol fuel and gasolines: strategy, definitions, quality specifications, and analytical infrastructure. The importance of the alcohol's and base gasoline's quality for the success of this technology is emphasized, which is essentially led towards the saving of fossil fuel and the decrease of emissions. Proposals are shown for the Program of Quality

Management for Mixtures Gasoline / Alcohol in Cuba (PAC-MeGAs); among them: definitions of terms, quality specifications for the Anhydrous Ethanol Fuel and MeGAs; and the main equipments and analytical procedures for the control of the physical-chemical exploitation properties that enable them for their generalization.

Keywords: quality; gasoline; alcohol; gasoline/alcohol blends.

INTRODUCCION

"....el aseguramiento de la calidad es el conjunto de acciones planificadas y sistemáticas que son necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que un producto o servicio satisface los requisitos dados para la calidad, los cuales deben estar sustentados en la satisfacción de las expectativas de los clientes.... es básicamente un sistema documental de trabajo, en el cual se establecen reglas claras, fijas y objetivas, sobre todos los aspectos ligados al proceso operativo, es decir, desde el diseño, planeación, producción, presentación, distribución, servicio posventa y las técnicas estadísticas de control del proceso y, desde luego, la capacitación del personal…. Un sistema de aseguramiento de calidad se complementa con otros métodos y filosofías de calidad; en virtud de que los factores que abarca, permiten establecer un soporte documental para evaluar el desempeño… que sirven para obtener datos confiables y objetivos para mantener un control real y efectivo sobre el proceso operativo. El aseguramiento de la calidad es una metodología…" (Portal MINBAS, 2010). Este tipo de sistema suele denominarse, en diferentes regiones del mundo, como: Programas de Aseguramiento de Calidad, Garantía de Calidad y Control de Calidad.

En 2007, en uno de los numerosos estudios que se efectúan en el mundo durante la preparación de la economía de cualquier país, para la generalización de los biocombustibles, Víctor Hugo Ajila, Consultor del Sistema de Información Energética Legal SIEL y Byron Chiliquinga, Coordinador de Energías Renovables y Medio Ambiente, bajo la supervisión de Mauricio Garrón B., Director de Estrategias y Proyectos de OLADE, expresaron que: "Es ineludible el deber del Estado de establecer reglas claras para toda la cadena productiva... que ofrezcan al inversionista garantías para su inversión y además, un producto competitivo en el mercado de combustibles. Asimismo, es fundamental la expedición de la normativa que regirá la cadena: productor (agrícola e industrial) – inversionista – comercializador – comprador – refinador – distribuidor – regulador – fiscalizador – exportador – usuario final. Estos autores desarrollan un análisis comparativo sobre la realidad jurídica en este tema de diferentes países latinoamericanos que "… tiene como idea central reconocer las medidas, acciones y políticas que adopta un Estado para promover la producción y uso de biocombustibles…", e identifican, entre otros, los siguientes parámetros: Estrategias; Definición de biocombustibles; Autoridad de aplicación de la norma- Marco institucional; Requisitos para los productores de biocombustibles; Requisitos para los distribuidores de biocombustibles; Régimen impositivo o tributario; Plazos o períodos para la aplicación de la normativa; Porcentaje de mezcla de biocombustibles; Infracciones y sanciones; Aspecto ambiental; y Reglamentación (Ajila, Chiliquinga, 2007).

El Centro Internacional de Calidad de Combustibles, en el Manual de Entrenamiento de Estrategias sobre Calidad de Combustibles[1] (FQSTM, 2003) plantea la necesidad de aprender de las lecciones que se han acumulado en numerosos países durante la aplicación de estrategias de calidad de combustibles. La calidad del combustible determina el funcionamiento adecuado de cada tecnología y de sus impactos económicos y ambientales. Aunque en el documento no se indica la sustitución de combustibles fósiles, como pilar primario de sus políticas, se puede asumir que ese es un efecto derivado de los tres fundamentos por ellos establecidos: calidad del combustible; calidad del aire; y emisiones automotores. Es decir, las emisiones, y por tanto, la calidad del aire, están directamente conectadas con la calidad del combustible usado, el tipo de

[1] *FUEL QUALITY STRATEGIES TRAINING MANUAL,* en el original. *FQSTM*, por sus siglas en inglés.

motor y la tecnología de tratamiento de gases de escape instalado en los vehículos. Cada país tiene una (s) calidad (es) de combustible (s) y perfil vehicular característicos. De ahí, que resulta imposible transferir, mecánicamente, los resultados de un país a otro. Las gasolinas de un país no son iguales a las de otro. En Cuba, las peculiaridades más notorias de las gasolinas son su alto contenido de azufre y la estructura química de sus componentes, diferentes, según el lugar de fabricación. Es importante comprender que la más avanzada tecnología vehicular no tendrá ningún efecto en el ahorro de combustible y en las emisiones, si no se utiliza el combustible con las características para las que fue diseñada. Por el contrario, la calidad de combustible más avanzada, no proveerá los efectos esperados, en una tecnología vehicular atrasada. Sobre la base de:

- la complejidad del tema mezclas gasolina/alcohol (MeGAs);
- el desconocimiento de las normativas organizacionales que existen en todas las etapas de la cadena: producción – consumo final de las mezclas;
- la falta de infraestructura analítica en Cuba para realizar el estudio básico de las características del alcohol, grado combustible, y de las MeGAs; y de esta forma, determinar el impacto real de las mezclas en el ahorro de combustible y en las emisiones;
- y, por la actitud errónea de calificar este tema con conceptos, tales como: "antes se hacía sin tantos problemas"; "en el mundo ya todos lo hacen"; "ya se ha investigado todo lo que hay que investigar"...

Se presenta el presente trabajo con los siguientes **OBJETIVOS:**

1. Realizar un análisis resumido del escenario mundial sobre políticas de calidad relacionadas con el uso de mezclas gasolina/alcohol, como combustible, en vehículos automotores.
2. Definir los aspectos esenciales del Programa de Aseguramiento de Calidad[2] de MeGAs en nuestro país.

Por razones de espacio, sólo se harán referencia a algunas de las áreas del PAC: Estrategia, Definiciones, Especificaciones de Calidad e Infraestructura Analítica. Sobre estos aspectos se describirán algunas experiencias mundiales, con énfasis en las de Brasil y EEUU, líderes en esta tecnología.

Estrategia desarrollada por algunos países del mundo para la introducción de biocombustibles en su matriz energética

El estudio de la historia de la implementación y generalización de las mezclas gasolina/alcohol (y biodiesel, fundamentalmente), en varios países del mundo, muestra que el éxito de esta tecnología, es decir, para que esta tecnología rinda los dividendos para los que fue concebida, pasa por dos momentos fundacionales:

1. La definición por el Estado de la estrategia relacionada con este tipo de combustible.
2. La organización de los esfuerzos de todas las partes involucradas en la producción y comercialización de estos productos energéticos, a partir de la dirección y control de las entidades designadas en cada país.

En el análisis de estas experiencias, subyacen tres elementos sistémicos en la estrategia que asumen hoy la mayoría de los países; ellos son:

1. Favorecer la disminución del uso de fuentes fósiles en la producción de combustibles.
2. Disminuir las emisiones contaminantes, producidas por los vehículos automotores.
3. Mejorar la calidad de los combustibles.

Existen países que entraron al mundo de los biocombustibles con el claro concepto de ahorrar combustibles fósiles como motivación primordial, mientras que las motivaciones ambientales se integraron, posteriormente, a los programas de uso del alcohol, como combustible**.**

[2] *PAC*, en lo adelante.

Brasil, en el inicio del programa de uso del alcohol como combustible, incluyó como única prioridad la sustitución de una parte de gasolina fósil por este recurso proveniente de la biomasa, porque a finales de la década de los años 50 importaba, prácticamente, el 80% del petróleo que consumía; entre 1973 y 1974, los gastos por importación de combustible saltaron de US $600 millones a más de US $2 mil millones (Briceño, 2004). El enfoque medioambiental en la legislación brasileña se incorpora en los años '90. Un resumen de las etapas y motivaciones del Estado Brasileño para el uso del alcohol en la gasolina, se muestra en la Fig. 1. (Winter Moreira, 2009). En ese país, La Ley 11097 otorga competencia a la Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles (ANP), vinculada al Ministerio de Minas y Energía, para regular y fiscalizar la industria del biodiesel y del alcohol. En la ley se indican los propósitos de la ANP, entre los cuales está el de implementar una política nacional de petróleo, gas natural y biocombustibles en el marco de la política energética nacional. Para regular la industria del alcohol, intervienen el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento, el Consejo Interministerial del Azúcar y del Alcohol – CIMA, creado mediante Decreto Nº 3.546, de 17 de julio de 2000; y la ANP, dentro del área de sus respectivas competencias (Ajila, Chiliquinga, 2007).

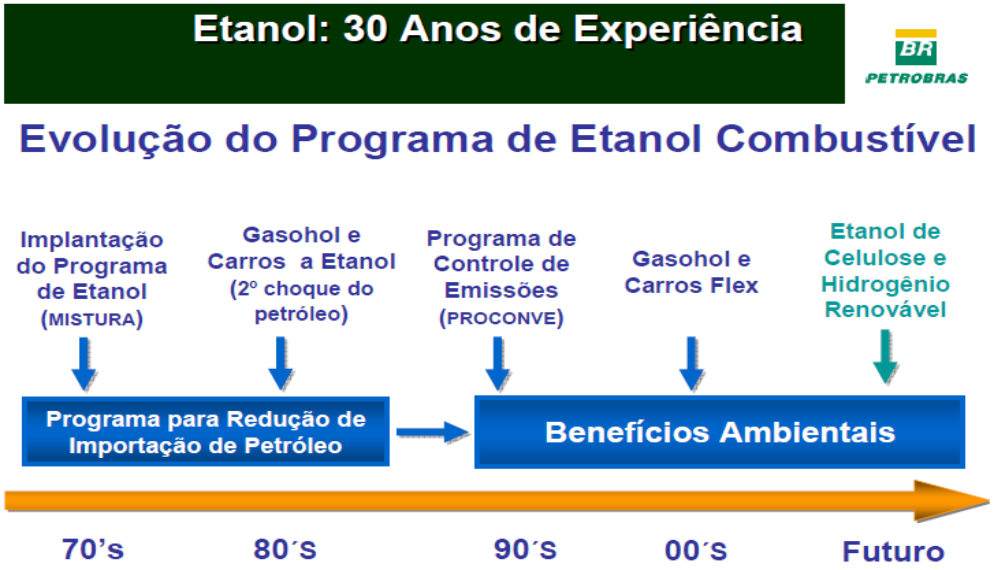


Fig.1. Historia de las principales motivaciones del uso del alcohol en Brasil**.**

Por su parte, Estados Unidos de Norteamérica (EEUU) fue el primer país que comenzó la política de mejoramiento de los combustibles automotores con enfoque medioambiental, debido a sus difíciles problemas de contaminación del aire por emisiones peligrosas, provenientes del gran número de vehículos existentes en su territorio. En 1970, R. Nixon rubrica la Ley de Aire Limpio (CAA)[3], cuya acción más decidida para introducir compuestos oxigenados en la gasolina se inicia con la Enmienda de 1990 (CAAA)[4], vigente hasta hoy. En la Fig.2 se muestra un apretado recuento del marco legislativo desplegado por EEUU, y algunas premisas tenidas en cuenta para implementar esta política (Holmberg, 2002).

[3] *Clean Air Act. En español también es traducida, por algunos, como Decreto de Aire Puro*
[4] *Clean Air Act Amendments. Enmienda a la Ley de Aire Limpio votadas en 1990.*

	PREMISAS:
- Ley de seguridad energética, de 1978 - Ley sobre impuestos energético, de 1980 - Ley sobre combustibles alternativos para motores, de 1988 - Ley sobre aire limpio, de 1990 - Ley sobre política energética, de 1992 - Proyecto de ley sobre explotaciones agrícolas, de 2002 - Proyecto de ley sobre energía, de 2003	- Incentivos federales en impuestos - Requerimientos sobre mantenimiento del aire limpio y el control de propiedades de los combustibles - Etanol – 85 y programa de combustibles alternativos - Programas de investigación y desarrollo apoyados por el gobierno

Fig.2. Principales leyes, proyectos y premisas vinculados al alcohol como combustible en EEUU**.**

En Cuba, el Mandato Estatal para los biocombustibles se fundamenta en la "Política para la utilización y el desarrollo perspectivo de las fuentes de energías renovables", establecida en los Lineamientos 246, 247, 267, 113 (necesidad de potenciar el uso y aprovechamiento de las diferentes fuentes de energía renovable; y Lineamientos 245, 248, 251 y 252 (elevación de la eficiencia energética. Su connotación internacional está plasmada, entre otros, en el Tratado de Seguridad Energética Petrocaribe (TSE), firmado durante la III Cumbre de Jefes de Estado y Gobierno de Petrocaribe, celebrada en la ciudad de Caracas los días 10 y 11 de agosto de 2007. El Marco Institucional descansa en el Ministerio de Energía y Minas.

Definiciones generales y particulares sobre biocombustibles

Cualquier documento organizativo relacionado con la producción, distribución y comercialización de combustibles o biocombustibles - tenga carácter legal o sólo carácter ejecutivo - debe indicar la definición del término objeto de estudio, en el que se exprese: sus propiedades técnicas generales, su incentivo económico y su función social. En casi todas las normas del mundo se encuentran disposiciones que definen los combustibles que integran el universo de los biocombustibles. En diferentes países y regiones, este reto asume distintas formas, algunas de las cuales, se mencionan a continuación:

- ✓ Brasil: En la ley sobre política energética, en el apartado "Definiciones Técnicas" se establece que (literal): "Biocombustível: combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou total combustíveis de origem fóssil; (Redação dada pela Lei nº 11.097 de 2005) (Brasil, 1997).
- ✓ América Latina (en general): Según Ajila y Chiliquinga (2007): "La idea general que coincide en todas las leyes se refiere al origen de los biocombustibles que provienen de biomasa… se menciona que tal calidad está sujeta al cumplimiento de los requisitos que establezca para el caso la autoridad de aplicación como sucede en Argentina, Colombia, Paraguay, Perú y República Dominicana…en el caso de Colombia y Brasil se establece la finalidad del producto; en el primero, para uso en "procesos de combustión…" destinados a ser sustituto total o parcial ….; y en el segundo, a más de utilizarse en motores de combustión interna, para la generación de otro tipo de energía que pueda sustituir total o parcialmente los combustibles fósiles…es importante señalar que algunas leyes mencionan a los productos que se consideran biocombustibles, sin prejuicio de otros que puedan definirse como tales más adelante…".
- ✓ Europa: Según la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables: "... biocarburantes y biolíquidos pueden considerarse como fuentes de energía renovables, (pero) éstos deberán contribuir a reducir al menos en un 35% las emisiones de gases de efecto invernadero. A partir del 1 de enero de 2017, su contribución a la reducción de las emisiones deberá alcanzar el 50%. … Los biocarburantes y los biolíquidos no deben producirse con materias primas procedentes de tierras de elevado valor en cuanto a

biodiversidad o que presenten una gran reserva de carbono. Para recibir ayudas financieras, deben ser calificadas como «sostenibles» en virtud de los criterios de la presente Directiva."

- ✓ EEUU: El Departamento de Energía define en sus leyes toda la terminología de los combustibles empleados en el ámbito nacional. Cada Estado adecua las de su interés, en leyes y regulaciones estatales. En Missouri, por ejemplo, definen "… mezclas etanol-gasolina es una mixtura de 90% de gasolina y 10% de etanol combustible, en el cual éste cumpla la Especificación Internacional ASTM D4806…el 10% de etanol combustible debe ser de procedencia agrícola…." (Missouri Statutes, 2009). En el HOUSE BILL 2210 de la 74 Asamblea Legislativa de Oregón, los biocombustibles son definidos como: "líquido, gas o sólido obtenido de la biomasa" (Oregón, 2007).
- ✓ BioFuels International:[5]"Biofuel: El término biocombustibles se aplica a cualquier producto combustible sólido, líquido o gaseoso obtenido de materia orgánica (de origen vivo). La palabra "biofuel" cubre un amplio rango de productos, algunos de los cuales ya están avalados comercialmente y otros están en fase de investigación y desarrollo". Define, además, al bioetanol y al biobutanol en categorías separadas: "Bioetanol: o etanol, es un biocombustible tradicionalmente producido en el proceso de fermentación del almidón o de cultivos como el maíz, la caña de azúcar y otros. La definición del biobutanol es una de las primeras que aparecen en la literatura abierta: "Biobutanol: es un aventajado biocombustible que ofrece beneficios adicionales a los que brindan los biocombustibles tradicionales... el biobutanol tiene un contenido de energía más cercano a los combustibles del petróleo, por lo que los consumidores se enfrentarán a menos problemas relacionados con el rendimiento del combustible. El biobutanol puede ser fácilmente adicionado a la gasolina convencional... en mayores concentraciones que el bioetanol para usarlo en motores de vehículos estándares. DuPont y BP trabajan juntos en un mega-proyecto para producir biobutanol" (BioFuels Intern., 2008).

Para Cuba se proponen las siguientes definiciones:

Biocombustible:	Líquido, sólido o gas con propiedades combustibles, producidos a partir de la biomasa proveniente de materia biológica-orgánica residual y/o de desechos orgánicos, no aprovechables en la alimentación humana, que permite sustituir parcialmente los combustibles de origen fósil.
Alcohol Etílico Anhidro Combustible (AEAC) o Etanol Anhidro Combustible (EAC):	Alcohol de ≥ 99,7 %v/v de etanol, obtenido de materia biológica-orgánica residual y/o de desechos orgánicos no aprovechables en la alimentación humana, con propiedades combustibles para motores de combustión interna.
MeGA (Mezcla Gasolina-Alcohol):	Mezcla de gasolina fósil con < 20%v/v de alcohol etílico anhidro combustible, destinada para uso en motores de combustión interna de encendido por chispa. En plural – MeGAs.

[5] Traducción de los autores.

Especificaciones de Calidad para MeGAs y sus componentes

Esta área de la legislación sobre biocombustibles constituye la base científico-técnica de esta tecnología. La calidad e integridad de los combustibles (o de cualquier otro producto) se centra en el aseguramiento y cumplimiento de los requisitos que satisfagan los propósitos para los que fueron creados. Para ello, es imperativo establecer las especificaciones de calidad, que describan el entorno y alcance de desempeño para el que fue producido, correlacionando sus propiedades físico-químicas con - en el caso que nos ocupa - las propiedades de explotación en los vehículos automotores de gasolina. No debe confundirse calidad con especificaciones de calidad: un combustible puede cumplir las especificaciones de determinado país, región e incluso, una norma internacional y no tener calidad para su uso en determinado segmento de vehículos automotores. Por ejemplo, en Cuba, el Manual de Especificaciones de Combustibles de CUPET establece las especificaciones para las gasolinas que pueden comercializarse en el mercado interno; sin embargo, estas gasolinas no tienen "calidad" para vehículos de inyección electrónica de combustible ("fuel injection") con catalizadores en el sistema de gases de escape, porque - entre otras razones - poseen un contenido de azufre, incompatible con los compuestos metálicos que los componen.

En general, las especificaciones de calidad relativas a las MeGAs se refieren a los siguientes productos:

→ Alcohol Etílico Anhidro Combustible (AEAC); Alcohol Etílico Anhidro Combustible Desnaturalizado (AEAC-D): En mayo de 2010, se publicó: "La Asociación de Comercio Internacional de Etanol[6] acaba de divulgar su primera revisión del Contrato Patrón de Comercio Internacional de Etanol (recomendado para negociaciones en el mercado físico con base en el "FOB Pumped In")… (que tiene como)…objetivo elaborar un contrato que pueda evolucionar a través de alteraciones y actualizaciones, reflejando las evoluciones del mercado….como es….la comercialización internacional del etanol ….para lo que deben establecerse las especificaciones de compromiso…". Anteriormente**, e**n 2009, el Comité de Contratos y Arbitraje de la IETHA efectuó la primera revisión para adecuar cuestiones técnicas de interés de las empresas que usan ese instrumento en la comercialización del etanol. Empresas como Copersucar, Cosan, Bioagência, Colmas y SCA Trading hicieron sugerencias para concertar un contrato con mayor consenso en los aspectos técnicos y en otros, "ya que el etanol es considerado, por muchos, un producto del agronegocio o del sector sucroenergético todavía en transformación en commodity, como la especificación del producto (que es determinada por el mercado comprador)..." (notiEtanol, 2010).

Las características del Alcohol Etílico Anhidro Combustible difieren de las del alcohol etílico anhidro usado como medicamento o alimento. La concepción de las propiedades, físico-químicas y de explotación, del alcohol combustible ha tenido un rápido y notable desarrollo que ha evolucionado desde los criterios usados al principio del Siglo XX, sobre usar metanol, alcohol etílico hidratado o alcohol etílico anhidro sin apenas restricciones, hasta los incorporados en los últimos 20 años sobre las especificidades técnicas que debe ostentar el alcohol para ser usado como combustible en la tecnología automotriz y vehicular actual. Aunque pareciera obvia la comprensión de los efectos del alcohol en los vehículos, en general, y específicamente, en partes y piezas del motor, aún hoy existen opiniones que ignoran progresos tecnológicos, tales como: aumento de la relación de comprensión; aumento de las exigencias de rendimiento energético del combustible (disminución de consumo); nuevos sistemas de inyección de combustible; uso de materiales metálicos y elastoméricos diferentes en la fabricación de partes y piezas de los vehículos, entre otros.

Las propiedades del alcohol combustible (anhidro e hidratado) son establecidas en leyes, normas, o manuales de especificaciones de calidad de combustibles de cada país o región. El cumplimiento de estas indicaciones es de carácter obligatorio durante la producción, manipulación y comercialización del producto. Su incumplimiento es penalizado como cualquier otro combustible, en primer lugar, por los daños que ocasiona al sistema motor – vehículo. En Mora (2007) se analizan las especificaciones - y las propiedades que representan – del etanol anhidro combustible. Brasil establece nueve especificaciones para el Etanol Anhidro

[6] *IETHA*, por sus siglas en inglés.

Combustible, indicando que esta calidad es la única autorizada para mezclas con gasolina (ANP, 2005). EEUU establece doce especificaciones para el Etanol Combustible Desnaturalizado para Mezclas con Gasolina en la norma ASTM[7] D 4806-08ª.

Las experiencias acumuladas durante la aplicación del alcohol como combustible en muchas partes del mundo, y sobre todo, las pérdidas económicas resultantes de la falsa concepción de manipular y aplicar el alcohol como cualquier combustible fósil, han conducido a nuevas y más estrictas medidas de calidad para estos productos. Ejemplo de ello, es lo anunciado por la Junta Directiva de la Asociación de Combustibles Renovables[8] de los EEUU, quien recomendó que, a partir del 2002: "El sistema de distribución del producto final etanol, que envía el etanol desnaturalizado desde los tanques de la planta de almacenamiento, debe estar equipado con filtros de tamaño de poro no mayor a 10 micrones, para controlar cualquier partícula suspendida o precipitada". Además indicó: "…la adición de inhibidores de corrosión al etanol grado combustible en concentraciones suficientes para proveer protección de la corrosión, comparable a cualquier otro combustible automotor" (IFQC, 2004).

Con relación a la calidad de los alcoholes combustibles, las gasolinas, y sus respectivas mezclas, se han creado organizaciones que agrupan sectores regionales y globales de fabricantes de tecnología automotriz y de automóviles, que trabajan en estrecha colaboración con la industria refinadora de petróleo y con otros dedicados a la investigación y desarrollo de soluciones ambientales más eficaces para tratar los gases de escape producidos por combustibles fósiles usados en el transporte automotor. Estas organizaciones realizan recomendaciones y forman plataformas de trabajo para armonizar la calidad de los combustibles y las exigencias de los vehículos que se producen. Las organizaciones más importantes son: Asociación Europea de Productores de Automóviles (ACEA)[9]; Asociación Japonesa de Productores de Automóviles, (JAMA)[10]; y Worldwide Fuel Charter[11] (WWFC). La WWFC, que incluye a las dos primeras, fue establecida en 1998 para promover mejor entendimiento sobre la calidad de los combustibles que necesitan los vehículos automotores y armonizarla con las exigencias de los motores y vehículos que se producen a nivel mundial. Para autorizar el uso de alcoholes en la tecnología automotriz y vehicular que producen sus más de 50 compañías miembros (entre ellas: DaimlerChrysler Corporation; Ford Motor Company; General Motors Corporation; Toyota Motor North America, Inc.; CNH Global N.V.; Cummins Inc.; Nissan Diesel Motor Co. Ltd.) estableció especificaciones de calidad para el alcohol y las gasolinas. Para el etanol indicaron utilizar - hasta 10%v/v - sólo el grado anhidro, con 18 especificaciones de calidad (WWFC, 2009).

Las especificaciones del etanol combustible deben establecerse diferenciando la calidad del alcohol antes y después de la adición del desnaturalizante, para: 1- controlar la calidad del proceso de producción y deshidratación del etanol combustible; 2- controlar la calidad y el efecto del desnaturalizante en las propiedades del alcohol, debido a que algunas naftas pueden degradar las características del etanol, inutilizándolo como sustancia mejoradora del octano. En Cuba, para el etanol combustible, se proponen las especificaciones que se relacionan en la Fig. 3. Se indicará su uso sólo en proporciones de 10%v/v.

A pesar de los diferentes formatos de normas de especificaciones de calidad para el Etanol Anhidro Combustible que existen en el mundo, hay propiedades comunes que la mayoría coinciden en controlar para admitir su uso en el mercado (interno e internacional): Aspecto Visual; Contenido de Etanol; Contenido de Metanol; Contenido de Cobre; Contenido de Agua; Cloruros Inorgánicos; pH; Contenido de Azufre; Contenido de Sulfatos; Acidez Total (como ácido acético); y Conductividad Eléctrica.

[7] *American Society for Testing and Materials*
[8] *Renewable Fuel Association*, *RFA*, por sus siglas en inglés.
[9] *European Automobile Manufacturers Association*
[10] *Japan Automobile Manufacturers Association*
[11] *Carta Mundial de Combustible (traducción libre de la autora)*

No.	INDICE	VALOR	ASTM
ANTES DE LA ADICIÓN DEL DESNATURALIZANTE			
1	Aspecto	claro y transparente, sin impurezas suspendidas o precipitadas	-
2	Color	incoloro	-
3	Gravedad específica a 20ºC	791,5 máx.	D 4052 / D 891
4	Contenido alcohólico	99,6 ° mín.	-
5	Contenido de etanol	99,6 %v mín.	D 5501
6	pHe	6,5-9	D 6423
7	Acidez total (como ácido acético)	30 mg/L máx.	D 1613
8	Conductividad eléctrica	500 máx.	D 1125
9	Contenido de Cobre	0,07 mg/kg máx.	D 1688
10	Contenido de ion cloruro	1 mg/kg máx.	D 512
DESPUÉS DE LA ADICIÓN DEL DESNATURALIZANTE			
1	Contenido de desnaturalizante	2 %v máx.	-
2	Gravedad específica a 20ºC	792 máx.	D 4052 / D 891
3	Contenido de etanol	97,6 %v mín.	D 5501
4	pHe	6,5-9	D 6423

Fig.3. Calidad del Etanol Anhidro Combustible para MeGAs. Propuesta para Cuba.

→ Gasolina Base (para MeGAs); Mezclas Gasolina – Alcohol (MeGAs): Gasolina Base - gasolina sin compuestos oxigenados. En general, la gasolina como producto comercial, es una mezcla formulada por fracciones (cortes) del petróleo, denominadas: "naftas"[12], obtenidas en diferentes procesos de transformación térmica y/o catalítica del petróleo. Cada una de estas naftas está formada por centenares de moléculas de hidrocarburos diferentes, que en conjunto, aportan a la gasolina propiedades específicas de calidad vinculadas a aspectos físicos, químicos y ambientales. Ello hace necesario estudiar el comportamiento de cualquier gasolina cuando, en su formulación, se efectúa alguna modificación y/o se adiciona una sustancia química diferente a los hidrocarburos. Consideraremos la GB y las MeGAs, de conjunto, porque en la práctica mundial coexiste tanto la filosofía de normar la gasolina base y las mezclas con etanol por separado, como la de solamente confeccionar una sola norma de especificaciones para la gasolina convencional (sin alcohol) e incluir en ella, los requisitos que deben cumplir las mezclas.

Brasil: La norma de calidad más reciente aprobada en este país - relacionada con las gasolinas - es la Resolución ANP[13] 38, del 2009, donde se establece en una misma norma, pero por separado, la calidad de la gasolina base (denominada "gasolina A") y la gasolina mezclada con alcohol (denominada "gasolina C") que debe ser comercializada a partir de 2014, en consonancia con los criterios fijados para la fase L-6 del Programa de Control de la Polución del Aire por Vehículos Automotores – PROCONVE. Esta Resolución, además, indica con fuerza que toda la gasolina comercializada deberá contener aditivo detergente dispersante

[12] En algunos países se le denomina "naftas" (y no gasolina) al producto comercial.
[13] *Agencia Nacional del Petróleo de Brasil.*

bajo los criterios que establezca la ANP. Como parte integrante de este documento se adjunta el Reglamento Técnico ANP Nº 7/2009 donde se establecen 19 especificaciones de calidad (ANP, 2009). En la norma vigente (PORTARIA ANP No 309, de 27/12/01) se norman, igualmente, 19 especificaciones

En Brasil, la gasolina que se vende en todas las estaciones de servicio, contienen regularmente ≥ 20%v/v de Etanol Anhidro Combustible. Los vehículos flex-fuel se abastecen de Etanol Hidratado Combustible, y de gasolina C, que ya contiene ese volumen de etanol anhidro. Según se estableció en investigaciones realizadas en Brasil, los automóviles que utilizan carburadores deben usar mezclas con sólo ≤5%v/v de etanol, fundamentalmente, porque esos vehículos tienen muchos componentes de aluminio, que son atacados por el alcohol. Para altos contenidos de alcohol, la relación estequiométrica aire/combustible que se hace de modo electrónico en los autos fuel injection, en Brasil, se ajusta en la propia fábrica; los autos Flex lo hacen continuamente durante la marcha, debido a la tecnología inteligente instalada (Duarte Pasa, 2006).

Estados Unidos: Para el control de la calidad de las gasolinas que se comercializa en todos los estados de este país, se establece la norma internacional ASTM D 4814, que en su versión del 2008 (08b), introdujo nuevos elementos de control y cálculo de propiedades para las mezclas gasolina/alcohol; las más importantes: término que considera el etanol en el cálculo del Driveability Index (Indice de Manejabilidad); cálculo de la desviación de la pendiente normal de la curva de destilación (T_{70}BD) (ASTM, 2008). Otros índices que han sufrido variaciones significativas: disminución de azufre en las gasolinas de 350 ppm a 80 ppm; inclusión del índice Corrosión en Lámina de Plata (Silver Strip Corrosion).

Las normas de calidad de las MeGAs, en relación a las gasolinas sin alcohol, se diferencian, generalmente, en: 1-el control de la cantidad de oxígeno o de alcohol adicionado; 2-el control de la volatilidad; 3-el contenido de agua en las mezclas.

La piedra angular de los objetivos estratégicos de ahorro de combustible fósil y/o disminución de emisiones, es la formulación de la GB. La simple adición de una determinada cantidad de alcohol a la gasolina, no conduce al cumplimiento de ninguno de los dos. Por el contrario, representa mayor consumo de gasolina fósil, y puede o no, tener algún efecto en las emisiones. En los casos que se ha soslayado este principio, los resultados observados al cabo de determinados períodos de explotación, lo demuestran. Este fenómeno se sustenta en la menor energía que posee el etanol anhidro, menor presión de vapores saturados, y mayor calor de vaporización.

La consideración de la menor energía del etanol ha conducido a errores de cálculo de consumo y eficiencia energética, pues comúnmente se asume, que el consumo de la mezcla gasolina/alcohol, aumentará de forma proporcional a la disminución de energía que representa el contenido másico de alcohol presente. Los combustibles oxigenados presentan menor contenido energético que la gasolina convencional. En la Tabla I se muestran resultados del poder calorífico (valor calórico) de una Gasolina Reformulada (GR) en los EEUU, con diferentes contenidos de distintos compuestos oxigenados (EPA, 1995).

Tabla I. Contenido de energía de compuestos oxigenados puros y en mezcla con una GR.

Compuesto Oxigenado	Contenido energía, Btu[14]/gal	Volumen en GR, %	Contenido de energía GR, Btu/gal	Contenido energía GR, Btu/gal	Diferencia Gasolina Convencional vs GR, %
Etanol	76 100	5,71	114 000	111 836	1,9
ETBE[15]	96 900	12,8		111 811	1,9
MTBE[15]	93 500	11,0		111 745	2,0

El oxígeno en las gasolinas no contribuye al aumento de energía de la mezcla resultante, sino al mejoramiento de la combustión que puede, o no, significar mayor aprovechamiento de la energía latente en la parte hidrocarbonada de la gasolina. Con las mezclas se necesitará mayor consumo de combustible para generar la misma cantidad de trabajo, pero el aumento del consumo – para iguales valores de eficiencia en

[14] 1 Btu = 0,252 kcal

[15] *Éter Etil Ter-Butilíco (ETBE); Éter Metil Ter-Butilíco (MTBE).*

motores diseñados para quemar hidrocarburos – está condicionado por otros factores, que pueden compensar, o agudizar, el efecto de la menor energía de la gasolina oxigenada, en relación a la gasolina convencional. Los factores que influyen - en un sentido u otro - en el consumo de las mezclas, pueden agruparse en dos: 1-los relativos al diseño mecánico del motor; 2-los referidos a la composición hidrocarbonada del combustible. Entre los primeros, se encuentra la relación de comprensión de la cámara de combustión; entre los segundos – el octano de la gasolina base. Estos dos factores, se complementan entre sí, porque mayores índices de compresión en el motor, requerirán mayor octano de la gasolina.

Para que las MeGAs tengan efecto real en el ahorro de combustible fósil y en la correspondiente disminución de emisiones, la GB debe formularse teniendo en cuenta el aprovechamiento mayor posible del alcohol como mejorador de octano; y el adecuado manejo de la volatilidad de las mezclas. En el primer caso, entre menor sea el octano de la GB, mayor es el efecto del alcohol en el octano de la mezcla final, y mayores los márgenes de excedentes de gasolina fósil que pueden formarse. Sin embargo, ello está limitado por la volatilidad de las mezclas que, con cualquiera que sea el contenido de alcohol, deben garantizar la adecuada vaporización del combustible en todo el intervalo de condiciones de operación del motor (arrancada, calentamiento en frío y caliente, aceleración, etc.).

Cuba: La calidad de los tres grados de gasolina que se comercializan en el mercado interno (RON 83; RON 90; RON 94), establecidos en el Manual de Especificaciones de Combustibles de CUPET, tienen las limitaciones que imponen el desarrollo de las tecnologías de procesos de refinación que existe en el país. Para introducir el alcohol como combustible en gasolinas nacionales, se propone considerar las siguientes premisas (Fig.4):

1. Adicionar 10%v/v a la gasolina de producción nacional, para dos grados de octano: 90 y 94 RON (MeGA-90 y MeGA-94, respectivamente).
2. Establecer especificaciones únicas para los dos grados de MeGAs (excepto el octano RON).
3. Adicionar en las especificaciones de las MeGAs, los siguientes índices:
    - ✓ Densidad a 20°C: Esta temperatura está más acorde con la temperatura ambiente promedio en nuestro país.
    - ✓ Contenido de agua, ppm: Como control riguroso que permite manipular las MeGAs sin peligro de separación en fases.
    - ✓ Contenido de Etanol, %v/v: Imprescindible para el control de la composición de las MeGAs.
    - ✓ Período de Inducción, minutos: Aumentar el valor máximo a 360 minutos.
    - ✓ Índice de Manejabilidad (IM): Como parámetro de control primario del desempeño de las MeGAs en los vehículos automotores.

Infraestructura Analítica de base para el control de calidad de MeGAs y sus componentes

Para el desarrollo de los PACs es necesario centrarse en la calidad e integridad de los combustibles, por la influencia que ejercen en la consecución de los objetivos que se proyectan. En la actualidad, las normas de calidad que se aplican al tema de los biocombustibles – en general – y al etanol combustible y sus mezclas con gasolina – en particular – se garantizan a través de los controles que se establecen y la veracidad de los datos de laboratorio.

El desarrollo de las técnicas analíticas para determinar la calidad de biocombustibles presenta un rápido avance en la actualidad, traducido en nuevos equipos (o versiones de los ya existentes), con tecnologías incorporadas que posibilitan obtener resultados precisos sobre las características físico-químicas de estos productos. Ello no es casual: se perfeccionan estas técnicas en razón del rechazo inicial en la explotación de estos combustibles y el retraso ocurrido en la armonización de la tecnología automotriz y vehicular, con las propiedades de desempeño de estos combustibles. Para lograr la aceptación de los biocombustibles ha emergido, como fundamento, la necesidad de crear una infraestructura analítica especializada para la investigación, control de la producción y generalización de cualquiera de los productos comprendidos dentro

de este universo. Bajo esa óptica, a continuación se muestran características de equipos, normas y procedimientos que deben componer lo que hemos denominado "Laboratorio MeGAs":

- Cromatografía iónica (Ion Chromatography, IC). Es la técnica más avanzada para determinar iones cualitativa y cuantitativamente. El término cromatografía iónica fue acuñado cuando se introdujo la detección por conductividad combinada con reducción química. Esta técnica analítica es la que mayor difusión está recibiendo en la actualidad, para la determinación de trazas de iones litio, sodio, amonio, potasio, calcio y magnesio en etanol, usando la columna catiónica con eluente de ácido tartárico y dipicolínico; y para la detección de aniones sulfatos, fluoruros, acetatos, formatos y cloruros en la gasolina y sus mezclas con alcohol, usando la columna aniónica con eluente de carbonato de sodio y acetona. Esta técnica tiene aplicación, entre otros, en: (Metrhom, 2007).
  - ✓ ASTM D 7319 – determinación de cloruros y sulfatos en etanol entre 0,6 ppm y 0,2 ppm.
  - ✓ ASTM D 7328 – determinación de sulfato total y potencial entre 0,5 - 20 mg/kg y de cloruros inorgánicos entre 0,5 -50 mg/kg.
  - ✓ ASTM D 7359 – F, Cl, S y otros en gasolina.

No.	INDICE	UNIDAD MEDIDA	VALOR ESPECIFICADO		ASTM
			MeGA-90	MeGA-94	
1	Aspecto	-	claro y transparente, sin impurezas suspendidas o precipitadas		-
2	Densidad a 20ºC	g/cm^3	0, 760, máx.		D 1298; D 4052
3	Contenido de agua	ppm	800, máx.		D 1744
4	RON, mín.	-	90	94	D 2699
5	MON	-	reportar	reportar	D 2700
6	Contenido de etanol	%v/v	10 +/- 1		D 5845
7	Destilación	°C			D 86
	INICIAL		35, mín.		
	10% evaporado		70, máx.		
	50% evaporado		77 - 125		
	90% evaporado		190, máx.		
	FINAL		225, máx.		
	RECUPERADO	% v/v	95, mín.		
	RESIDUO		2, máx.		
8	Presión de Vapor a 37,8°C	kPa (kgf/cm^2)	68 (0,70), máx.		D 323; D 5190
9	Corrosión al Cu, 3h a 50°C	-	1, máx.		D 130
10	Goma existente	$mg/100\ cm^3$	5, máx.		D 381
11	Período de Inducción a 100°C	minutos	360, mín.		D 525
12	Azufre Total	%m/m	0,10, máx.		D 1266; D 4294
13	Indice de Manejabilidad	-	597, mín.		D 4814
	Aromáticos	%v/v	reportar		D 1319
	Olefinas				
	Benceno				

Fig.4. Especificaciones de calidad para MeGAs en Cuba. Propuesta.

- Infrarrojo Medio (Mid Infrared Specrtoscopy). La norma ASTM D 5845 especifica esta técnica (equipo) para la determinación de compuestos oxigenados en la gasolina. Aunque existen otras técnicas cromatográficas para determinar oxigenados, ésta permite - de forma más rápida y precisa - establecer cuantitativamente los siguientes componentes: Gasolina base (sin oxigenados); Metanol (0,1 – 6 %m); Etanol (0,1 – 11 %m); tert-Butanol (0,1 – 14 %m); Metil tert-butyl eter, MTBE (0,1 – 20 %m); Etil tert-butyl eter, ETBE (0,1 – 20 %m); tert-Amyl metil eter, TAME (0,1 – 20 %m); entre otros. En esta misma línea, se está haciendo amplio uso del IROX 2000 de Grabner Instruments, que puede determinar la concentración de etanol en gasolina hasta 20%v/v. El segundo derivado de los picos a 1091cm-1 y 1050cm-1 es usado para el cálculo, lo que asegura la eliminación de ramificaciones y cambios en el espectro IR de la gasolina mezclada con etanol (PI, 2009) . En la norma de especificaciones de gasolinas ASTM D 4814, aparece este método (D 5845), así como las D 5599 / D 4815 (GC), para la determinación de oxigenados; pero la amplia y efectiva aplicación que tiene el uso de IR-Medio, inclina a colocar este equipo como imprescindible en el Laboratorio MeGAs.
- Titración Culombimétrica Karl Fisher. Existen diversos métodos para la determinación de agua: pérdidas al secado, reacción con hidruro de calcio, titulación Karl Fischer (KF), espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y Raman, así como mediciones dieléctricas. Entre los anteriores, el KF es el método de elección para determinar trazas de agua libre, emulsificada o disuelta, en forma precisa y en un tiempo razonable. Mientras la técnica KF volumétrica se aplica a muestras con contenido de agua de 1 - 100%, tanto ISO 12937, como EN 14214, prescriben la KF culombimétrica para la determinación del agua. La ASTM D 4806 prescribe el ASTM E1064 (KF culombimétrica) para muestras de etanol con bajo contenido de agua. Para contenido de agua superior al 2%, el método recomendado es la titulación volumétrica (ASTM E203). Estas técnicas son imprescindibles en el Laboratorio MeGAs.

Existen otros equipos imprescindibles en el Laboratorio MeGAs, entre ellos: Máquina de Octano con recursos para RON y MON; Bomba calorimétrica para determinación del Valor Calórico, calibrado para gasolinas y mezclas; Destilador automático, calibrado y con patrones para alcoholes y mezclas con gasolinas; Equipo de RVP (presión de vapores), calibrado y con patrones para alcoholes y mezclas; Equipo para determinación de Período de Inducción; Equipo para determinación de Gomas; pH-metro; Voltametría de redisolución anódica, para determinación de Cu; Tituladores potenciométricos y colorimétricos automáticos, de uso exclusivo para etanol y mezclas.

CONCLUSIONES

1. La implantación de la tecnología de mezclas gasolina/alcohol, principalmente en Brasil y EEUU, estuvo precedida de un amplio examen sobre la competencia, facultades y atribuciones de las autoridades encargadas de la creación y aplicación de bases normativas de control que, sobre la base de resultados de estudios científico-técnicos y de factibilidad económica, se traducen en leyes y decretos que respaldan los objetivos incluidos en ellas.
2. El éxito de la tecnología MeGAs descansa en la consecución y mantenimiento de la calidad de los combustibles involucrados: Etanol Anhidro Combustible, Gasolina Base y las propias MeGAs, mediante el riguroso control de sus propiedades físico-químicas y de explotación.
3. El Programa de Aseguramiento de Calidad de MeGAs propuesto para Cuba, algunos de cuyos aspectos fueron expuestos en este trabajo, adecua lo mejor de las experiencias mundiales en el manejo de esta tecnología, con lo esencialmente necesario, atendiendo a las realidades de nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

1. Portal MINBAS (2010), Calidad en procesos y productos. Disponible en: http://www.minbas.cu/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=110
2. Ajila, V.H.; Chiliquinga, B. M. (2007), Análisis de legislación sobre biocombustibles en América Latina. OLADE, abril (actualizado nov.), 2007, pp 8. Disponible en: http://www.olade.org.ec/documentos2/pdf
3. FQSTM (2003), The importance of fuel quality strategies and the main building blocks. Disponible en: http://www.cleanairnet.org/caiasia/1412/articles-58345_m1.pdf
4. Briceño, C. O. (2004), Aspectos estructurales y de entorno que enmarcan los proyectos e inversiones para la producción de bioetanol en Colombia. CENICAÑA. Colombia. Disponible en: http://www.cengicana.org/
5. Winter Moreira, L. (2009), A Petrobras e a Experiência Brasileira com Etanol. Gerência de Comércio de Álcool e Oxigenados. Petrobras – Abastecimento. Rio de Janeiro 11/08/2009. Apresentação á Delegação CUPET.
6. Holmberg, B. (2002), Chairman New uses council in biofuels and bioproducts. Presentation at power crops for the Americas Seminar, May 5 to 8th, 2002. Miami Fla.
7. Brasil (1997), CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988. LEI Nº 9.478, DE 06 DE AGOSTO DE 1997, Cap. I Dos Princípios e Objetivos da Política Energética Nacional, pp 7-12.
8. DO l140 de 5.6.2009. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
9. Missouri Revised Statutes (2009), Chapter 414 Fuel Regulation and Conservation. Disponible en: http://www.moga.mo.gov/
10. Oregón (2007), HOUSE BILL 2210 74th OREGON LEGISLATIVE ASSEMBLY-2007, pp 1, EEUU.
11. BioFuels International (2008), Bioethanol Glossary. Sitio Web especializado. Holanda. Disponible en: http://www.biofuels-news.com/bioeth_glossary.html
12. notiEtanol (2010), Contrato Internacional de Comercialización del Etanol. Año 6-Nº09- mayo2010.
13. Mora, N.E., Cavado, A., Alfonso, G. (2007), Índices utilizados para determinar la calidad del Etanol Anhidro Combustible en algunos países productores y exportadores de alcohol. Rev. ATAC 2/2007, pp 17.
14. ANP (2005), RESOLUÇÃO ANP Nº 36, DE 6.12.2005. Agência Nacional do Petróleo. Brasil.
15. IFQC (2004), Setting a Quality Standard for Fuel Ethanol Report Presented to: Department of the Environment and Heritage". International Fuel Quality Center. Hart Downstream Energy Services, pp 24.
16. WWFC (2009), ETHANOL GUIDELINES. Worldwide Fuel Charter Committee.
17. ANP (2009), RESOLUÇÃO ANP Nº 38, DE 9.12.2009 - DOU 10.12.2009. Brasil.
18. Duarte Pasa, V.M. (2006), Especificaciones de Calidad del Etanol Carburante y del Gasohol y Normas Técnicas para la infraestructura. 12/sept./2006. CEPAL, Naciones Unidas, pp 9.
19. ASTM (2008), ASTM D 4814-08b. Standard Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel.
20. EPA (1995), Fuel Economy Impact Analysis of RFG. EPA 420-F-95-003, Office of Mobile Sources, pp 12, 19, 54, 82.
21. Metrhom (2007), Practical Ion Chromatography. An Introduction.
22. PI (2009), Combustible de etanol desnaturalizado para mezclas con gasolina. Petróleo Internacional. Edición Dic2008/Enero 2009, pp 14-15. Disponible en: http://www.nxtbook.com/ml/pi/PIDicEne2009/#/14

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONÓMICA DE UN PROYECTO DE MEZCLA DE ETANOL – GASOLINA.

(TECHNO-ECONOMICAL FEASIBILITY STUDY OF A PROJECT FOR MIXING ETHANOL WITH GASOLINE.)

Autores: Alfredo Torres Fernández, Manuel Díaz de los Ríos, Roberto Cavado*, Norma Elena Mora*.

Instituciones: ICIDCA y CEINPET*.
E-mail: alfredo.torres@icidca.edu.cu

RESUMEN

La adición de alcohol etílico deshidratado[1] a la gasolina permite aumentar su octano, sustituyendo el tetraetilo de plomo, sin la utilización de otros componentes de origen fósil de alto valor agregado como naftas; reformadas, isomerizadas, craqueadas, alquiladas, etc).
En este sentido se trabaja en el país en la implementación de un proyecto, con vistas a producir alcohol etílico deshidratado para su mezcla con las gasolinas cubanas en un rango de 8 a 10%.
En el trabajo se hace un análisis de factibilidad técnico económica de cuatro alternativas en la ejecución del proyecto, empleando el programa computacional COMFAR III Expert[2]. Posteriormente, se realiza un análisis de sensibilidad en la variante seleccionada, con vistas a conocer las variaciones en los indicadores económicos al cambiar el monto de las inversiones asociadas al equipamiento de los diferentes objetos de obra, lo que resulta un elemento muy valioso en la toma de decisiones en el proceso inversionista.

Palabras claves: proyectos de inversión, indicadores financieros, análisis de sensibilidad.

ABSTRACT

A Techno-Economical Evaluation of a Cuban Project for mixing dehydrated ethanol with Cuban gasolines in a range from 8 to 10% is done. The best option is chosen according to its easy implementation and having better values of main financial indicators as IRR **(Internal Return Rate)** and payback period. Later, a sensitivity analysis is conducted on the selected option in order to know the changes in the financial indicators' values when the amounts of investment in different sections of the project are increased in different proportions. The results mean a key element for taking decisions in the investment process.

Key words: investment projects, financial indicators, sensitivity analysis.

INTRODUCCION.

El análisis de sensibilidad es el segundo paso de una evaluación económica según Agarwal (1975), ya que partiendo de unas condiciones iniciales, expresadas como un conjunto de valores específicos de ciertos

[1] Según la norma cubana NC792:2010.
[2] Programa Computacional desarrollado por ONUDI, usando la herramienta de desarrollo OPEN INTERFACE en su versión de 2003.

parámetros técnicos y económicos asociados al proyecto de inversión, se hace variar el valor de cada parámetro, para ver el correspondiente efecto que provoca sobre los indicadores de factibilidad económica del proyecto. Por otra parte, el análisis de sensibilidad representa una herramienta para abordar el problema de la incertidumbre con respecto a los acontecimientos y valores futuros; para eso, se determina los nuevos indicadores de inversión haciendo variar las condiciones del proyecto original. El análisis de sensibilidad representa un método simple según Peters (1991), para identificar las variables que más afectan el costo total de la inversión, de manera de buscar algunas alternativas de sustitución de las mismas.

El deterioro del medio ambiente motiva un sostenido esfuerzo en la búsqueda de combustibles alternativos que sustituyan, al menos parcialmente, el uso de combustibles fósiles que constituyen la causa principal del mismo. Como se conoce, a partir de los años 70, se comenzó a prestar una singular atención al uso del etanol como sustituto de la gasolina (experiencia que se tenía en el mundo, desde finales del siglo XIX) y de esa etapa surge Brasil como líder mundial en su uso, como resultado del conocido Programa Pro alcohol, como estrategia para protegerse de una eventual interrupción del suministro de hidrocarburos importados en un país totalmente dependiente del petróleo. Actualmente, Brasil posee, prácticamente, toda su flota de vehículos automotores funcionando con algún tipo de mezcla gasolina/alcohol etílico o con alcohol etílico solamente. En los EEUU, en estos momentos, se realizan innumerables estudios acerca del tema relacionado con las gasolinas oxigenadas, es decir, la paulatina sustitución del MTBE **(Metil Ter-Butil Eter)** por el alcohol etílico. De acuerdo al Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2009), factores ambientales, económicos, políticos y estratégicos han convertido al alcohol etílico en una de las principales opciones para la sustitución parcial de la gasolina ya sea por la mezcla directa o como insumo en la fabricación de ETBE **(Etil Ter-Butil Eter)**.

Cuba se prepara para actualizar su política con respecto al área de las mezclas de gasolina con alcohol etílico. La gasolina es un combustible que presenta propiedades de explotación ajustadas para un buen funcionamiento del motor; es una mezcla de naftas, que a su vez, están formadas por una mezcla de cientos o miles de compuestos orgánicos individuales, con base al carbono y el hidrógeno (hidrocarburos), de la serie de los alcanos, alquenos y aromáticos, cuyas estructuras y cantidades dependen de la naturaleza del petróleo crudo que se utilice como materia prima y de la tecnología disponible en cada refinería.

En nuestro país las naftas que componen la gasolina terminada son tres, fundamentalmente: Nafta Craqueada (NC), puede ser Ligera, Pesada o de Corte Amplio, proveniente del proceso de Craqueo Catalítico; Nafta Reformada (NR) del Reformador Catalítico y Nafta Virgen Ligera (NVL) de la Destilación Atmosférica (destilación primaria del petróleo). Cada una aporta a la gasolina diferentes niveles de la calidad exigida por el motor.

El parque automotor en Cuba tiene una cantidad importante de vehículos de carburación, aunque el índice de automóviles con inyección se está incrementando. Según Cavado (2008), en ambos tipo de autos, la adición hasta el 10% v/v de etanol deshidratado debe producir un efecto favorable después de las adecuaciones que se deriven de las comprobaciones y verificaciones que se realicen en las direcciones fundamentales siguientes:

- Efecto en el consumo de combustible en ambos tipos de vehículos
- Compatibilidad con el sistema de combustible de los vehículos más antiguos.
- Impacto ambiental en nuestras condiciones climáticas.

Por otra parte, el análisis económico del proyecto se fundamenta en un conjunto de condiciones técnico económicas que existen en el país:

- Cuba, al igual que otros países, enfrenta la necesidad de mejorar la calidad de la gasolina de consumo nacional mediante, entre otras soluciones la incorporación de aditivos mejoradores de la combustión y que contribuyen a la disminución del impacto ambiental.

- El alcohol etílico deshidratado es el producto que mayor uso tiene en la actualidad para este propósito y puede ser producido nacionalmente en las cantidades que demanda la economía nacional.
- Existen excedentes de alcohol etílico que pueden ser empleados para estos fines, por lo que no resulta necesario incrementar la producción cañera.

Adicionalmente, con el objetivo de minimizar el monto de las inversiones, así como los costos de transportación de gasolina y alcohol etílico, se consideran las siguientes premisas:

- Realización de las mezclas de alcohol etílico con gasolina en los puntos siguientes:
    - Terminal 221, Refinería Ñico López
    - Refinería de Cienfuegos
    - Refinería de Santiago de Cuba
    - Terminal de Pastelillo en Nuevitas
- Ubicación de la deshidratadora en la destilería Paraíso, perteneciente a la UEB Azucarera Melanio Hernández, en la provincia de Sancti Spíritus, debido a que se encuentra muy cerca de los puntos de mezcla priorizados (Refinería Ñico López y/ Cienfuegos) y por tanto se logra una reducción en los costos de transportación tanto del alcohol etílico hidratado como del deshidratado. Esta destilería recibe alcohol etílico hidratado de las diversas destilerías del país y entrega alcohol etílico deshidratado a los puntos de mezcla.

En el trabajo, primeramente, se hace una selección de la variante más apropiada en la ejecución del proyecto de producción de la mezcla alcohol etílico – gasolina, considerando tanto su implementación como los valores de los indicadores de factibilidad económica asociados. Posteriormente, con la variante seleccionada, se realiza un análisis de sensibilidad, con vistas a conocer las variaciones en los indicadores de factibilidad económica al variar el monto de las inversiones vinculadas al equipamiento de los diferentes objetos de obra. Esto último representa un elemento muy importante a considerar en la toma de decisiones en el proceso inversionista.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Los fundamentos básicos, muy bien delineados en Behrens (1994), se emplean en la realización de los cálculos económicos. Desde el punto de vista práctico, se utiliza el programa computacional COMFAR III Expert.
En la evaluación económica se consideran las siguientes premisas:

- Se analiza la factibilidad de la producción de la mezcla alcohol etílico – gasolina por lo que se incluyen las inversiones para la instalación de una deshidratadora así como las inversiones necesarias en los puntos de mezcla y servicentros que distribuyen el producto final, en este caso gasolina mezclada con un 10% de alcohol etílico deshidratado.
- La moneda utilizada para el análisis es el peso convertible (CUC).
- La tasa de cambio utilizada es de 1 CUC. = 1 USD.
- La tasa de actualización asumida para el análisis es de 12%.
- Dada la estabilidad del escenario económico cubano no se tiene en cuenta el efecto de la inflación.
- Se toma un horizonte de planificación de 15 años y dos años para la fase de construcción y puesta en marcha. La fase de producción se inicia cuando concluya la inversión del primer año, correspondiente a cada alternativa, alcanzándose la capacidad total en el segundo año de producción.
- Se utilizan en el análisis económico cuatro alternativas en función del cronograma de ejecución de la inversión.
- **Alternativa Base**. Todas las inversiones se realizan en el primer año.

- **Alternativa 1**. Se realiza en el primer año la inversión en la deshidratadora, infraestructura de transportación de alcohol etílico, puntos de mezcla de Cienfuegos y Pastelillo y los servicentros de esta región. En el segundo año la inversión comprendería los puntos de mezcla restantes (Ñico López y Hermanos Díaz) así como los servicentros asociados.
- **Alternativa 2**. Se realiza en el primer año la inversión en la deshidratadora, infraestructura de transportación de alcohol etílico, puntos de mezcla Cienfuegos, Pastelillo y Hermanos Díaz y los servicentros de la región centro oriental. En el segundo año, la inversión comprende el punto de mezcla en Ñico López así como los servicentros asociados.
- **Alternativa 3.** Se realiza en el primer año la inversión en la deshidratadora, infraestructura de transportación de alcohol etílico, punto de mezcla en Refinería Ñico López y los servicentros de la región occidental. En el segundo año, la inversión comprende los puntos de mezcla restantes (Cienfuegos, Pastelillo y Hermanos Díaz) así como los servicentros asociados a la región centro oriental.

Para el cálculo del Costo de Inversión Total asociada al proyecto se asume:

- La inversión industrial se concibe de manera integral desde la entrada del alcohol etílico flema[3] al módulo de deshidratación hasta la salida de la gasolina mezclada en los puntos de mezcla para entregar a los servicentros.
- La inversión industrial comprende: los gastos para la adquisición del módulo de deshidratación, el equipamiento requerido para el área de almacenamiento y despacho del alcohol etílico deshidratado, así como para la generación de vapor, electricidad y agua tratada necesarios en el proceso. También incluye las modificaciones a realizar en los puntos de mezclas, servicentros y la logística de transportación del alcohol etílico.
- En el monto de preparación y acondicionamiento del terreno se consideran las inversiones de las obras inducidas necesarias a acometer asociadas al módulo de deshidratación (entubamiento y rectificación de la cañada, canales de drenaje, viales de acceso a la destilería y ampliación de la línea férrea).
- El valor del módulo de deshidratación se establece a partir de diversas ofertas de varios proveedores que se ajustaron a los requerimientos del proyecto. Desde el punto de vista tecnológico, se emplea una columna deshidratadora de tamices moleculares
- Las inversiones para el despacho del alcohol etílico contemplan: dos brazos de línea, un cargadero, y el equipamiento tecnológico asociado a la automática del sistema. Su valoración económica se realiza a partir de los criterios de los especialistas del CEINPET[4] (2008).
- Para todas las alternativas, el monto de la inversión de los servicentros de cada región se estima proporcionalmente a los volúmenes de gasolina a distribuir.
- La inversión para la transportación del alcohol etílico deshidratado comprende la compra de diez pailas articuladas de 40000 l de capacidad cada una. Para el caso de la transportación del alcohol etílico flema se considera el 25 % de este valor.
- La inversión del equipamiento de laboratorio incluye los equipos necesarios para realizar los análisis de control de la calidad.

En la tabla I se muestra el detalle de la inversión fija y en las tablas de la II a la V el desglose de la inversión total así como, gastos preoperativos y de capital de trabajo para cada alternativa.

[3] Según la norma cubana NC792:2010.
[4] Centro de Investigaciones del Petróleo de Cuba.

Tabla I. Desglose de la Inversión Fija

Partidas	Total (CUC)
Adquisición de terrenos	**0,00**
Preparar y acondicionar el terreno	**140.570,00**
Rectificación y Entubamiento de cañada	44.590,00
Canales de Drenaje	7.280,00
Vial de entrada de destilería	63.700,00
Vía férrea de entrada a destilería	25.000,00
Obras ingeniería civil, estructuras y edificios	**18.360,12**
Maquinaria y equipo	**11.247.909,12**
Módulo de deshidratación	2.269.642,72
Puntos de mezcla	4.633.466,40
Servicentro	2.819.800,00
Transportación hidratado	275.000,00
Transportación deshidratado	1.100.000,00
Equipos de Laboratorio	150.000,00
Equipo auxiliar y de servicio	**662.200,00**
Imprevistos	539.732,14
COSTO TOTAL DE INVERSION FIJA	**12.608.771,38**

Nota: Elaboración propia

Del costo total de la inversión fija el mayor por ciento corresponde a Maquinaria y Equipos con un 88,8 % donde las inversiones a realizar en los puntos de mezcla tienen una mayor incidencia con un 36,75 % aproximadamente.

Tabla II. Resumen del monto total (CUC) de la inversión industrial (Alternativa Base)

Partidas	Total de Construcción	Total de Producción	Construcción 2009	Construcción 2010
Total costos de inversión fija	12.598.770,98	0,00	12.598.770,98	0,00
Total gastos pre-operativos	1.556.729,78	0,00	1.556.729,78	0,00
Gastos pre-operativos (sin financiación)	269.866,07	0,00	269.866,07	0,00
Interés	1.286.863,71	0,00	1.286.863,71	0,00
Aumento de capital de trabajo neto	0,00	1.030.491,35	0,00	0,00
COSTOS TOTALES DE INVERSION	**14.155.500,76**	**1.030.491,35**	**14.155.500,76**	**0,00**

Nota: Elaboración propia

Tabla III. Resumen del monto total (CUC) de la inversión industrial (Alternativa 1)

Partidas	Total de Construcción	Total de Producción	Construcción 2009	Construcción 2010
Total costos de inversión fija	12.608.771,38	0,00	8.219.844,89	4.388.926,49
Total gastos pre-operativos	2.491.598,02	482.781,91	1.118.837,17	1.372.760,85
Gastos pre-operativos (sin financiación)	269.866,07	0,00	269.866,07	0,00
Interés	2.221.731,95	482.781,91	848.971,10	1.372.760,85
Aumento de capital de trabajo neto	0,00	960.995,00	0,00	0,00
COSTOS TOTALES DE INVERSION	**15.100.369,40**	**1.443.776,91**	**9.338.682,06**	**5.761.687,34**

Nota: Elaboración propia

Tabla IV. Resumen del monto total (CUC) de la inversión industrial (Alternativa 2)

Partidas	Total de Construcción	Total de Producción	Construcción 2009	Construcción 2010
Total costos de inversión fija	12.608.771,38	0,00	9.452.200,34	3.156.571,04
Total gastos pre-operativos	2.627.157,12	347.222,81	1.242.072,71	1.385.084,41
Gastos pre-operativos (sin financiación)	269.866,07	0,00	269.866,07	0,00
Interés	2.357.291,05	347.222,81	972.206,64	1.385.084,41
Aumento de capital de trabajo neto	0,00	960.995,00	0,00	0,00
COSTOS TOTALES DE INVERSION	**15.235.928,50**	**1.308.217,81**	**10.694.273,05**	**4.541.655,45**

Nota: Elaboración propia

Tabla V. Resumen del monto total (CUC) de la inversión industrial (Alternativa 3)

Partidas	Total de Construcción	Total de Producción	Construcción 2009	Construcción 2010
Total costos de inversión fija	12.608.771,38	0,00	8.312.076,02	4.296.695,36
Total gastos pre-operativos	2.501.743,44	472.636,49	1.128.060,28	1.373.683,17
Gastos pre-operativos (sin financiación)	269.866,07	0,00	269.866,07	0,00
Interés	2.231.877,37	472.636,49	858.194,21	1.373.683,17
Aumento de capital de trabajo neto	0,00	960.995,00	0,00	0,00
COSTOS TOTALES DE INVERSION	**15.110.514,82**	**1.433.631,49**	**9.440.136,30**	**5.670.378,53**

Nota: Elaboración propia.

En cuanto al monto de la inversión total para cada alternativa, se aprecia que su valor se encuentra en aproximadamente 15 MMCUC, exceptuando la alternativa Base con 14 MMCUC. Las principales diferencias están dadas fundamentalmente por el monto de los intereses bancarios, los cuales dependen de la ejecución de la inversión en el tiempo.

Fuentes de financiamiento.

Se considera que el proyecto sea financiado a través de un préstamo a largo plazo bajo las siguientes condiciones:

- La tasa de interés anual del 10%.
- Un año de período de gracia capitalizando intereses durante este período.
- Los desembolsos se realizarán en tres años pagando una cuota anual fija.

Costos de producción estimados

Las premisas fundamentales para la estimación de los costos de producción son las siguientes:

- Se asume un valor de 0,32 CUC/t para la transportación en pesos convertibles.
- El suministro del alcohol etílico deshidratado hacia los puntos de mezcla se realiza por transporte automotor y se utilizan las tarifas para combustible por carros cisternas del año 2008.
- Se toma el costo de producción de alcohol etílico según la ficha de costo elaborada por el MINAZ para el año 2008, adicionándole los costos generados por la transportación desde su lugar de fabricación hasta el módulo de deshidratación.
- Se considera que todos los servicios auxiliares necesarios (vapor, electricidad y agua) para el funcionamiento del módulo de deshidratación son brindados por la destilería anexa.
- Los insumos para el módulo de deshidratación antes mencionados, así como otras materias primas y materiales, se sustentan en índices de consumo previamente establecidos en Pérez (2009).
- Se consideran 300 días de operación del módulo de deshidratación y para el primer año los niveles de producción están dados en función de la alternativa, estabilizándose la producción a partir del segundo año.
- Los precios de las naftas para la formulación de la gasolina se asumen según el mercado internacional.
- Se considera una tasa de depreciación del 5% anual para maquinarias y equipos, obras de ingeniería civil y preparación del terreno. Para la infraestructura de transportación del alcohol etílico se considera una tasa de un 10% anual, para los equipos de laboratorio de un 25% y para los equipos auxiliares y de servicios un 6,67%.
- El cálculo de los costos indirectos por conceptos de salarios no se toma en consideración, ya que el mismo se devenga en moneda nacional y el análisis se realiza en pesos convertible (CUC).
- Los costos totales incluyen los costos de la producción del alcohol etílico deshidratado y de la mezcla gasolina – alcohol etílico.

A partir de la variante seleccionada, se analiza el efecto que tiene la variación del monto de las inversiones asociadas al equipamiento de los diferentes objetos de obra sobre los indicadores económicos.
Se toman tres niveles de variación (incrementos de 15, 20 y 30%) en los valores correspondientes a las inversiones en:

- Deshidratadora
- Puntos de Mezcla
- Servicentro.

- Transporte de etanol

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados de la efectividad de la inversión para cada alternativa son:

Tabla VI. Indicadores Económicos

Indicadores	Alternativa Base	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
VAN (CUC)	53.400.758,03	62.169.073,95	**65.060.289,90**	84.877.099,09
TIR (%)	55,98	59,84	**66,99**	101,58
Periodo de recuperación de la inversión (a)	3,63	3,49	**3,23**	2,07
Razón VAN/Inversión (adim)	4,59	5,28	**5,57**	5,22

Nota: Elaboración propia.

Se aprecia para todas las alternativas que el Valor Actual Neto (VAN) es positivo y la tasa interna de retorno es superior a la tasa de actualización (12%), lo que indica la factibilidad económica de cada una de ellas. El resultado en materia de periodo de recuperación indica que la inversión se recupera dentro del horizonte de planificación del proyecto. Todas las alternativas muestran resultados favorables. La alternativa Base, a pesar de tener buenos indicadores, presenta la dificultad de que todas las inversiones se tienen que realizar en el primer año y por lo tanto es la menos probable en cuanto a ocurrencia en nuestras condiciones.

Se observa en la Tabla 6, que a pesar que la alternativa 3, donde se realizan las inversiones de la región occidental en el primer año y los niveles de producción son del 62,7% en el primer año de producción, tiene los mejores resultados, desde el punto de vista práctico, no es la más adecuada, ya que involucra la rehabilitación de un número muy elevado de servicentros, por lo que se dificulta su implementación. Basándonos en este hecho práctico, se recomienda comenzar el Programa por la alternativa 2, que supera en cuanto a los valores de los indicadores a la alternativa Base y la alternativa 1, y donde se realizan las inversiones de la región centro oriental en el primer año debido fundamentalmente a que en esta zona hay una mayor disciplina tecnológica y existen las condiciones para evaluar las soluciones de los problemas de aplicación que se originen antes de la extensión a los mayores consumidores que se encuentran en la zona occidental.

Análisis de Sensibilidad

Los resultados obtenidos para cada objeto de obra por niveles se muestran en las tablas VII a la X.

Tabla VII. Resultados de la sensibilidad en las inversiones en Deshidratadora

DESHIDRATADORA	Alternativa 2	15%	20%	30%
DISMINUCION TIR (%)	66,99	8,27	8,63	9,34
INCREMENTO PERIODO DE RECUPERACION (a)	3,23	0,28	0,29	0,31

Nota: Elaboración propia

Tabla VIII. Resultados de la sensibilidad en las inversiones en los Puntos de Mezcla

PUNTOS DE MEZCLA	Alternativa 2	15%	20%	30%
DISMINUCION TIR (%)	66,99	**9,14**	**9,78**	**11,00**
INCREMENTO PERIODO DE RECUPERACION (a)	3,23	**0,31**	**0,32**	**0,35**

Nota: Elaboración propia

Tabla IX. Resultados de la sensibilidad en las inversiones en los Servicentros

SERVICENTRO	Alternativa 2	15%	20%	30%
DISMINUCION TIR (%)	66,99	8,21	8,56	9,24
INCREMENTO PERIODO DE RECUPERACION (a)	3,23	0,29	0,30	0,32

Nota: Elaboración propia

Tabla X. Resultados de la sensibilidad en las inversiones en el transporte de etanol

TRANSPORTE DE ETANOL	Alternativa 2	15%	20%	30%
DISMINUCION TIR (%)	66,99	7,82	8,04	8,48
INCREMENTO PERIODO DE RECUPERACION (a)	3,23	0,27	0,28	0,29

Nota: Elaboración propia

Como puede apreciarse, el efecto mayor sobre la disminución en el TIR y el aumento del período de recuperación lo tiene el incremento de las inversiones en los **PUNTOS DE MEZCLA**, lo cual refleja un comportamiento lógico dado el peso que tiene en el monto total de la inversión fija.

CONCLUSIONES

1- Los resultados obtenidos, demuestran que el proyecto de inversión para la producción de la mezcla alcohol etílico – gasolina, es capaz de mantener su factibilidad económica aún con un incremento del monto de las inversiones (**superior al 10%**), lo cual proporciona una gran reserva al proceso de toma de decisiones dentro del programa inversionista.
2- Se recomienda, desde el punto de vista práctico, comenzar el programa de producción de gasolina mezclada por la **alternativa 2**, que supera en cuanto a los valores de los indicadores de rentabilidad a la alternativa Base y la alternativa 1
3- El análisis de sensibilidad demuestra que el incremento de las inversiones en los **puntos de mezcla**, tiene el mayor impacto en la disminución de la factibilidad económica de la alternativa seleccionada (**alternativa 2**).
4- Se comprueba el enorme potencial que posee el programa COMFAR III Expert como herramienta de análisis para la toma de decisiones en el proceso inversionista.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1- Agarwal, J. C.; Klumpar, I. V. (1975), "Profitability, sensitivity and risk analysis for project economics". Chemical Engineering, 82.
2- Peters, M. S.; Timmerhaus, K. D. (1991), Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fourth Edition, McGraw-Hill, Inc.
3- Cezar, R. y otros (2009), Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Unicamp.
4- Cavado, R. y otros (2008), Informe técnico sobre las mezclas alcohol etílico – gasolina en las condiciones cubanas, Informe interno, CEINPET.
5- Behrens, W.; Hawranek, P. M. (1994), Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial. ONUDI, Viena. Edición corregida y aumentada, pp. 255-316.
6- Alonso A. y otros (2008), Informe técnico sobre proyecto de mezcla alcohol etílico – gasolina, transportación y distribución, Informe interno, Departamento Técnico, CEINPET.
7- Pérez, I. y otros. (2009), Tarea Técnica sobre montaje de un módulo de deshidratación de etanol, Informe interno, Departamento de Evaluación Técnico-Económica, ICIDCA.

Alcohol y bebidas

La reciente evolución de la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar en Brasil

Henrique Vianna Amorim

Fermentec Ltda, Piracicaba, SP Brasil
amorim@fermentec.com.br

El etanol en Brasil es producido por la fermentación de sustratos de caña de azúcar. Los carbohidratos de la caña de azúcar son principalmente sacarosa, glucosa y fructosa. Todos los azúcares son metabolizados por la levadura (*S. cerevisiae*) y sin la necesidad de enzimas externos.

La caña de azúcar es aplastado por los molinos para extraer el jugo, el azúcar también pueden ser extraídos por el difusor. El jugo se puede tratar y se concentró antes de dirigirse a fermentadores y se convierta en etanol. Por otro lado, la melaza se utiliza también para la producción de etanol, solo y mezclado con agua, o mezclado con el jugo.

El principal proceso de fermentación utilizado en Brasil es en batch y con reciclo de la levadura mediante centrifugación.

En promedio, el tiempo de fermentación es de 9 horas y la concentración de etanol en el final de la fermentación es de aproximadamente 8-9% (v/v).

En los últimos 10 años la mejora de la forma de los fermentadores y la evolución del proceso de fermentación mejora la productividad y reducción de costos.

La forma del fermentador mejoró la mezcla, reducción de agua para la limpieza y reducción de la aplicación de antiespumante. Mejoras en el proceso debido a mejores prácticas y nuevo procesos de selección de levaduras (Process Driven Selection), comenzando con la levadura personalizada. Estas levaduras dominaron las levaduras salvajes en toda la zafra.

Además de este nuevo proceso de selección de levadura para cada destilería, fue desarrollado un proceso de fermentación para trabajar con una concentración de etanol de 16% al final de la fermentación, en 17 horas.

ALTERNATIVAS TÉCNICO ECONÓMICAS A PARTIR DE LA INTEGRACIÓN DE PRODUCCIONES DE AZÚCAR Y ALCOHOL

TECHNICAL ECONOMICAL ALTERNATIVES FROM THE INTEGRATION OF SUGAR AND ALCOHOL PRODUCTIONS

Antonio Valdés Delgado

Dirección Programas y Proyectos Agencia Medio Ambiente
Ministerio Ciencia Tecnología y Medio Ambiente
avaldes@ama.cu

RESUMEN

Una eficiente utilización de la biomasa azucarera como fuente de combustible sólido para la generación de energía eléctrica se puede alcanzar al procesarse la caña para producciones integradas de azúcar y/o alcohol, siendo la Biomasa Azucarera: los Residuos Agrícola de la Cosecha y los Residuos Industriales de la Caña de Azúcar (el Bagazo) los principales combustibles para satisfacer las necesidades energéticas de estas producciones.

La segregación de diferentes corrientes intermedias de la producción de azúcar para la producción de alcohol incide en las cantidades que se pueden producir de ambas producciones y alcanzar cantidades significativas de energía sobrante. Tomando en consideración el efecto económico positivo que se puede alcanzar por la producción de energía eléctrica a partir de la biomasa de la caña sustituyendo combustible fósil se realiza un análisis técnico económico de diferentes alternativas, en correspondencia de los precios en diferentes mercados del azúcar, del alcohol y del fuel oil se puede decidir las cantidades de estos productos a producir.

La adopción de estas alternativas propiciarían una industria diversificada flexible que puede pasar a producir azúcar de mayor calidad, mayores cantidades de alcohol y de energía eléctrica. La producción integrada de AZÚCAR-ALCOHOL-ENERGÍA implica el aumento del valor agregado a estas producciones realizando a su vez una contribución a la protección del medio ambiente.

Palabras claves: Azúcar, Alcohol, Energía, Precios

SUMMARY

An efficient use of sugarcane biomass as a solid fuel source for the generation of electric energy can be achieved when sugar cane is processed for the production of sugar and alcohol being the Sugar Cane Crop Residues and the Sugar Cane Industrial Residues (the Bagasse) are the main fuels for satisfying the energy needs of these productions.

The segregation of different intermediate currents of sugar production for alcohol production has a direct effect on the quantities of these productions that can be achieved with significant surplus of electric energy. Taking into consideration a positive economical effect that can be obtained for the production of electric energy from sugar cane biomass substituting fossil fuel, an economical analysis is made for different alternatives in relation to the prices of sugar, alcohol and fuel oil markets. These results can be used to decide the quantities of sugar and alcohol to be produced.

The adoption of these alternatives can propitiate a flexible diversified industry that could produce sugar with higher quality, an increase in the alcohol and electric energy productions. The integrated production of SUGAR-ALCOHOL-ENERGY- signifies the possibility of an aggregated value of these productions with a contribution to environmental protection

Key words: Sugar, Alcohol, Energy, Prices

Introducción

La Biomasa puede tener diferentes destinos en su uso tal como son los alimentos, los combustibles y/o energía y diversas producciones industriales. Existe actualmente un alto interés con la producción de Biocombustibles en correspondencia con las futuras limitaciones de los combustibles fósiles tanto en lo que respecta su efecto negativo sobre el medio ambiente como a la disminución de su disponibilidad. El uso de productos agrícolas o de tierras agrícolas para la producción del Biocombustble puede incidir negativamente, no tan solo en la producción de alimentos como tal sino también del encarecimiento en sus precios, lo que afectaría la alimentación de una alta cantidad de personas en la Región y en el Mundo. Establecer los impactos, tomar conocimiento y alertar de los efectos que puede ocasionar su producción indiscriminada es de alta importancia para poder prevenir y evitar futuras situaciones perjudiciales al medio ambiente y a la sociedad. Entre las biomasas, disponibles comercialmente hoy en día, la caña de azúcar ocupa un destacado lugar.

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 para la producción de azúcar y/o alcohol, siendo los Residuos Agrícola de la Cosecha (RAC) y el Bagazo los principales combustibles que se obtienen de estas producciones. Valdés A., et al. (1997) La segregación de corrientes intermedias de la producción de azúcar para la producción de alcohol provoca impactos sobre la disponibilidad de Alimentos, Combustible, Energía y en la disminución de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. La utilización de estas corrientes incide en las cantidades de azúcar que se pueden producir por la disminución de los flujos y de la cantidad de azúcar cristalizable, es de señalar que la separación de algunos de estos fluidos puede beneficiar el rendimiento azucarero y la calidad del azúcar producido.

La posibilidad de adopción de estas alternativas propiciaría una industria diversificada flexible es decir una Biofabrica que puede pasar a producir azúcar de mayor calidad y mayores cantidades de alcohol y energía eléctrica. La producción de azúcar se realiza a través de un proceso tecnológico que involucran diferentes flujos intermedios y finales, los flujos que pueden ser utilizados para la producción de alcohol en función de los azucares presentes pueden clasificarse como tradicionales y de nueva utilización. Valdés A. (2012)

En el caso de fluidos tradicionales se encuentra: la miel final y en el caso de nuevos fluidos se pueden considerar: el Jugo Secundario de la planta de Extracción, el Jugo de los Filtros y la Miel B, existiendo combinaciones posibles tales como empleando:

1.- La Miel Final y el Jugo de los Filtros
2.- La Miel B
3.- La Miel B y el Jugo de los Filtros
4.- La Miel B y el Jugo Secundario de la Planta de Extracción
5.- La Miel B, el Jugo de los Filtros y el Jugo Secundario de Planta de Extracción

La utilización de estas corrientes –como se ha señalado- propicia la producción de diferentes cantidades de azúcar y alcohol en correspondencia a los flujos segregados y como consecuencia se puede generar una cantidad significativa de energía eléctrica –tomando como premisa la satisfacción de las necesidades de estas producciones-. En función de los precios en el mercado de estas tres producciones – en el caso de la energía eléctrica considerando el costo evitado por utilizarse Biomasa y no Fuel Oil- se pueden tomar decisiones para determinar las cantidades a producir de azúcar y alcohol.

ESTUDIO DE UN CASO

Se analizan las producciones de azúcar, alcohol y energía eléctrica según el caso siguiente

Datos del caso en estudio:
Capacidad procesamiento caña: 10 000 ton por día
Cantidad jugo filtros: 15% caña
Cantidad jugo primario: 55% caña
Cantidad jugo secundario 45% caña
Cantidad jugo mezclado 100% caña
Cantidad bagazo: 29% caña
Cantidad RAC: 25% caña

Se realiza un cálculo de los consumos de vapor en el calentamiento y evaporación de los jugos y la elaboración de las masas cocidas, se considera una producción de vapor de 2.2 ton por ton bagazo alimentado a las calderas, se calcula el consumo de vapor en la producción de alcohol, de 0.33 toneladas vapor por hectolitro de alcohol hidratado producido. En la valoración económica de las alternativas analizadas, se considera un precio de Azúcar de 110 y de 550 USD/ton, de Alcohol de 0.30 y 0.60 USD/litro y de Energía Eléctrica de 0.10 y 0.20 USD/Kwh.

En la Tabla I se muestran las cantidades de azúcar y alcohol que se pudieran producir para las combinaciones de corrientes segregadas

Tabla I Cantidades de azúcar y alcohol producidos a partir de la utilización de corrientes finales e intermedias de la producción de azúcar.

Alternativas	Cantidad azúcar producida (ton/día)	Disminución producción azúcar (ton/día) y %		Cantidad alcohol producido (Hl/día)	Aumento cantidad alcohol producido (Hl/día) y %	
MF	1176	---	---	996	---	---
MF+JF	1032	144	12.2	1637	641	64.3
MB	1015	161	13.7	1944	948	95.2
MB+JF	890	286	24.3	2450	1454	146.0
MB+JS	766	410	34.9	2820	1824	183.1
MB+JS+JF	736	440	37.4	3456	2460	247.0

En la tabla se indica como ocurre una disminución en la cantidad de azúcar que se produciría -entre un 12 a un 37 %- y el incremento en la cantidad de alcohol -que indica valores entre un 64 y un 243 %.

En el análisis del consumo de energía eléctrica en las producciones de azúcar Valdés A. (2001) y alcohol se han considerado los equipos que operan similarmente para todas las alternativas, se han revisado los que operan a menores capacidades y los que dejan de operar en las diferentes alternativas como son los casos de las centrifugas, los equipos de bombeo, los cristalizadores, etc. en la Tabla II se indica el consumo de energía eléctrica en las producciones de azúcar y alcohol para el caso en estudio.

Tabla II Consumo energía eléctrica en las producciones de azúcar y etanol

Alternativas	CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA (en kW-h)		
	CONSUMO		TOTAL
	AZÚCAR *	ETANOL **	
MF	10 803	622	11 425
MF+JF	10 373	1 023	11 396
MB	10 213	1 215	11 428
MB+JF	9 812	1 531	11 343
MB+JS	9 110	1 763	10 873
MB+JS+JF	8 277	2 160	10 432

- Se han considerado los equipos que operan similarmente para todas las alternativas y reducido los que operan a menores capacidades y los que dejan de operar en cada alternativa como centrifugas, equipos de bombeo, cristalizadores, etc.,

** Se ha considerado un consumo de 15 kW-h/Hl alcohol

.

En el caso del empleo de TURBOGENERADORES DE CONDENSACIÓN se ha determinado la cantidad energía eléctrica factible de generar a partir de la disponibilidad del bagazo sobrante y del RAC. Estos datos se muestran en la Tabla III

Tabla III Cantidad energía eléctrica factible de generar a partir de la disponibilidad de bagazo sobrante y RAC empleando turbo de condensación

Alternativas	Vapor disponible (kg/hr)			Energía eléctrica factible de generar*** (MW-hr)
	Bagazo	RAC	Total	
MF	71 000	151 000	222 000	57.5
MF+JF	88 000	151 000	239 000	61.9
MB	57 000	151 000	208 000	53.8
MB+JF	79 000	151 000	230 000	59.6
MB+JS	93 000	151 000	244 000	63.2
MB+JS+JF	90 000	151 000	241 000	62.4

* Se considera una disponibilidad de RAC del 50% ya que se deja una cantidad en los suelos para mantener la humedad y disminuir los consumos de herbicidas. Ello indica una cantidad de RAC de 1650 t/día

** La cantidad de vapor factible a producir a partir de la cantidad de bagazo producido es de 2900 t/d bagazo*2.2 = 6380 /24 =265830 kg/h

*** El índice consumo de vapor por cantidad de energía eléctrica generada es de 3.86 kw-h/kg vapor para una presión de vapor de 63 kg/cm en turbogenerador de condensación.

Como se ha señalado previamente se considera para la valoración económica dos niveles de precios de las tres producciones en estudio, tomando en consideración las alternativas de separación de corrientes se muestra en la tabla IV las ocho combinaciones posibles.

Tabla IV- Alternativas técnico económicas para diferentes precios considerados.

Variante	Azúcar *	Alcohol **	Energía Eléctrica ***	Variante	Azúcar	Alcohol	Energía Eléctrica
1	110	0.30	0.10	5	550	0.30	0.10
2	110	0.30	0.20	6	550	0.30	0.20
3	110	0.60	0.10	7	550	0.60	0.10
4	110	0.60	0.20	8	550	0.60	0.20

* Se consideran dos variantes de precio: 110 y 550 USD/ton (5 y 25 cts/libra)
** Se consideran dos variantes de precio: 0.30 y 0.60 USD/l
*** Se consideran dos variantes de precio: 0.10 y 0.20 USD/kw-hr

En la tabla siguiente se exponen las alternativas de mayor efectividad económica de las variantes estudiadas.

Tabla V Resumen de las 8 alternativas, considerando el mayor efecto económico en miles USD y en por ciento

Variante No	Corrientes	Azúcar (MUSD)	Alcohol (MUSD)	Energía eléctrica (MUSD)	Total (MUSD)
1	MB+JF+JS	80,9/24	103,8/31	149,0/45	333,7/100
2	MB+JF+JS	80,9/17	103,8/21	300,0/62	484,7/100
3	MB+JF+JS	80,9/18	207,0/47	149,0/35	438,0/100
4	MB+JF+JS	80,9/14	207,0/35	300,0/51	587,8/100
5	MF	646,8/79	29,9/4	138,0/17	814,7/100
6	MF	646,8/68	29,9/5	276,0/27	952,7/100
7	MF	646,8/76	59,7/7	138,0/17	845,5/100
8	MF	646,8/66	59,7/6	276,0/28	983,0/100

Se puede analizar como las variantes en que el precio del azúcar es mayor -550 USD/ton- y en el costo evitado en la producción de energía eléctrica -0.20 USD/kw-hr- por utilizar Biomasa como fuente de combustible en lugar de combustible fósil, se alcanzan las mayores retribuciones económica. Siendo el azúcar la de mayor incidencia seguido por la producción de energía eléctrica y posteriormente la producción de alcohol.

Sin embargo cuando los precios del azúcar son los menores -110 USD/ton- la mayor retribución económica se alcanza por la producción de energía eléctrica seguido por la producción de alcohol y posteriormente por la producción de azúcar, con la excepción de la Variante 3 en que la retribución por la producción de alcohol es mayor que por la de la producción de energía eléctrica, lo que indica que los análisis deben ser casuísticos.

Se considera recomendable trabajar en la elaboración de un programa de optimización para poder valorar a partir de cualquier variación en los precios -de estos tres productos-se pueda establecer la variante de producción con la mayor efectividad económica.

CONCLUSIONES

Los análisis realizados indican una disminución en la cantidad de azúcar que se produciría -entre un 12 a un 37 %- y el incremento en la cantidad de alcohol -que indica valores entre un 64 y un 243 % al emplearse las diferentes corrientes intermedios y final de la producción de azúcar.

La producción integrada de azúcar y alcohol propicia no solo que sus producciones sean energéticamente autosuficientes sino también puede propiciar energía adicional para su uso en el sistema electro energético nacional como concepto de energía distribuida. Los análisis realizados indican que se puede disponer entre 57.5 y 63.2 Mw-hr adicionales a partir de satisfacer los consumos en las producciones de azúcar y alcohol empleando turbo de condensación.

Se puede analizar como las variantes en que el precio del azúcar es mayor -550 USD/ton- y en el costo evitado en la producción de energía eléctrica -0.20 USD/kw-hr- por utilizar Biomasa como fuente de combustible en lugar de combustible fósil, se alcanzan las mayores retribuciones económicas, siendo el azúcar la mayor incidencia seguido por la producción de energía eléctrica y posteriormente la producción de alcohol.

Sin embargo cuando los precios del azúcar son los menores -110 USD/ton- la mayor retribución económica se alcanza por la producción de energía eléctrica seguido por la producción de alcohol y posteriormente por la producción de azúcar, con la excepción de la Variante 3 en que la retribución por la producción de alcohol es mayor que por la de la producción de energía eléctrica, lo que indica que los análisis deben ser casuísticos.

La segregación de diferentes corrientes intermedias de la producción de azúcar para la producción de alcohol incide en las cantidades que se pueden producir de ambas producciones y alcanzar cantidades significativas de energía sobrante. Tomando en consideración el efecto económico positivo que se puede alcanzar por la producción de energía eléctrica sobrante a partir de la biomasa de la caña sustituyendo combustible fósil se realizó una valoración técnica-económica de diferentes alternativas para diferentes precios del azúcar, del alcohol y del fuel oil.

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 adopción de estas alternativas propiciarían una industria diversificada flexible que puede pasar a producir azúcar de mayor calidad, mayores cantidades de alcohol y de energía eléctrica pudiéndose determinar las cantidades de estos productos a producir en correspondencia con los precios de estos tres productos.

BIBLIOGRAFÍA

Valdés A., Lopez P., Isaac. J. (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

Valdés A. (2001) Electric energy cogeneration and generation at the Cuban Sugar Factories. Implementation Strategies for Biomass Utilization in Europe and Developing Countries Workshop Stockholm Suecia.

Valdés A. (2012) Impactos alternativas por la utilización de flujos intermedios de la producción de azúcar para la producción de alcohol. 50 Congreso Asociación Técnicos Azucareros de Cuba, La Habana

SISALCO 1.0: SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL EN DESTILERÍAS CUBANAS

SISALCO 1.0: SOFTWARE FOR CONTROLLING THE ALCOHOL PRODUCTION ON CUBAN DISTILLERIES

Autores: Arnaldo Díaz Molina[*], Maby Hernández Curbelo[*], Mauricio Ribas García[*], Rafael Hurtado Vargas[*].

arnaldo.diaz@icidca.edu.cu, maby.hernandez@icidca.edu.cu, mauricio.ribas@icidca.edu.cu

*Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca # 804 y Carretera Central, Apartado 4026, La Habana, Cuba.

RESUMEN

SISALCO es un sistema para controlar la producción de alcohol en destilerías cubanas. Representa una herramienta útil para el tecnólogo que controla los partes productivos y para los técnicos que los elaboran, al automatizar todos los cálculos necesarios. Puede ser utilizado por los directivos para evaluar el estado de la producción. La información puede consultarse mediante tablas y/o gráficos consolidados. Registra la información de la campaña en curso y almacena las campañas anteriores. Garantiza la seguridad e integridad de los datos y es un sistema auditable. Realiza cortes diarios para consolidar los datos productivos y registrar el tiempo perdido en horas. Permite describir las características generales de la destilería, su equipamiento y el plan de producción mensual. Utiliza esta información como base en los cálculos y para alertar sobre el cumplimiento de producción diario.

Permite registrar el consumo de insumos, controlar y caracterizar el jugo y la miel de entrada a la fermentación, así como el consumo de electricidad. Del proceso permite registrar las baticiones consumidas y en proceso, el porciento alcohólico, de crema levadura y de reductores residuales, la cantidad de vino que entró a la destilación y las ventas y transferencias realizadas. El sistema calcula los consumos, producciones, tiempo perdido, eficiencia industrial, balances productivos, cumplimiento de normas de calidad, transferencias y ventas totales del día y hasta la fecha. Genera un parte diario detallado y otro consolidado que se envía al grupo azucarero AZCUBA. Puede adaptarse a la mayoría de las destilerías, y se pueden congeniar ajustes adicionales.

Palabras clave: destilería, fermentación, alcohol, parte de producción.

SUMMARY

SISALCO is a software for controlling the alcohol production in Cuban distilleries. It represents a useful tool for the main technician who controls the productive reports execution, and for the laboratory specialists that make them, thanks to the automatization of all needed calculations. It can be used by administrative staff for

evaluating the production state. The information can be consulted by analytic way or using summarized graphics. It registers the generated information during the current production phase and stores a historic record of previous phases. It guarantees the security and integrity of stored data and constitutes an auditable system. The system does daily stops for summarizing data and registering waste time in hours. It allows describing general characteristics about the distillery, its equipment and production plans per month. It uses this information as a base for calculations and for showing warnings about daily production fulfillment.

It allows registering consumed raw materials, controlling juice and molasses for fermentation, as well as electricity consumption. About the process it allows registering consumed and in process mixes, alcoholic, yeast cream and residuals percent, the real wine used for distillation, and the sales and transferences done. It calculates the consumptions, productions, waste time, industrial efficiency, productive balances, fulfillment of quality standards, transferences and sales of a specific day or accumulative until the last day. With all this information it generates a detailed daily report and another one summarized for sending to the sugar group AZCUBA. It can be adjusted for most distilleries, though arrange specifications can be done.

Keywords: distillery, fermentation, alcohol, production report.

INTRODUCCIÓN

En química se denomina alcohol a aquellos hidrocarburos saturados, o alcanos que contienen un grupo hidroxilo (-OH) en sustitución de un átomo de hidrógeno enlazado de forma covalente. Los alcoholes pueden ser primarios, secundarios o terciarios, en función del número de átomos de hidrógeno sustituidos en el átomo de carbono al que se encuentran enlazado el grupo hidroxilo. En un trabajo publicado en la (Enciclopedia libre Wikipedia), se plantea que aunque en un principio, el término alcohol se empleaba para referirse a cualquier tipo de polvo fino, más tarde lo utilizaron para las esencias obtenidas por destilación, estableciendo así su acepción actual.

En la actualidad podemos encontrar varios tipos de alcoholes que a partir de su composición química varían en su calidad y utilización. Algunos ejemplos lo constituyen el *Metanol*, más conocido como alcohol de madera, que se obtiene por destilación destructiva de la madera y más en la actualidad por reacción entre el hidrógeno y el monóxido de carbono a alta presión, es utilizado como disolvente para grasas, aceites, resinas y nitrocelulosa, fabricación de tinturas, formaldehído, líquidos anticongelantes, combustibles especiales y plásticos; el *Etanol*, obtenido por fermentación de azúcares o a partir de la mezcla entre etileno y acetileno, también.en pequeñas cantidades, a partir de la pulpa de madera, es utilizado como disolvente de productos como lacas, pinturas, barnices, colas, fármacos, explosivos, y como base para la elaboración de bebidas alcohólicas; y los alcoholes superiores, de mayor masa molecular que el etanol, como el *Propanol* que se utiliza como alcohol para limpieza y el *Butanol* que se utiliza como base para perfumes y fijadores. Existe una tendencia a destinar cada vez más la producción de alcohol en la sustitución de combustibles fósiles altamente contaminantes.

Dentro de la producción de alcohol el etanol o alcohol etílico es uno de los más importantes para la economía cubana. Según Blanco (1982), el alcohol etílico es un líquido claro, incoloro y móvil; de olor aromático, reacción neutra y sabor ardiente, ya que por ser muy higroscópico, quita a las mucosas su humedad. El alcohol se puede producir, tanto por la vía química, como por la bioquímica. En el primer caso, se utilizan los más diversos procesos de síntesis, algunos de ellos ya muy conocidos, mientras en el segundo, el alcohol se obtiene por la fermentación llamada alcohólica y destilación posterior.

La destilación, descrita en su forma más simple, es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos

componentes en forma líquida por medio de la condensación. En una planta bien diseñada la destilación se realiza utilizando como mínimo dos columnas, una destiladora y otra rectificadora, para producir alcohol no inocuo. Para producir alcohol fino, apto para el consumo humano, se requiere de columnas destiladoras adicionales para purificarlo.

Según Cordovés (2008), el etanol fue el primer derivado obtenido industrialmente a partir de un subproducto de la Agro-Industria Cañera: las mieles de caña o melazas. Su tecnología de producción es bien conocida, y casi todos los países cultivadores de caña lo producen en mayor o menor escala.

Plantea que el destino de los alcoholes producidos lo define su calidad. En nuestro país, en correspondencia con las normas de calidad establecidas, los llamados *alcoholes finos* se destinan a la producción de bebidas, la industria farmacéutica, perfumería y cosméticos; el *alcohol técnico "A"* a la industria farmacéutica; el *alcohol técnico "B"* al mercado interno, para el consumo en el precalentamiento de las cocinas domésticas, y para la exportación; el *alcohol absoluto* como solvente y el *aguardiente* para la producción de bebidas.

Por su influencia en la obtención de grandes utilidades tanto en el mercado nacional como internacional, el control de la producción de alcohol reviste cada día mayor interés para el grupo empresarial azucarero AZCUBA. No se puede ostentar, sin embargo, la ejecución de una contabilidad alcoholera confiable sin la utilización de herramientas informáticas auditables que automaticen todo el proceso y que incluyan desde la entrada de materias primas, la fermentación, la destilación, hasta el cumplimiento de las normas de calidad de los productos finales.

La influencia de la informática para la optimización en el análisis y ejecución de procesos de la industria azucarera, dentro de la cual puede encontrarse la producción de alcohol, se ha evidenciado desde hace muchos años. Así podemos encontrar aplicaciones básicas para la gestión de información y aplicaciones avanzadas que pueden simular el comportamiento de todo un ingenio azucarero y proponer optimizaciones para aumentar producciones, minimizar costos o proponer programaciones eficientes en el corte de caña. En un trabajo publicado por (Hurtado y otros 2009), se describen otros ejemplos como el software DESTILA orientado a la simulación de esquemas de producción para la obtención de alcohol hidratado capaz de generar un modelo matemático de naturaleza no lineal basado en los balances totales, alcohólico, de energía y en otros condicionantes tecnológicos. Otro ejemplo lo constituye el software FERMENTA, el cual según (Ribas y otros 2006) incorpora poderosos algoritmos de cálculo que resuelven modelos matemáticos para la simulación de fermentaciones a partir de diferentes sustratos azucarados, que pueden ser obtenidos del proceso de producción azucarera, incorporando los modos de operación de fermentación continua, discontinua, discontinua con alimentación y continua con tanques conectados en serie con o sin recirculación de levadura. Ambos sistemas han sido diseñados e implementados por especialistas del ICIDCA.

Sin embargo, en el tema de la contabilidad alcoholera no existía en Cuba una solución informática completamente validada hasta el surgimiento del software SISALCO, aunque se habían realizado algunos intentos que sirvieron como base para el desarrollo de esta investigación.

Por esta razón, y a petición del grupo azucarero AZCUBA, se planteó como objetivo desarrollar una herramienta informática para realizar una contabilidad alcoholera eficiente y controlar los principales parámetros en el proceso de producción de alcohol, analizar indicadores económicos, de eficiencia y de tiempo perdido.

DESARROLLO

ANTECEDENTES

En Cuba existen actualmente 17 destilerías, caracterizadas en su mayoría por sus pequeñas capacidades de producción y tecnologías atrasadas. Existen además bajos niveles de eficiencia tanto en la producción como en el control analítico sobre los procesos fermentativo y de destilación. Estas destilerías realizan el control de la producción elaborando partes diarios que se analizan cada determinado período de tiempo. El problema consiste en que muchos parámetros de estos partes requieren cálculos matemáticos de poca complejidad pero abundantes, y no existe ninguna herramienta informática consolidada que automatice esta actividad. Tras investigaciones realizadas que incluyeron visitas a varias destilerías, se identificaron algunas soluciones con escasas referencias publicadas (algunas de uso propio para una destilería en particular) que carecen de dictámenes técnicos que avalen completamente su calidad.

Constituye por lo tanto un problema la poca homogeneidad de estas soluciones, porque cualquier error inducido, sea inherente o no, puede representar la pérdida de un capital considerable, el mal aprovechamiento del tiempo e incluso la baja calidad de los productos obtenidos. Hay que considerar que AZCUBA exige un parte resumido diario que le permite estudiar la campaña productiva en curso y tomar decisiones oportunas que abarcan desde indicadores de eficiencia industrial hasta la utilización racional de insumos tan importantes como la electricidad. Entonces: ¿Cómo se puede garantizar la autenticidad de este parte si las fuentes que los originaron no son homogéneas ni han sido verificadas?, y peor aún: ¿Quién garantiza el mantenimiento de estas herramientas si no se tiene identificado un único desarrollador? La respuesta a estas interrogantes es bastante sencilla, garantía de autenticidad limitada y mantenimiento de herramientas inexistente.

Un primer intento para solucionar este problema lo han constituido unas hojas de cálculo realizadas en el software Microsoft Excel, que incluyen las fórmulas publicadas en el “Manual de Cálculos para el Control de la Producción de Alcohol”, de los autores (Humberto Cuellar y otros). En su primera versión realizada por el ingeniero automático Carlos Garit Campos, de la destilería Heriberto Duquesne y autor del manual antes referido, se realizaron pruebas iniciales y se coordinó con el ICIDCA la elaboración de una aplicación prototipo que unificara todos los cálculos en una única solución. Surgió así el sistema COPRODES, pero por determinadas razones no se explotó como se esperaba. Posteriormente se actualizaron las hojas de cálculo y el sistema quedó obsoleto.

Afortunadamente, es una realidad actual la intención de AZCUBA como parte del proceso de gestión de la calidad, de crear un único sistema que tome como base la segunda versión de las hojas de cálculo pero que se adapte al modo de trabajo y funcionamiento de todas destilerías cubanas, para eliminar los problemas planteados anteriormente. Surge así el sistema SISALCO, que constituye la consolidación de las experiencias acumuladas y la continuidad del trabajo realizado con el sistema COPRODES. Es por lo tanto una solución que representa el conocimiento publicado de varios de los mejores especialistas cubanos en la producción de alcohol y su contabilidad.

Para el cumplimiento de esta investigación se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Identificación de las actividades o etapas que se desarrollan en el proceso de fabricación de alcohol.
- Descripción detallada de cada una de las áreas de la destilería para identificar el equipamiento necesario y sus características.
- Identificación de las variables relevantes que se deben gestionar para realizar una contabilidad eficiente.

- Descripción de todos los requisitos funcionales existentes en las hojas de cálculo Excel y en el sistema COPRODES prototipo.
- Estudio sobre el trabajo de los técnicos del laboratorio y de los directivos para identificar nuevas necesidades e incorporarlas al sistema.
- Estudio de materiales bibliográficos asociados al tema (fermentación alcohólica, destilación, técnicas de laboratorio).
- Identificación de las herramientas informáticas utilizadas internamente en las destilerías para, en caso de ser necesario, incorporar requisitos específicos y ajustar completamente el sistema a cada destilería.
- Selección de las herramientas de desarrollo adecuadas para la implementación del sistema SISALCO.
- Diseño e implementación del software.
- Instalación del primer prototipo del sistema en la destilería del ingenio Heriberto Duquesne para cumplir con una rigurosa etapa de validación con datos reales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En una primera etapa se realizaron visitas a las destilerías de Heriberto Duquesne y Melanio Hernández. Durante estas visitas se realizaron debates con los especialistas de ambas destilerías y se identificaron las principales características que presentan las destilerías cubanas. Gracias a estos debates y el análisis de las hojas Excel y el sistema COPRODES prototipo se pudieron identificar las variables que se deben controlar. Las nuevas necesidades están enfocadas principalmente en el control económico de la producción de alcohol, aspecto que será incluido en una versión posterior del SISALCO. Se requiere también analizar la inclusión de reportes que resulten de interés para los directivos. Hasta el momento, el sistema gestiona solo la información relacionada con el proceso para generar los partes productivos, lo cual fue acordado desde un principio con las destilerías.

El material bibliográfico recolectado es actual, se utilizaron en su mayoría materiales escritos por especialistas del ICIDCA y páginas de internet. El documento base utilizado para los cálculos matemáticos fue el “Manual de Cálculos para el Control de la Producción de Alcohol”.

Se determinó implementar el software utilizando el lenguaje de programación C++ por su gran capacidad para ejecutar cálculos matemáticos. La solución obtenida es una aplicación de escritorio, lo que significa que debe ser instalada en cada computadora en que vaya a utilizarse, aunque distintas instalaciones pueden trabajar conjuntamente en red con una base de datos centralizada. Se consideró que una aplicación de escritorio es la solución óptima porque el cálculo y generación de los partes productivos requieren la introducción de un gran número de parámetros diarios, además de que solo una o dos personas se encargan de esta tarea en la destilería. La base de datos ha sido diseñada e implementada en el gestor de bases de datos Postgres SQL 9.0, el cual es reconocido a nivel mundial por su potencia y es libre de costo. Se pretende en futuras versiones implementar módulos web para la obtención de reportes estadísticos y de control genéricos que sean compatibles con los datos introducidos por los técnicos del laboratorio.

Se instaló el primer prototipo de SISALCO en la destilería Heriberto Duquesne, donde se ha realizado una etapa rigurosa de validación que ha permitido perfeccionar las herramientas del software. Se espera que para el próximo año se instale en el resto de las destilerías cubanas. Se entregó la documentación necesaria para registrar el software en el Centro Nacional de Derechos de Autor (CENDA), de modo que el resultado pueda ser publicado sin riesgos de ser copiado ilegalmente.

HERRAMIENTAS PRINCIPALES

Una vez instalado el sistema al ejecutarse el mismo en el Explorador de Windows, desde la carpeta donde se ubicó el sistema SISALCO o desde el Menú Inicio se presenta con la siguiente pantalla principal donde se muestran las opciones del mismo:

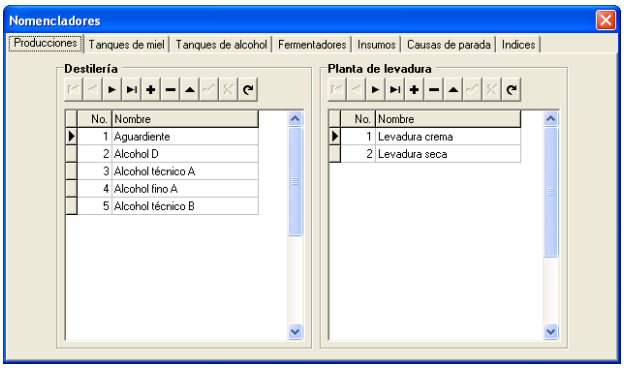


Figura 1: SISALCO – Menú Principal

Codificadores de datos: Clasifican las producciones de alcohol y levadura, tanques de miel y alcohol, fermentadores, insumos, causas de parada e índices de eficiencia del proceso. Esta opción es imprescindible para el posterior análisis diario del comportamiento de la fábrica y debe ser ejecutada antes de comenzar el trabajo diario. Solo ADMINISTRADOR.

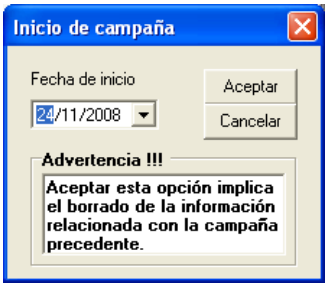


Figura 2: Codificadores de datos

Iniciar etapa productiva: Esta opción inicia el trabajo con el sistema para una campaña productivo. Constituye el día de arranque de la producción y su uso debe ser muy cuidadoso. Cuando se ejecute posteriormente debe utilizarse la opción Nuevo día para activar el primer día de la campaña. Solo ADMINISTRADOR.

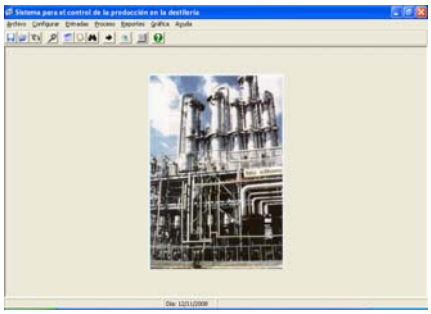


Figura 3: Iniciar etapa productiva

Entidad: Esta opción permite personalizar la aplicación para que al emitir los reportes se identifiquen con la planta correspondiente. El usuario indicará al sistema donde se encuentra el logotipo de la institución. Solo ADMINISTRADOR.

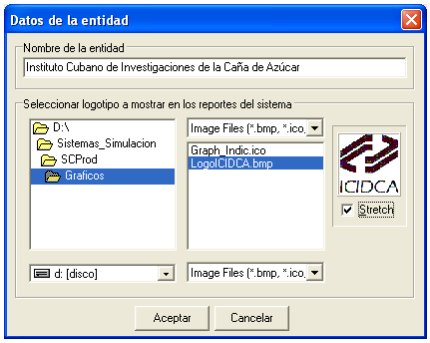


Figura 4: Características de la entidad

Nuevo día: Prepara las tablas de trabajo para procesar la información de un nuevo día de trabajo. La fecha del día se toma automáticamente incrementando en uno el último día procesado.

Datos: Permite entrar la información primaria necesaria para analizar el comportamiento del día de producción.

La producción del día para cada tipo de alcohol se determina como la diferencia entre las existencias en los tanques de almacenamiento más la salida de alcohol de esos tanques menos la existencia anterior en los mismos. Se pide la temperatura del tanque para el cálculo del alcohol a 100°C a partir de una tabla que tiene especificado el factor de temperatura, la cual se encuentra incorporada en el sistema.

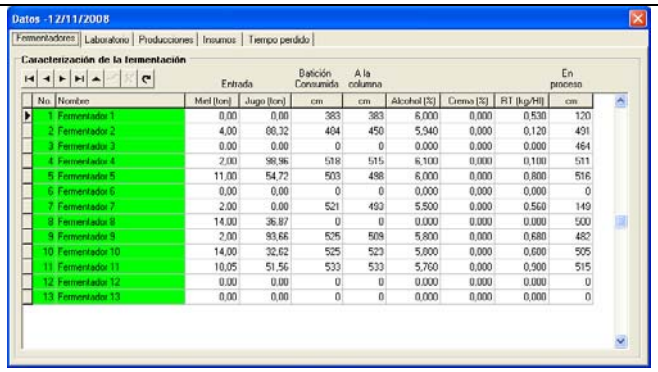


Figura 5: Datos de fermentación

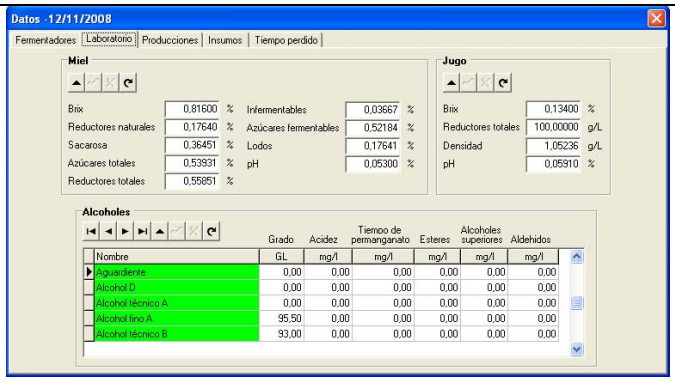


Figura 6: Datos de laboratorio sobre miel, el jugo y alcoholes

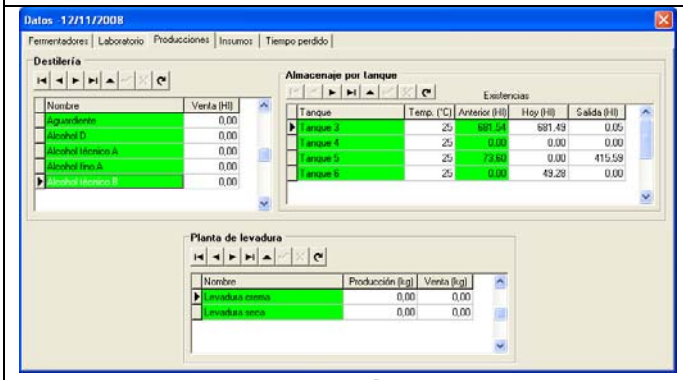


Figura 7: Producciones

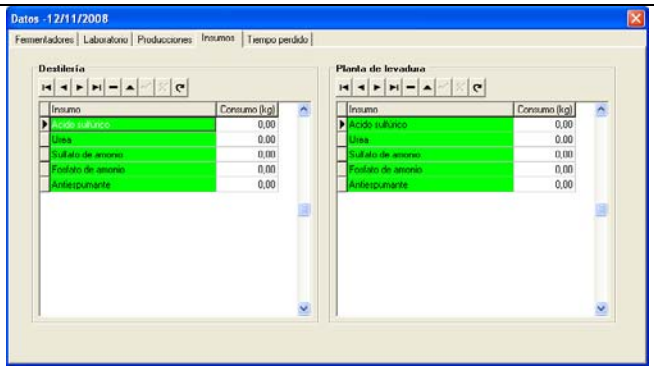


Figura 8: Insumos

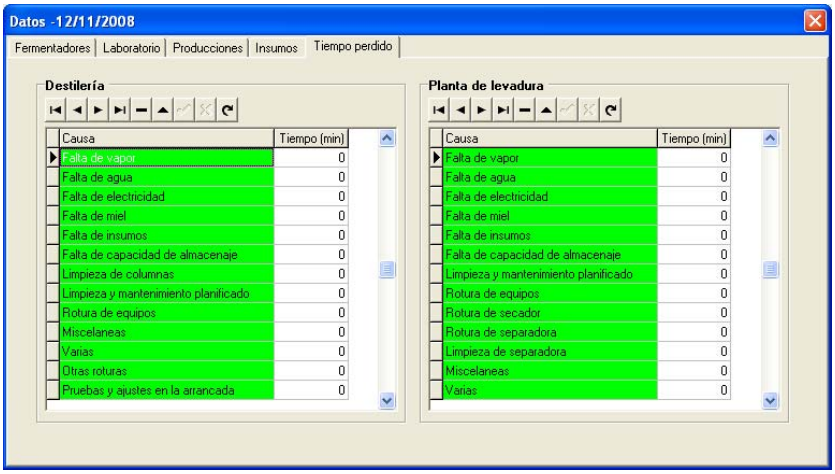
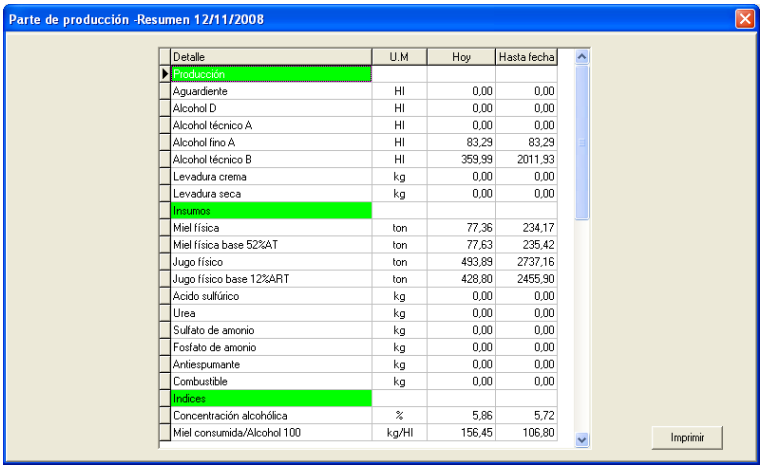


Figura 9: Tiempo perdido

<u>Buscar día:</u> Permite buscar la información de un día previamente procesado. Esta opción da la posibilidad de recalcular días previos si se detecta algún error de procesamiento y en caso que sea necesario hacerlo deben recalcularse los días siguientes hasta el actual para actualizar los acumulados. Solo ADMINISTRADOR.

Parte diario resumido: Brinda un parte de producción para el día actual con la información sobre las producciones, insumos, índices y tiempo perdido de forma compacta.

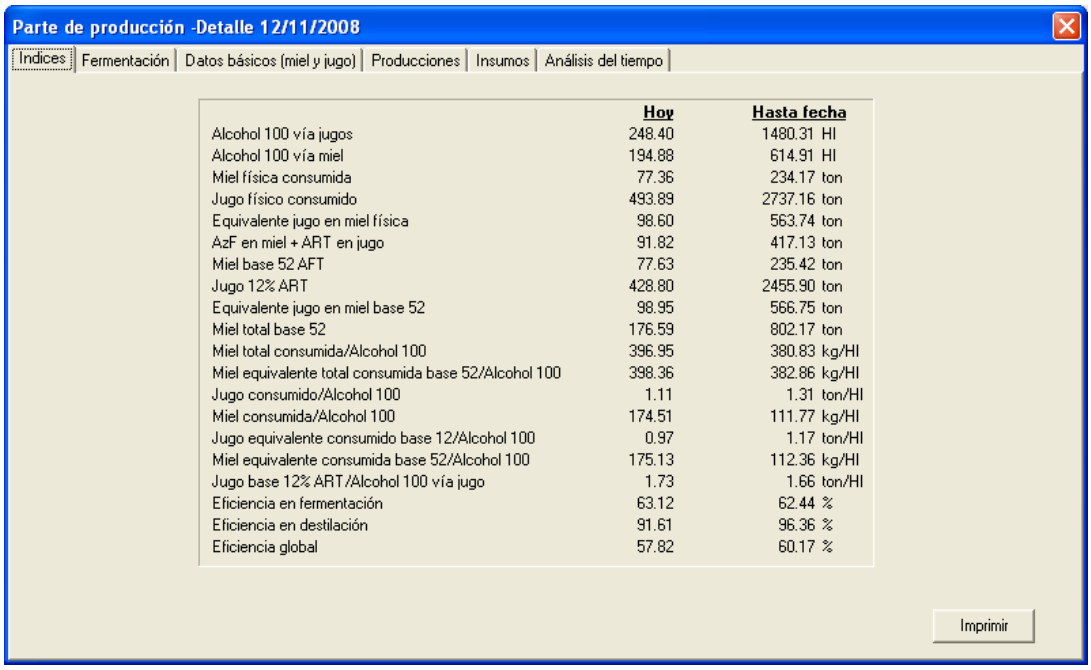


Detalle	U.M	Hoy	Hasta fecha
Producción			
Aguardiente	Hl	0,00	0,00
Alcohol D	Hl	0,00	0,00
Alcohol técnico A	Hl	0,00	0,00
Alcohol fino A	Hl	83,29	83,29
Alcohol técnico B	Hl	359,99	2011,93
Levadura crema	kg	0,00	0,00
Levadura seca	kg	0,00	0,00
Insumos			
Miel física	ton	77,36	234,17
Miel física base 52%AT	ton	77,63	235,42
Jugo físico	ton	493,89	2737,16
Jugo físico base 12%ART	ton	428,80	2455,90
Acido sulfúrico	kg	0,00	0,00
Urea	kg	0,00	0,00
Sulfato de amonio	kg	0,00	0,00
Fosfato de amonio	kg	0,00	0,00
Antiespumante	kg	0,00	0,00
Combustible	kg	0,00	0,00
Indices			
Concentración alcohólica	%	5,86	5,72
Miel consumida/Alcohol 100	kg/Hl	156,45	106,80

Figura 10: Parte de producción resumen

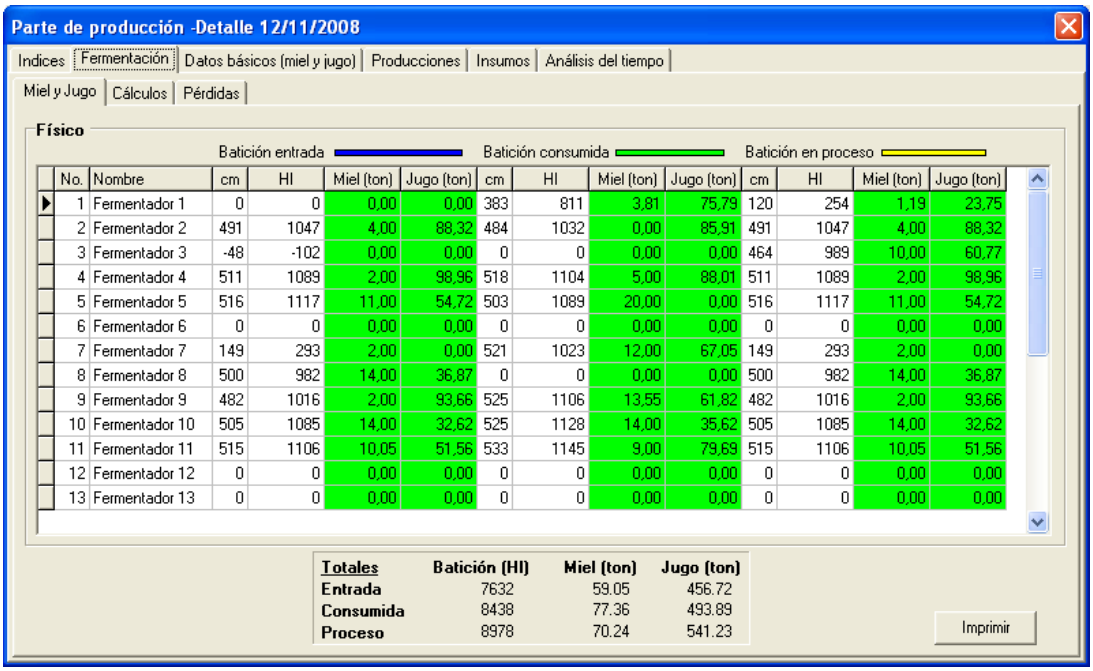
Parte diario detallado: Brinda un parte de producción para el día actual con la información detallada sobre:

- ✓ Índices de eficiencia (Hoy y Hasta la fecha)
- ✓ Fermentación (Análisis de miel y jugo en cada fermentador -entrada, consumo y proceso-, cálculos generales –Alcohol, Crema, Reductores totales y Eficiencia para cada fermentador pasado a la columna- y pérdidas –Miel, Jugo y Alcohol por fermentador y total
- ✓ Datos básicos de la miel y jugo (Hoy y Hasta la fecha)
- ✓ Producciones (Surtido por alcoholes, almacenaje por tanques, calidad de los alcoholes y planta de levadura). Hoy y Hasta la fecha.
- ✓ Insumos (Consumo e índices). Hoy y Hasta la fecha.
- ✓ Tiempo perdido. (Por causas). Hoy y Hasta la fecha.



	Hoy	Hasta fecha
Alcohol 100 vía jugos	248.40	1480.31 Hl
Alcohol 100 vía miel	194.88	614.91 Hl
Miel física consumida	77.36	234.17 ton
Jugo físico consumido	493.89	2737.16 ton
Equivalente jugo en miel física	98.60	563.74 ton
AzF en miel + ART en jugo	91.82	417.13 ton
Miel base 52 AFT	77.63	235.42 ton
Jugo 12% ART	428.80	2455.90 ton
Equivalente jugo en miel base 52	98.95	566.75 ton
Miel total base 52	176.59	802.17 ton
Miel total consumida/Alcohol 100	396.95	380.83 kg/Hl
Miel equivalente total consumida base 52/Alcohol 100	398.36	382.86 kg/Hl
Jugo consumido/Alcohol 100	1.11	1.31 ton/Hl
Miel consumida/Alcohol 100	174.51	111.77 kg/Hl
Jugo equivalente consumido base 12/Alcohol 100	0.97	1.17 ton/Hl
Miel equivalente consumida base 52/Alcohol 100	175.13	112.36 kg/Hl
Jugo base 12% ART/Alcohol 100 vía jugo	1.73	1.66 ton/Hl
Eficiencia en fermentación	63.12	62.44 %
Eficiencia en destilación	91.61	96.36 %
Eficiencia global	57.82	60.17 %

Figura 11: Parte de producción Indices



No.	Nombre	cm	Hl	Miel (ton)	Jugo (ton)	cm	Hl	Miel (ton)	Jugo (ton)	cm	Hl	Miel (ton)	Jugo (ton)
1	Fermentador 1	0	0	0,00	0,00	383	811	3,81	75,79	120	254	1,19	23,75
2	Fermentador 2	491	1047	4,00	88,32	484	1032	0,00	85,91	491	1047	4,00	88,32
3	Fermentador 3	-48	-102	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	464	989	10,00	60,77
4	Fermentador 4	511	1089	2,00	98,96	518	1104	5,00	88,01	511	1089	2,00	98,96
5	Fermentador 5	516	1117	11,00	54,72	503	1089	20,00	0,00	516	1117	11,00	54,72
6	Fermentador 6	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
7	Fermentador 7	149	293	2,00	0,00	521	1023	12,00	67,05	149	293	2,00	0,00
8	Fermentador 8	500	982	14,00	36,87	0	0	0,00	0,00	500	982	14,00	36,87
9	Fermentador 9	482	1016	2,00	93,66	525	1106	13,55	61,82	482	1016	2,00	93,66
10	Fermentador 10	505	1085	14,00	32,62	525	1128	14,00	35,62	505	1085	14,00	32,62
11	Fermentador 11	515	1106	10,05	51,56	533	1145	9,00	79,69	515	1106	10,05	51,56
12	Fermentador 12	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
13	Fermentador 13	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00

Totales	Batición (Hl)	Miel (ton)	Jugo (ton)
Entrada	7632	59.05	456.72
Consumida	8438	77.36	493.89
Proceso	8978	70.24	541.23

Figura 12: Parte de producción Fermentación miel y jugo

Parte periódico: Brinda un parte de producción para el período de tiempo seleccionado.

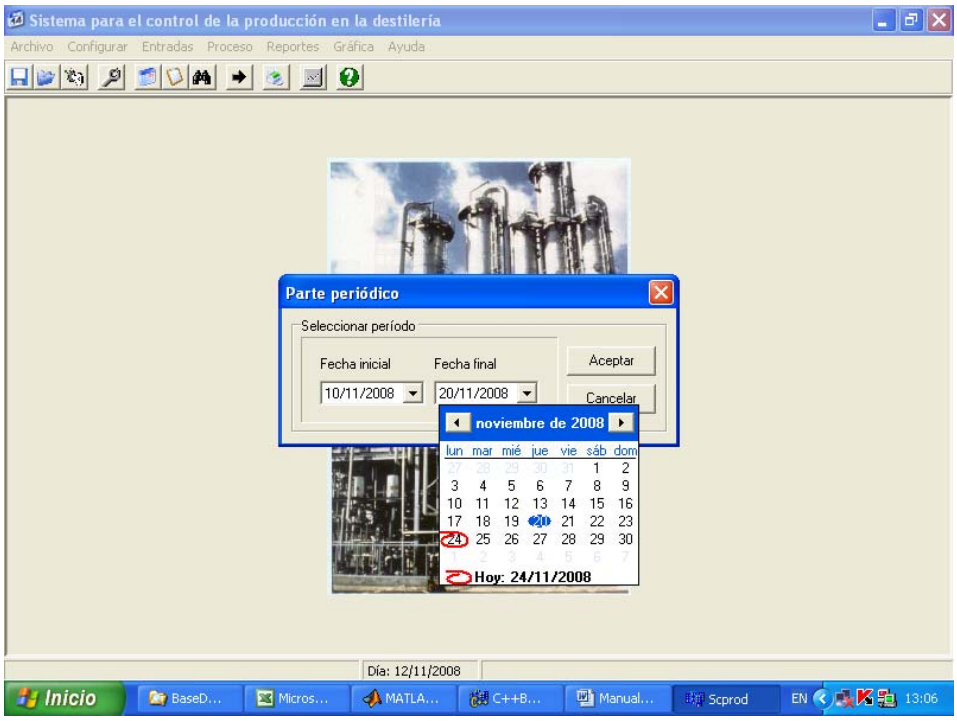


Figura 13: Selección del período para el parte periódico

Estos partes de producción pueden ser impresos en papel presionando el botón “Imprimir” que se encuentra disponible en cada uno de ellos. La estructura del parte periódico se corresponde con la del parte diario resumido, el cual se muestra en la Figura 3.20 en el acápite 3.5.3.

Gráfico de Indicadores: Permite graficar indicadores de procesos para un período de tiempo seleccionado a partir de la información brindada en el nomenclador de índices. La selección del período se corresponde a la herramienta “Parte Periódico” señalada anteriormente.

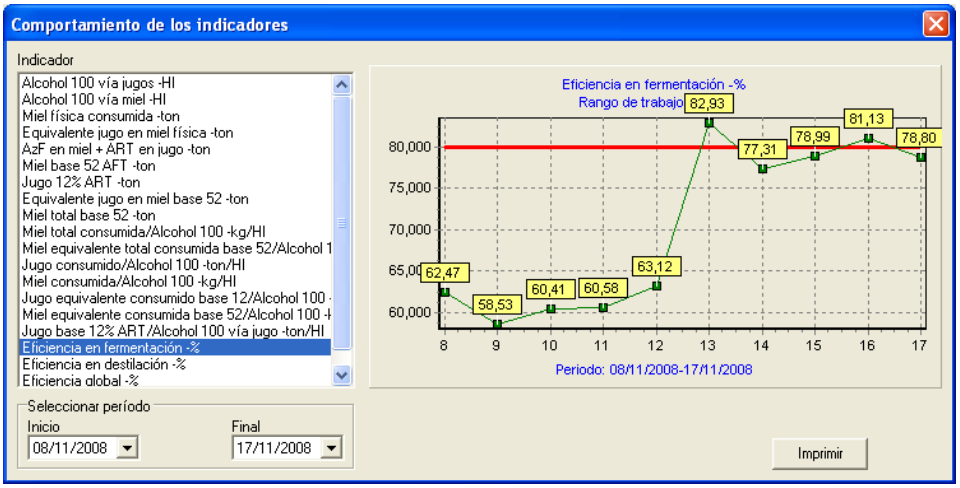


Figura 14: Comportamiento de indicadores

Gráfico de tiempo perdido: Permite graficar un análisis del tiempo perdido tanto para la destilería como para la planta de levadura para un período de tiempo dado. La selección del período se corresponde a la herramienta "Parte Periódico" señalada anteriormente, y los gráficos pueden ser:

- ✓ Análisis del comportamiento de una causa en el periodo (Se selecciona en el botón Causa Diaria en Tipo de gráfico y la causa solicitada en la lista Causas)
- ✓ Total diario (Acumula por días para todas las causas posibles)
- ✓ Acumulado (Acumula el tiempo perdido por todas las causas posibles en un período de tiempo).

Todos los gráficos pueden ser impresos presionando el botón "Imprimir" disponible en cada pantalla y pueden ser identificados estos reportes con un texto apropiado.

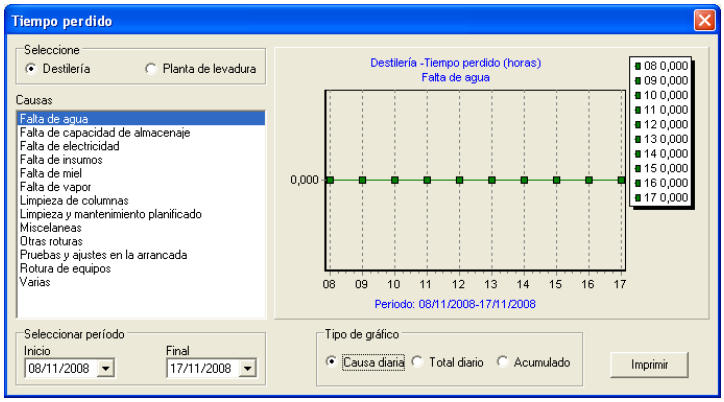


Figura 15: Gráficas de tiempo perdido

Seguridad: Para el trabajo con el sistema se han creado dos tipos de usuarios (ADMINISTRADOR y USUARIO) con vistas a garantizar la seguridad de la información que en el mismo se procesa. Según sea el usuario que esté trabajando con el sistema tendrá acceso a un grupo de opciones o vinculadas a la administración del sistema o no. Para acceder al sistema es necesario tener un nombre de usuario registrado y una contraseña, los cuales solo pueden ser dados al sistema por un ADMINISTRADOR, aunque posteriormente un USUARIO puede cambiar su contraseña.

La información del usuario y su contraseña son solicitadas antes de dar inicio al trabajo con la aplicación como se muestra seguidamente y en caso de no estar registrado o de una contraseña no válida no se permite el acceso al mismo. Debe destacarse aquí que la primera vez que se usa el sistema no habrá ningún usuario registrado y debe ser un ADMINISTRADOR quien lo ejecute para configurar sus opciones y quienes y con qué nivel de acceso trabajarán en el mismo.

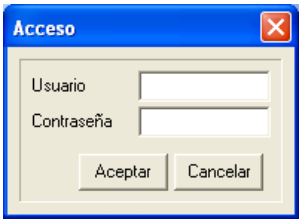


Figura 16 – Acceso al sistema

Documentación y ayuda: Con la instalación del software se brinda un manual del usuario y un fichero de ayuda que puede consultarse desde cualquier herramienta. Se ofrecen los datos generales del ICIDCA y la información de contacto necesaria para localizar a los autores. Con estas opciones, el usuario puede aclarar cualquier duda sin necesidad de que los desarrolladores del software se dirijan a su entidad.

BENEFICIOS APORTADOS

Los resultados de este sistema le reportan a las destilerías los siguientes beneficios:

- Mayor eficiencia en el trabajo diario de los especialistas.
- Ahorro de tiempo en la gestión y análisis de la información.
- Cálculo y generación automática de los partes de producción.
- Registro y control estadístico del tiempo perdido clasificado por causas.
- Comparación entre campañas productivas para la toma de decisiones oportunas.
- Seguridad e integridad de toda la información almacenada.
- Registro de insumos consumidos y caracterización de materias primas diariamente.
- Control de elementos del proceso que van desde la fermentación hasta el producto final.
- Conocimiento de indicadores como el porciento alcohólico, de crema levadura, de reductores residuales, así como la cantidad de vino real que entró a la destilación, etc.
- Consulta de consumos, producciones, tiempo perdido, eficiencia industrial, balances productivos, cumplimiento de normas de calidad, transferencias y ventas totales, que pueden referenciarse a partir del día en curso o los acumulados hasta la fecha.
- Consulta de todos los parámetros antes mencionados por intervalo de fechas.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de las condiciones actuales en las destilerías cubanas se pudieron identificar los problemas existentes para realizar una contabilidad alcoholera eficiente.

Constituye una necesidad para las destilerías de Cuba la instalación de un sistema como el SISALCO. Este sistema facilita la generación de los partes diarios de producción a partir de elementos tan importantes como el cálculo automático de todos los parámetros que intervienen en su elaboración.

Con la actualización del sistema COPRODES y las hojas de cálculo Excel hacia el sistema SISALCO se eliminaron las dificultades identificadas con la utilización de estas herramientas.

Se ha creado una herramienta informática capaz de controlar los parámetros fundamentales en la producción de alcohol y de realizar una contabilidad alcoholera eficiente en destilerías cubanas, por lo que el resultado constituye una variante muy ventajosa para los especialistas del sector.

Se cuenta con una herramienta totalmente cubana, cuyo costo es mucho menor que los sistemas similares existentes en el mundo. El entrenamiento de los especialistas, así como el mantenimiento post venta del software es garantizado por el ICIDCA, logrando por este concepto un ahorro económico considerable para las destilerías.
Con la implantación de este sistema se ha logrado la homogenización de las herramientas para la contabilidad alcoholera, que representaba uno de los mayores problemas.

El sistema SISALCO garantiza todos los aspectos de seguridad exigidos por las inspecciones realizadas a las destilerías. Los especialistas disponen de una herramienta factible desde el punto de vista funcional y económico.

El grupo azucarero AZCUBA cuenta diariamente con reportes productivos consolidados, generados a partir de una herramienta eficiente y confiable, y dispone además de la garantía del mantenimiento tecnológico del software.

Se ha realizado, de conjunto con especialistas de la destilería de Heriberto Duquesne, una etapa de validación del sistema que ha permitido refinar las herramientas del software y ha demostrado su utilidad.

El software SISALCO para el control de la producción de alcohol en destilerías cubanas constituye un resultado con un impacto económico considerable. Gracias al control estricto que puede realizar AZCUBA sobre cada destilería, se toman decisiones oportunas que evitan la pérdida de tiempo y se garantiza la estabilidad económica de estas entidades.

Por sus características, el software puede ajustarse para trabajar en destilerías extranjeras.

Se han iniciado las gestiones para la protección tecnológica del software.

RECOMENDACIONES

Aprovechar las experiencias acumuladas en la destilería de Heriberto Duquesne para la generalización del sistema en todas las destilerías cubanas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Wikipedia, la enciclopedia libre. Tema relacionado con Alcohol, http://es.wikipedia.org/wiki/Alcohol (Consultada: 10/04/2013).
- Blanco, G. (1982), La producción de alcohol a partir de la industria azucarera y sus posibilidades. 10, 21, 22.
- Cordovés, M. (2008), Estudio sobre el Estado Actual y Perspectivo de la Producción y Usos del Alcohol Etílico o Etanol. 3.
- Hurtado, R.; Ribas, M.; Sabadí, R. (Julio/Agosto 2009), Análisis del proceso de destilación alcohólica utilizando la herramienta de software Destila 5.0. Revista Ingeniería Química, 83.
- Ribas, M. et al. (Julio/Agosto 2006), Modelación matemática y simulación de procesos fermentativos. Revista Ingeniería Química, 118.
- Humberto, C. et al. (2012), Manual de Cálculos para el Control de la Producción de Alcohol.

ESTUDIO DEL PROBLEMA DE LAS BAJAS EFICIENCIAS EN LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA APOYÁNDOSE EN LA SIMULACIÓN DEL PROCESO

STUDY OF THE PROBLEM OF LOW EFFICIENCIES IN ETHANOL FERMENTATION BY PROCESS SIMULATION

Autores:Mauricio Ribas García[1], Fidel Domenech López[1], Rafael Hurtado Vargas[1], Carlos Garit Campos[2]

[1] Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). PO.Box 4026, La Habana 10400, Cuba. Fax: 53-7-988243.
[2]Unidad Empresarial de Base de Derivados Heriberto Duquesne, Las Villas, Cuba.
e-mail: **mauricio.ribas@icidca.edu.cu**

RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio comparativo de los principales resultados en dos esquemas industriales de fermentación alcohólica con alimentación incrementada de sustrato, en el primer esquema hay recirculación de levadura y en el segundo no. Se reportan los valores promedios de por ciento alcohólico en fermentación, eficiencia de fermentación, productividad, rendimiento biomasa-sustrato (Yxs) y rendimiento producto-sustrato (Yps). El primer esquema muestra los mejores resultados obteniéndose 9,63% v/v alcohólico, 84,86% de eficiencia en fermentación y 11,45 L/m³·h de productividad. Por otra parte, con el segundo esquema se obtiene 5,27% v/v alcohólico, 75,23% de eficiencia en fermentación y 2,14 L/m³·h de productividad.

En el segundo esquema de proceso se evalúa, mediante la modelación matemática y la simulación, una propuesta de múltiples adiciones secuenciales de sustrato, que permite mejorar la eficiencia y el grado alcohólico final de la fermentación. Los resultados de la simulación fueron validados con el desarrollo de experiencias industriales.

Por último, se realiza una evaluación del impacto económico sobre los ingresos por la venta de alcohol fino A. De las cuatro variantes de operación del proceso probadas en la industria, las que tenían mayor número de adiciones secuenciales de sustrato, logran ingresos superiores por ser más eficientes. Se estima que la implementación de la segunda variante en todas las destilerías del país, reportaría un incremento anual de los ingresos de aproximadamente US$6 000,000.

Palabras Claves: fermentación, alcohol, simulación, *Saccharomyces cerevisiae*, simulation software.

ABSTRACT

In this paper, a comparative study of the main results in alcoholic fermentation of two industrial processes with increased feed of substrate, in the first scheme there is a yeast cells recycle and in the second case there is not. The average values in alcoholic fermentation percentage, fermentation efficiency, productivity,

biomass-substrate yield and alcohol-substrate yield are analyzed. The best results are achieved with the use of the first process. The first process shows the best results, obtaining 9,63% v/v of alcoholic percentage, 84,86% of fermentation efficiency and 11,45 L/m³·h of productivity; on the other hand, in the second process 5,27% v/v of alcoholic percentage, 75,23% in fermentation efficiency and 2,14 L/m³·h on productivity was achieved.

In the second process, by means of mathematical modeling and simulation, a new alternative of multiples sequential additions of substrate is evaluated that allows the increase of the efficiency and of the final alcoholic percentage. The results of the simulation were validated with experimental industrial data.
Finally, the economic effect on incomes obtained by the selling of high purity alcohol is analyzed. From the four operation variants proved in the industry, the ones with the bigger number of sequential substrate additions have achieved higher incomes because they are more efficient. It is estimated that the implementation of the second variant in all the country's distilleries, will report an annual increment on incomes of around US$6 000,000.

Keywords: fermentation, ethanol, simulation, *Saccharomyces cerevisiae*, simulation software.

1. INTRODUCCIÓN

Los factores que más influyen sobre la eficiencia y productividad de las fermentaciones alcohólicas industriales han sido estudiados por varios autores Amillastre (2012), Torija (2003), Phisalaphong (2006), Magazoni (2010), Jover de la Prida (2012), Converti (2003), Domenech (1992), Wen-Hung Hunag (2011). Entre ellos se encuentran las condiciones de estrés a que se somete las células de levadura, como son las concentraciones de etanol y azúcar presente en el medio, condiciones de operación del proceso y factores físico-químicos como temperatura, pH y concentraciones de sales.

Los procesos de fermentación de la industria alcoholera cubana se caracterizan por tener bajas eficiencias debido al empleo de sistemas de fermentación de bajos rendimientos y productividades, como la fermentación discontinua o fermentación discontinua con limitados incrementos de sustrato y sin control del proceso, lo que expone a los microorganismos a la inhibición por sustrato, elevadas temperaturas en la fermentación, utilización de cepas de levaduras inadecuadas, mala calidad y tratamiento de las materias primas, deficiente asepsia y control de contaminantes, Saura (2006).

Otro aspecto que caracteriza a esta industria es la baja concentración alcohólica en fermentación, la mayoría de las destilerías logran concentraciones entre 4,5 y 5,5 %v/v cuando internacionalmente este índice se encuentra entre 7 y 10 % v/v alcohólico. Esto se debe a los sistemas de fermentación utilizados con bajas concentración de sustrato suministrado para mitigar los efectos de inhibición por presión osmótica y evitar el incremento de la temperatura debido al calor metabólico generado en la síntesis de etanol, Saura (2006).

En los últimos años son múltiples los esfuerzos realizados por nuestros investigadores para mejorar esta situación, entre ellos se encuentra la propuesta de Estévez (2012) de implementar en nuestras destilerías un sistema de múltiples adiciones secuenciales de sustrato en la fermentación como una forma particular de operación del proceso como fed-batch. Entre las ventajas que se plantean de este sistema está la de disminuir los factores de estrés como son la inhibición por etanol y azúcares, la competencia con otros microorganismos contaminantes y una atenuación de la temperatura de fermentación.

El siguiente trabajo realiza un estudio comparativo de los principales resultados de la fermentación alcohólica en dos esquemas industriales diferentes. Evalúa mediante la simulación del proceso una propuesta de múltiples adiciones secuenciales de sustrato que permite mejorar la eficiencia y el grado alcohólico final

de la fermentación. Valida los resultados de la propuesta anterior con experimentos desarrollados en la industria y por último realiza una evaluación del impacto económico sobre los ingresos obtenidos por la venta de alcohol fino A.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se describen las principales características de los dos esquemas de fermentación bajo estudio. El primero de ellos se opera en modo discontinuo incrementado con recirculación de levadura. Los incrementos se realizan en forma escalonada, adicionando un flujo de alimentación de 15 m^3/h durante la primera hora y 40 minutos de fermentación, después se incrementa a 20 m^3/h durante la segunda hora y 40 minutos de fermentación y por último, se fija en 25 m^3/h hasta que se llene el volumen de operación del fermentador 135 m^3.

El segundo esquema de fermentación trabaja en forma discontinua incrementada sin recirculación de levadura. La propagación de levadura se realiza en los pre-fermentadores de 13 m^3. Al fermentador se le adiciona un volumen de medio denominado **Colchón** de 11 m^3 y 10 m^3 de inóculo, posteriormente se realizan los incrementos de medio a un flujo de 45 m^3/h y con los volúmenes de incrementos que se reflejan en la Tabla I.

Tabla I: Política de incrementos para el tercer esquema de fermentación estudiado.

Incrementos	Miel (m^3)	Agua (m^3)	Volumen de incremento (m^3)
Colchón	1,5	9,5	11,00
1	4	25	29,00
2	4	25	29,00
3	4	25	29,00
Total	**13,5**	**82,50**	**98,0**

Para identificar los dos esquemas bajo estudio con diferentes condiciones de operación se definen como:

1) **Esquema 1:** Sistema de fermentación con alimentación incrementada de sustrato y recirculación de levadura.
2) **Esquema 2:** Sistema de fermentación con alimentación incrementada de sustrato sin recirculación de levadura.

Ambos esquemas de procesos utilizan una cepa comercial de levadura *Saccharomyces cerevisiae* y trabajan con relación de inoculación 1:10 (Volumen pre-fermentador: volumen fermentador). La concentración inicial promedio de células de levadura en el primer esquema es de $600x10^6$ cel/mL mientras en el segundo fue de $272x10^6$ cel/mL. El medio de fermentación para el primer esquema se formula en base a una mezcla de miel (7% v/v) y Jugo clarificado (93% v/v) y en el segundo se mezclan miel y agua solamente. La concentración de azúcares reductores totales suministrados en la alimentación para el primer caso es de 208,7 kg/m^3 y en el segundo 110,0 kg/m^3.

Cada uno de estos procesos fue estudiado mediante las determinaciones de Brix final, pH, temperatura, por ciento alcohólicos, azúcares reductores residuales (ARR), tiempo de duración de la alimentación y tiempo de fermentación en un total de 172 fermentaciones en el primer caso y 50 para el segundo.

También se calcularon los valores de eficiencia de la fermentación, productividad, rendimiento de biomasa (Yxs) y rendimiento alcohólico (Yps).

Los resultados obtenidos se procesaron estadísticamente calculándose la media y el coeficiente de variación con el empleo de la herramienta de software Microsoft Excel 2007. La simulación del proceso fue realizada con ayuda del software desarrollado por los autores FERMENTA 5.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se observa que el sistema con recirculación de levadura trabaja con una alta concentración celular inicial en el fermentador, $600x10^6$ cel/mL y concentraciones de azúcares reductores totales en la alimentación alrededor de 200 kg/m^3 a diferencia del otro esquema donde la concentración celular inicial es $270x10^6$ cel/mL y la concentración de azúcares reductores totales en la alimentación 110 kg/m^3. Estos dos factores inciden desfavorablemente sobre la productividad del proceso y el grado alcohólico final. Cuando hay alimentación incrementada de mosto con recirculación de levadura disminuyen los tiempos de fermentación (8,80 h), aumenta la productividad (11,45 L/m^3·h) y el grado alcohólico final (9,63 %v/v).

La Tabla II muestra como el segundo esquema no dispone de un sistema de enfriamiento ya que la temperatura promedio final de fermentación es de 38,3 °C, aunque para amortiguar este efecto alimentan los fermentadores con tres incrementos. Valores altos de temperatura influyen negativamente en la actividad de la levadura, lo cual se refleja en el rendimiento promedio biomasa/sustrato obtenido Y_{xs} = 0,012 y el grado alcohólico promedio 5,27 %v/v.

Tabla II: Valores promedios obtenidos para cada proceso fermentativo.

Variables	UM	Esquema 1		Esquema 2	
		$\bar{X}$	CV	$\bar{X}$	CV
Brix Final	°Bx			4,53	15,9
pH	-	2,7	13,23	4,15	2,16
Temperatura	°C	33,4	3,30	38,32	1,36
ARR	kg/m^3	4,7	4,51	3,39	14,57
Grado alcohólico	%v/v	9,63	4,58	5,27	6,64
Tiempo alimentación	h	5,12	16,80	6,33	5,44
Tiempo fermentación	h	8,80	14,52	24,29	7,45
Eficiencia fermentación	%	84,86	5,49	75,23	7,27
Productividad	L/m^3·h	11,45	15,39	2,14	13,62
Rendimiento biomasa Yxs	-	0,033	5,85	0,012	11,46
Rendimiento alcohólico Yps	-	0,415	4,81	0,399	9,20

3.1 Simulación del proceso

Teniendo en cuenta las bajas eficiencias de fermentación y grados alcohólicos presentado por el Esquema 2 se decidió estudiar este proceso apoyándonos en la simulación del mismo y empleando la herramienta de software FERMENTA 5.0.

Primeramente se logró resolver un modelo de proceso en estado no estacionario basado en los balances de biomasa, producto, sustrato y energía empleándose la ecuación de Monod clásica para describir la velocidad específica de crecimiento, (Monod, 1949).

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{k_s + S}$$ Ec. 1

Los parámetros de que depende la ecuación de Monod y los rendimientos esperados de biomasa y etanol fueron identificados a partir de los propios datos de la dinámica productiva del proceso (Tabla III).

Tabla III: Valores de los parámetros incluidos dentro del modelo.

Parámetros	Valor	UM
μ_{max}	0,043	h^{-1}
k_s	7	g/L
Y_{xs}	0,012	-
Y_{ps}	0,399	-
m_s	0,200	g/g·h
m_p	0,100	g/g·h

La Figura 1 muestra los resultados finales de la simulación del proceso y la Figura 2 presenta los perfiles cinéticos de las principales componentes del proceso. Se puede ver como disminuye la concentración de biomasa durante cada etapa de alimentación de sustrato por el efecto de dilución. Este es un resultado esperado de acuerdo a la forma de operar el proceso. El perfil de temperatura del proceso sigue un patrón que se corresponde con una fermentación que no tiene sistema de enfriamiento para remover el calor metabólico generado como es el caso que se está estudiando.

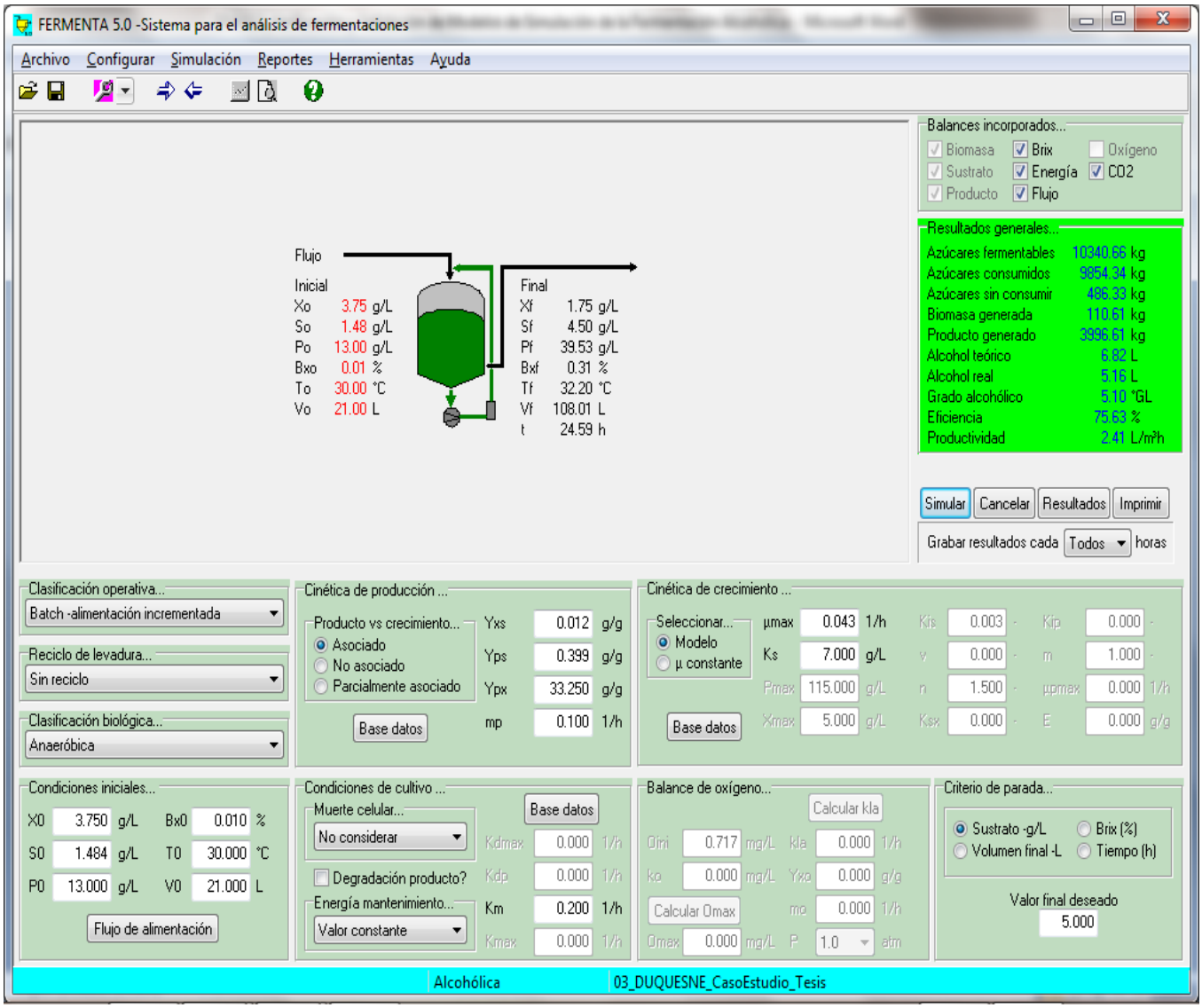


Figura 1. Resultados de la simulación del Esquema 2 del proceso.

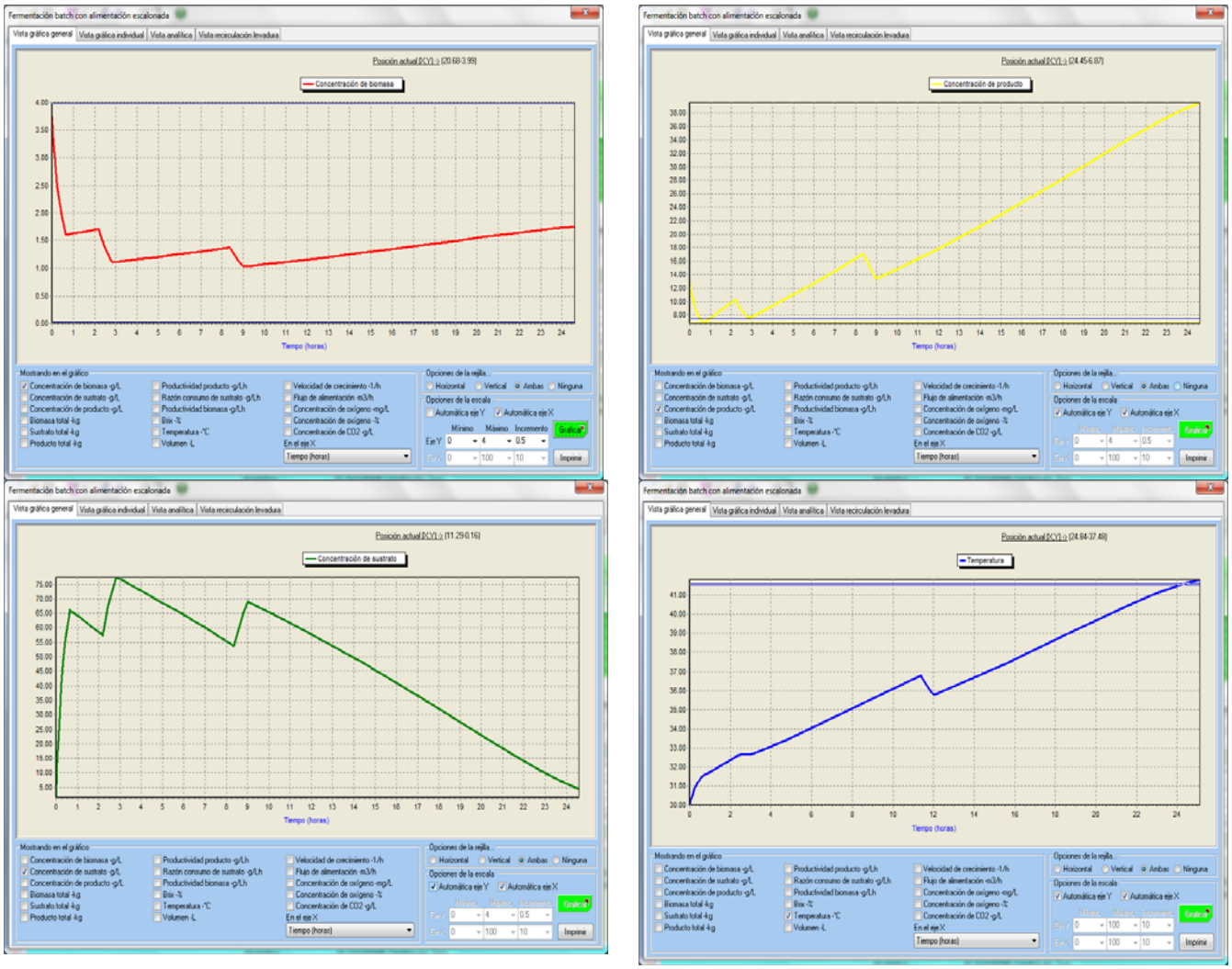


Figura 2. Perfiles simulados de la cinética de biomasa, producto y sustrato

En la Tabla IV se comparan los valores finales promedios observados en el proceso con respecto a los resultados de la simulación. Se observa una gran correspondencia entre ambos valores con errores relativos inferiores a 4 % en la mayoría de los casos y un comportamiento lógico de los perfiles cinéticos predichos para las principales componentes del proceso.

Tabla IV: Comparación entre valores promedios del proceso y los predichos por la simulación.

Variables	Esquema 2			
	Valor Promedio	Valor Simulado	Error absoluto	Error relativo (%)
Tiempo de duración de la fermentación, (h)	24,29	24,59	0,30	1,23
Grado alcohólico final, (% v/v)	5,27	5,10	0,17	3,22
Eficiencia de fermentación, (%)	75,23	75,63	0,40	0,53
Productividad, (L/m³·h)	2,14	2,41	0,27	12,6

A continuación se decidió simular este proceso variando la política de alimentación de sustrato con el objetivo de evitar las inhibiciones de la levadura por efecto de la presión osmótica, disminuir la temperatura de fermentación cada vez que se realiza un incremento y trabajar en una zona de concentración de azúcares donde se favorezca el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Se simuló el proceso con 10 incrementos de sustrato considerándose un valor para esta componente de 40 kg/m³ como criterio para decidir en qué momento realizar el incremento.

La Tabla V: Política de incrementos para la simulación.

Incrementos	Miel (m³)	Agua (m³)	Volumen de incremento (m³)
1	1,3	5,7	7,00
2	1,3	5,7	7,00
3	1,3	5,7	7,00
4	1,3	5,7	7,00
5	1,7	9,95	11,65
6	1,7	9,95	11,65
7	1,7	9,95	11,65
8	1,7	9,95	11,65
9	1,7	9,95	11,65
10	1,7	9,95	11,65
Total	**15,4**	**82,50**	**97,90**

La Figura 3 presenta los perfiles simulados para esta alternativa de operación, se puede ver como entre cada incremento hay un tiempo de agotamiento del sustrato, además con esta política de alimentación se logra trabajar a concentraciones de sustrato inferiores a 60 kg/m³ (Línea verde). Los perfiles de etanol (Línea amarilla) y biomasa (Línea roja) presentan valores superiores de concentraciones de estas componentes comparadas con la simulación realizada anteriormente.

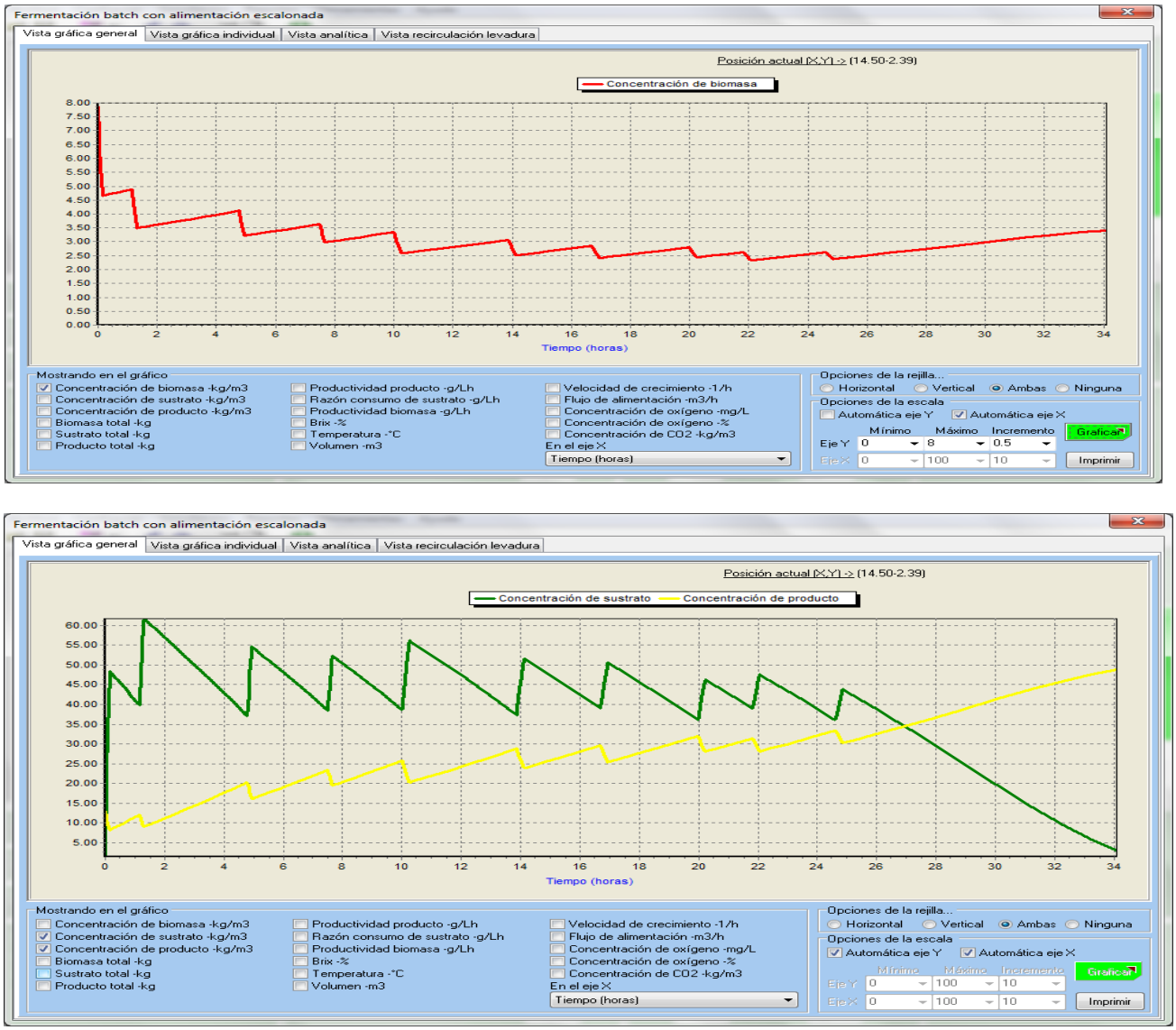


Figura 3. Perfiles simulados de la cinética de biomasa, producto y sustrato

Los resultados finales de la simulación que aparecen en la Tabla VI indican claramente la superioridad de este proceso con respecto al anterior en cuanto a una mayor eficiencia de fermentación y grado alcohólico final.

Tabla VI: Resultados finales de la simulación.

Resultados finales de la simulación	Esquema con 10 incrementos de sustrato	
	Valor Simulado	UM
Tiempo de duración de la fermentación	34,0	h
Grado alcohólico final	6,31	%v/v
Eficiencia de fermentación	86,88	%
Productividad	2,0	L/m³·h

3.2 Validación industrial de los resultados de la simulación proceso

Para validar los resultados de la simulación realizada del proceso con múltiples se ejecutaron una serie de experimentos a nivel industrial con las siguientes variantes de operación:

Variante 1: Fermentación alcohólica a partir de miel y utilizando una cepa industrial de levadura *Saccharomyces cerevisiae* propagada en pre-fermentadores de 13 m³ y con las condiciones de operación de fermentación implementadas en la industria, tres incrementos de sustrato y volumen de operación de los fermentadores de 106 m³. La política de incrementos con esta variante es la que se mostró anteriormente en la Tabla I.

Variante 2: Similar a la anterior pero realizando 10 incrementos de medio de fermentación en 14 horas de fermentación siguiendo como criterio para decidir cuándo realizar el incremento una disminución del brix en al menos 2 unidades. Se adicionó un total de 10,50 toneladas de azúcares fermentables al proceso.

Tabla VII: Política de alimentación implementada en la variante 2.

Incrementos	Miel (m³)	Agua (m³)	Volumen de incremento (m³)
Colchón	1,000	6,935	7,935
1	1,000	6,935	7,935
2	1,000	6,935	7,935
3	1,000	6,935	7,935
4	1,400	9,709	11,109
5	0,400	2,774	3,174
6	1,400	9,709	11,109
7	1,400	9,709	11,109
8	2,000	13,870	15,870
9	1,400	9,709	11,109
Total	**12,000**	**83.221**	**95,221**

Variante 3: Similar a la anterior pero realizando 10 incrementos de medio de fermentación en 11 horas manteniendo un tiempo de espera entre incrementos de 1 hora y adicionando un total de 11,00 toneladas de azúcares fermentables al proceso. Los incrementos fueron realizados según la política descrita en la Tabla VIII.

Tabla VIII: Política de alimentación implementada en la variante 3.

Incrementos	Miel (m^3)	Agua (m^3)	Volumen de incremento (m^3)
Colchón	1,826	11,837	13,663
1	1,093	7,085	8,177
2	1,093	7,085	8,177
3	1,093	7,085	8,177
4	1,093	7,085	8,177
5	1,093	7,085	8,177
6	1,093	7,085	8,177
7	1,093	7,085	8,177
8	1,093	7,085	8,177
9	1,093	7,085	8,177
10	1,203	7,802	9,005
Total	**12,863**	**83,400**	**96,263**

Variante 4: Similar a la variante dos pero con 10 incrementos de medio en 12 horas de fermentación y se adicionaron 12 toneladas de azúcares fermentables siguiendo la política de alimentación que aparece en la Tabla IX.

Tabla IX: Política de alimentación implementada en la variante 4.

Incrementos	Miel (m^3)	Agua (m^3)	Volumen de incremento (m^3)
Colchón	1,000	5,892	6,892
1	1,000	5,892	6,892
2	1,000	5,892	6,892
3	1,000	5,892	6,892
4	1,700	10,017	11,717
5	1,700	10,017	11,717
6	1,700	10,017	11,717
7	1,700	10,017	11,717
8	1,700	10,017	11,717
9	1,500	8,839	10,339
Total	**14,000**	**82,494**	**96,494**

Los resultados de la Tabla X revelan que con las variantes de operación 2, 3 y 4 se obtuvieron eficiencias de fermentación superiores (mayores que 89 %) a las alcanzadas con la variante 1 (menores que 82 %). Los grados alcohólicos en fermentación también son mayores para las variantes 2,3 y 4 con respecto a la 1. Estos resultados tienen su impacto en una disminución del índice de consumo de miel y corroboran los obtenidos por la simulación.

Tabla X: Resultados finales obtenidos para cada variante de proceso.

Variante	Conteo celular inicial (cel/mL)	Azúcares Fermentables suministrados (t)	Alcohol producido (m^3)	Índice de consumo de miel (t/hL)
1	272E+6	11,00	5,83	0,357
2	286E+6	10,50	6,07	0,319
3	280E+6	11,00	6,42	0,321
4	267E+6	12,00	6,72	0,331
Variante	**Eficiencia Fermentación (%)**	**Grado alcohólico (%v/v)**	**Tiempo de Fermentación (h)**	**Productividad ($L/m^3 \cdot h$)**
1	81,48	5,40	26	2,05
2	89,44	5,72	30	1,91
3	90,75	6,00	32	1,87
4	90,21	6,41	35	1,80

3.3 Evaluación económica de las variantes estudiadas

Para realizar una evaluación del impacto económico sobre los ingresos por ventas de la producción de alcohol, se tomó como base una destilería que produce anualmente 150 000 hL de alcohol fino A, 96 °GL y consume 60 937,50 toneladas de miel al año en base a 52 % de azúcares fermentables. La eficiencia promedio en destilación es del 95 %. Se asume un precio unitario de venta por hectolitro de alcohol fino A de US$ 60,00. Estos datos fueron obtenidos mediante comunicación personal con el productor.

Los resultados de la Tabla XI indican que la implementación en la destilería de cualquiera de las variantes estudiadas implica un incremento en los ingresos por las ventas de alcohol fino A comparada con la forma actual de operar el proceso (Variante 1). La segunda variante muestra el mayor incremento de los ingresos equivalente a US$ 1 112 641,92 al año.

Tabla XI: Ingresos obtenidos por venta de alcohol fino A en una destilería.

VARIANTE	INDICE DE CONSUMO DE MIEL (t/hL)	ALCOHOL FINO PRODUCIDO (hL/año)	INGRESOS OBTENIDOS POR VENTAS (US$/año)	INCREMENTOS EN LOS INGRESOS POR VENTA (US$/año)
1	0,357	155 672.27	9 340 336,13	-
2	0,319	174 216.30	10 452 978,06	1 112 641,92
3	0,321	173 130.84	10 387 850,47	1 047 514,33
4	0,331	167 900.30	10 074 018,13	733 681,99

Si el análisis anterior se realiza a nivel nacional considerando una producción anual de 850 000 hL de alcohol fino A con un consumo de miel de 345 312,50 toneladas al año y 96% de eficiencia en destilación entonces los resultados serían los siguientes:

Tabla XII: Ingresos obtenidos por venta de todo el alcohol fino A que se produce en el país.

VARIANTE	INDICE DE CONSUMO DE MIEL (t/hL)	ALCOHOL FINO PRODUCIDO (hL/año)	INGRESOS OBTENIDOS POR VENTAS (US$/año)	INCREMENTOS EN LOS INGRESOS POR VENTA (US$/año)
1	0,357	891 428,57	53 485 714,29	-
2	0,319	997 617,55	59 857 053,29	6 371 339,01
3	0,321	991 401,87	59 484 112,15	5 998 397,86
4	0,331	961 450,15	57 687 009,06	4 201 294,78

En la Tabla XII se puede ver que los incrementos en los ingresos por venta de alcohol fino A son superiores a los US$4 000 000 al año para las variantes estudiadas y la segunda variante reporta ingresos mayores a US$6 000 000.

4. CONCLUSIONES

1. El análisis de los resultados de dos procesos de fermentación alcohólica diferentes revelan las bajas eficiencias, grado alcohólico y productividades del segundo esquema en comparación con el primero.

2. La simulación del segundo proceso de fermentación indica que es posible incrementar la eficiencia en fermentación y grado alcohólico final alimentando el sustrato con múltiples adiciones secuenciales.

3. La validación con experimentos industriales permitió comprobar los resultados de la simulación del proceso en cuanto a obtener mayores eficiencias de fermentación y grado alcohólico final cuando se realizan múltiples incrementos secuenciales en comparación al proceso actual.

4. El análisis económico realizado estima un incremento de los ingresos anuales en el país por venta de alcohol fino A en US$6 371 339,01.

5. REFERENCIAS

1. Amillastre, E; Aceves-Lara, C.A; Uribelarrea, J.L; Alfenore, S; Guillouet, S.E. (2012), Dynamic model of temperatura impacto on cell viability and major product formation during fed-batch and continuous ethanolic fermentation. Bioresource Technology 117 242-250.
2. Converti A; Saleh A; Sunao S; Monteiro de Carvalho, J. C; Aquarone, E. (2003), Simplified Modeling of Fed-Batch Alcoholic Fermentation of Sugarcane Blackstrap Molasses. [en línea] Wiley InterScience http://www.interscience.wiley.com/ [Consulta: Julio 2010].

3. Domenech, F; Michelena, G; García, J. L; Mansour, M; Peña, M. A. (1992), Selección de cepas de levadura para procesos continuos de fermentación alcohólica. Revista ICIDCA, La Habana, 3 13-16.
4. Saura, G; Domenech, F; Valdivieso, J. M; García, R. (2006), Desarrollo del programa integrado de producción de alcohol en la industria azucarera. Informe Final de Proyecto, ICIDCA.
5. Estévez, B. R. (2012), Acerca de una descripción y propuesta de prueba del proceso de fermentación alcohólica "VIMAS". Informe interno de AZCUBA.
6. Jover-de la Prida, J; Cuevas, H. M. (2012), Evaluación industrial de levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae* en la destilería George Washington. Tecnología Química 1 34-42.
7. Magazoni, F. C; Monteiro, J. B; Cardemil, J. M; Colle, S. (2010), Cooling of Ethanol Fermentation Process Using Absorption Chillers. Int. J. of Thermodynamics 3 111-1116.
8. Phisalaphong, M; Srirattana, N; Tanthapanichakoon, W. (2006), Mathematical modeling to investigate temperature effect on kinetic parameters of ethanol fermentation. Biochemical Engineering Journal, 28 36-43.
9. Torija, M.J; Rozes, N; Poblet, M; Guillamón, J.M; Mas, A. (2003), Effects of fermentation temperatura on the strain population of *Saccharomyces cerevisiae*. Int. J. Food Microbiol. 80 47-53.
10. Wen-Hung Hunag; Shieh, G.S; Feng-Sheng Wang (2011), Optimization of fed-batch fermentation using mixture of sugars to produce ethanol. J. Taiwan Inst. Chem. Eng. 351 1-8.

Notación

μ_{max} :	Velocidad máxima específica de crecimiento	[1/h]
k_s :	Concentración de saturación por sustrato	[kg/m^3]
m_s :	Velocidad específica de consumo de sustrato para el mantenimiento celular.	[kg/kg·h]
Y_{xs} :	Coeficiente de rendimiento biomasa-sustrato	[kg/kg]
Y_{ps} :	Coeficiente de rendimiento producto-sustrato	[kg/kg]
m_p :	Velocidad específica de formación de producto debida al mantenimiento	[kg/kg·h]

COMPLEJO AGROINDUSTRIAL FLEXIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR Y ALCOHOL

A FLEXIBLE AGROINDUSTRIAL COMPLEX FOR SUGAR AND ALCOHOL PRODUCTION

Autor: Norge A. Garrido Carralero

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca 804 esq. Carretera Central. San Miguel del Padrón. Ciudad Habana.
Email: norge.garrido@icidca.edu.cu

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el análisis de la influencia técnico-económica que tendría el montaje de una destilería nueva de 200000 LPD en un central existente que muele 5000 t/d caña de azúcar y que trabaja con tres masas. El análisis comparativo se realza produciendo alcohol con una mezcla de miel final y jugo con (50%-50% de los azúcares para azúcar y alcohol), modificándose posteriormente su esquema de operación para trabajar con dos masas (miel B y jugo) con las siguientes relaciones: 50%-50%, 40%-60%, 60%-40% de azúcar y alcohol, obteniendo además, subproductos como, levadura *Saccharomyce Cerevisiae* . Determinándose el impacto que se tendría en la economía del complejo azucarero para cada alternativa.

Los resultados obtenidos muestran que cuando se produce azúcar y alcohol con miel final-jugo (50%-50%) solo se producen 1420 Hl/d, no se alcanza la capacidad de la destilería y la ganancia del complejo es de $14,87 millones y cuando se trabaja con dos masas y se dedican 50% de los azúcares presente en el jugo para producir azúcar y 50 % para la producción de alcohol las ganancias del complejo son de $19,93 millones, aumentando en un 25,37 %, pero si se emplea la relación de 40% de los azúcares para la producción de azúcar y 60% para alcohol se pueden alcanzar ganancias de $24,22 millones con un 38,63% de incremento en las mismas respecto al esquema de tres masas.

Palabras claves: caña de azúcar, derivados, alcohol, utilidades.

SUMMARY

In the present work the analysis of the technical-economic influence that would have the assembly of a new distillery of 200000 LPD in an existent sugar mill of 5000 t/d of cane and it works with three massecuites is carried out. The comparative analysis is enhanced producing alcohol with a mixture of molasses C and juice with (50%-50% of the sugars for sugar and alcohol), modifying its operation outline later on to work with two masses (molasses B and juice) with the following relationships: 50%-50%, 40%-60%, 60%-40% of sugar and alcohol, also obtaining, by-products like, yeast *Saccharomyce Cerevisiae*. Also the impact that it would have in the economy of the sugar complex for each alternative is determined.

(The results show that when the sugar mill produces sugar and alcohol with molasses-juice (50%-50%) it can achieve 1420 Hl/d and the distillery capacity is not reached and the gain of the complex is of $14,87 millions. When it works with two massecuites and the 50% of the

sugars present in the juice are devoted to produce sugar and 50% for the production of alcohol the earnings of the complex are $19,93 millions, increasing in 25,37%, but if the relationship of 40% of the sugars is used for the production of sugar and 60% for alcohol it can be reached earnings of $24,22 millions with 38,63% of increment respect to three massecuites scheme.

Keywords: sugar cane, derivatives, alcohol, electricity, utilities

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es un cultivo de grandes potencialidades por su producción de biomasa y su contenido de azúcar. Esta gramínea puede tener diferentes usos y partiendo del presupuesto de explotarla de forma racional, este cultivo por su contenido de azúcar es posible utilizarlo con diferentes fines de modo que se emplee de manera más eficiente tanto en la producción de azúcar como de otros derivados, fundamentalmente la producción de alcohol, pues su carácter energético y su rendimiento en materia verde permite maximizar su explotación Armas (1999).

En la lista de virtudes que tiene la caña de azúcar no se pueden dejar de mencionar los subproductos y derivados, pero para el desarrollo exitoso de los mismos, es necesario lograr una integración eficiente del complejo productivo caña - azúcar - derivados Vega y Sabadí (1988). Uno de los aspectos más importantes es la implementación de medidas que permitan elevar la eficiencia en el empleo de los azúcares contenidos en el jugo para maximizar las ganancias del complejo agroindustrial, así como el aprovechamiento de la capacidad de generación instalada y la reducción del consumo de electricidad a fin de disminuir progresivamente hasta su eliminación total el consumo de electricidad del Sistema Eléctrico Energético Nacional (SEN) González (2000).

En nuestro país, la producción de alcohol ha estado sustentada tradicionalmente en la transformación de las mieles finales de caña. La producción de alcohol a partir de esta materia prima constituyó la primera industria de los derivados de la caña azúcar Saura (2005). En los últimos años, ha existido una gran demanda de mieles finales para la producción de otros derivados, fomentada por el proceso de diversificación de la industria azucarera y una contracción de los rendimientos cañeros, que ha provocado la disminución de la producción de este subproducto Pérez (2001).

El presente escenario de la producción azucarera y de etanol en Cuba provoca la necesidad de acudir a otros sustratos para cumplimentar la demanda creciente de este combustible y anticipar la ya real escasez de mieles finales como materia prima Deeb (2003), Bello (2005).

El empleo de cantidades equivalentes de jugos de caña directamente para la fermentación y producción de etanol, es la más económica y revalorizadora de las alternativas para las fábricas de azúcar. Como resultado de nuevas condiciones de mercado, el uso de los jugos en la producción de alcohol constituye una práctica actual de los grandes productores de alcohol, fundamentalmente Brasil Saura (2005).

Hoy día se ofrecen alternativas de producción flexibles para una empresa azucarera diversificada y sostenible desde el punto de vista ambiental que permiten un óptimo procesamiento de la caña para obtener junto al azúcar, mayores cantidades de bagazo, mieles intermedias, y jugos para fermentar, en dependencia de la demanda y las opciones productivas que resulten más convenientes. Estas alternativas son variantes posibles de introducir con modificaciones en los flujos tecnológicos de los productos intermedios, que pueden ir acompañados de otras en el cultivo y cosecha de la caña, en la extensión de los períodos de zafra así como en la siembra de variedades para propósitos específicos Gálvez (2000).

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de la influencia que tiene en la economía de un complejo agroindustrial, la instalación de una destilería con la modificación tecnológica de trabajar en el ingenio con un esquema de dos masas empleando como materia prima miel B y jugo en la producción de alcohol deshidratado.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se toma como referencia un ingenio azucarero de 5000 t de caña/d que trabaja con un esquema de tres masas que produce azúcar y energía como se muestra en la Figura 1

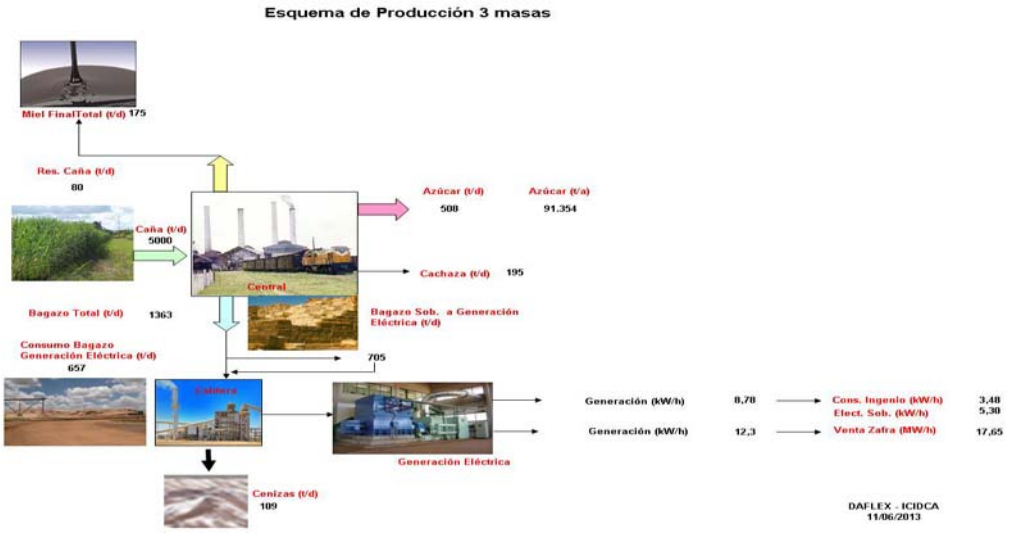


Figura 1. Esquema de producción de azúcar y energía con tres masas

Para el análisis técnico - económico se considera la instalación de una destilería de 200000 LPD anexa a un ingenio existente que opera con un esquema de tres masas y el mismo se modificará por uno de dos masas para la producción de azúcar y alcohol como puede observarse en la Figura 2. La destilería operará con un esquema de fermentación con recirculación de levadura utilizando como materia prima miel final-jugo en una relación de 50 % - 50 % y para los casos en que se emplea miel B-jugo (Figura 3) se varían los flujos de jugo en las siguientes proporciones: miel B-jugo 50 % - 50 %, 40 % - 60 %, 60 % - 40 %,. En estas variantes se comercializará además, electricidad y levadura *Saccharomyce Cerevisiae* (sangría).

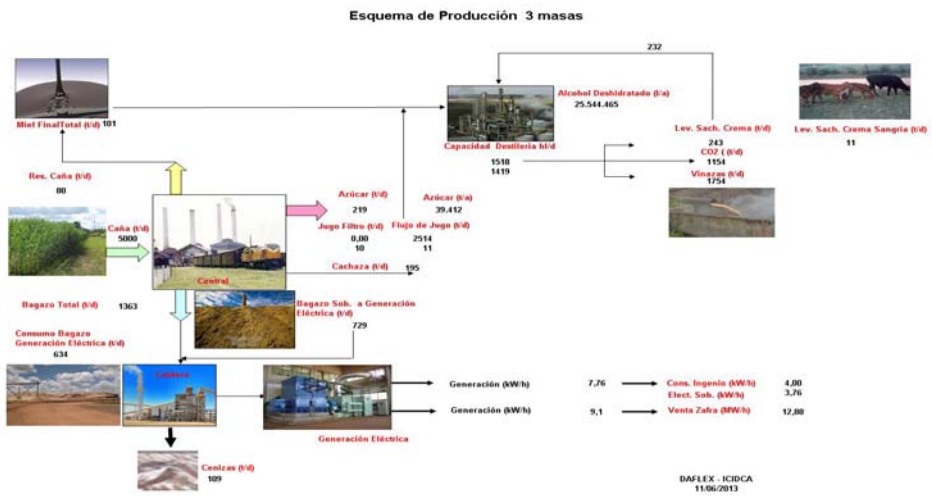


Figura 2. Esquema de producción de azúcar, alcohol, energía y levadura con tres masas

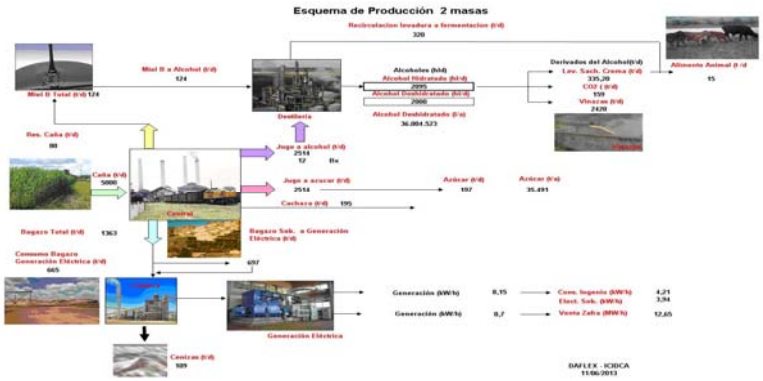


Figura 3. Esquema de producción de azúcar, alcohol, energía y levadura con dos masas

El complejo sólo trabajará en tiempo de zafra y suministrará a la destilería los servicios auxiliares como vapor (310 kg/Hl) y electricidad (12 kW-h/Hl) respectivamente.

Para realizar los balances de masa y energía se utilizó el software de simulación DAFLEX Capote (2005), útil para el análisis técnico-económico del funcionamiento del ingenio en vinculación con diferentes plantas de derivados y el software de simulación de destilerías SIDEL Garrido (2005), ambos desarrollados en el Instituto Cubano de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Las premisas generales consideradas se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Premisas para el balance de masa y energía.

Molienda (t/d)	5000	Pol en Caña (%)	12
Días de zafra	180	Cachaza % caña	3,5
Fibra en caña (%)	15	Bagacillo % caña	1,0
Agua imbibición % caña	30	JF% jugo mezclado	17,0
Humedad bagazo (%)	48,45	Lechada de cal (%)	1,15
Pol bagazo (%)	2,06	Presión caldera (bar man.)	28
Pureza jugo residual (%)	85,0	Temperatura (ºC)	320
Brix bagazo (ºBx)	2,14	Índice de consumo caldera (t vapor/t de bagazo)	2,2
Coeficiente de Extracción	0,95	Presión vapor escape (bar man.)	1,5
Brix de la caña (ºBx)	14	Eficiencia de generación (%)	70

Para el análisis económico se fijaron las siguientes premisas:

- La moneda utilizada para el análisis es el dólar (USD).
- Los insumos así como otras materias primas y materiales, se sustentan en índices de consumo previamente establecidos en las fichas de costo elaboradas por el Grupo Empresarial Azucarero AZCUBA.
- Los precios de los insumos (productos comprados o importados) se tomaron de la base de precios establecidos por AZCUBA.

Para el cálculo de los Ingresos por ventas se utilizaron los precios de los productos en el mercado internacional tomando como base el Boletín “Mercado azucarero y más”, emitido por el Departamento de Evaluación Técnica Económica del ICIDCA, Junio 2013. Se consideraron como precio de venta 380,3 (16,98 c/lb) y 499,5 (22, 3 c/lb) USD / t para el azúcar crudo, 0,65 y 0,68 USD/ l para el alcohol deshidratado y la Energía Eléctrica de 0,15 USD/kWh. para todas las alternativas ya que una variación en su precio no influye en la rentabilidad del complejo, porque todo el bagazo se usa en la generación eléctrica.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Figuras 3, 4 y 5 se muestran los resultados obtenidos después de utilizar las herramientas de simulación DAFLEX y SIDEL. Los resultados obtenidos muestran que cuando la producción de azúcar y alcohol es con miel final-jugo en una relación de 50 % - 50 % la ganancia del complejo es de $14,9 millones y cuando se trabaja con dos masas y se dedica el 50 % de los azúcares presente en el jugo para la producción de azúcar y 50 % para la producción de alcohol, las ganancias del complejo son de $19,9 millones o sea aumentan en un 25,37 %, pero si se emplea la relación de 40 % de los azúcares para la producción de azúcar y 60% para alcohol se pueden alcanzar ganancias de $24,2 millones con un 38,63% de incremento en las mismas respecto al esquema de tres masas.

En el caso de emplear la relación de 60 % - 40 % la rentabilidad del complejo es de $19.93 millones mejorando también en un 22,87 % respecto al esquema de tres masas, Es importante destacar que la venta de electricidad a la red en los esquemas en que se trabaja con miel B-jugo disminuye en un 2 % en comparación con el esquema de producción de azúcar y alcohol con miel final-jugo debido a que existe una mayor producción de alcohol deshidratado y por tanto un mayor consumo eléctrico.

En la Tabla 2 se muestra el escenario para dos condiciones de operación del complejo cuando se varían los precios del azúcar y el alcohol. La alternativa 2 es la que se analiza y en la 1 solo se varia el precio del alcohol a $68 USD/Hl (16,3 c/lb. de azúcar =18,8 c/lb. de azúcar equivalente) como se muestra en el Gráfico 4 y en la número 3 se varia el precio del azúcar a $499,5 USD/t (22,3 c/lb.), como podemos apreciar la rentabilidad del complejo dependerá del precio del azúcar y del alcohol en el mercado internacional y este operaría en función de esta variación, como se puede ver en la Tabla 2 y Figura 4.

Tabla 2. Alternativas para dos condiciones de operación.

Alternativas	50%azúcar, 50%alcohol (j-mf)	50%azúcar (j-mB), 50%alcohol	60 %azúcar, 40 %alcohol	40 %azúcar, 60 %alcohol
1	$15.636.684	$21.006.322	$20.268.248	$25.495.285
2	$14.866.346	$19.799.057	$19.273.305	$24.227.511
3	$19.564.241	$21.004.548	$20.266.115	$25.493.869

Alternativa 1	A-$380,3USD/t, Al-68 USD/Hl, Elec. 0,15 USD/kWh
Alternativa 2	A-$380,3USD/t, Al-65 USD/Hl, Elec. 0,15 USD/kWh
Alternativa 3	A-$499,5 USD/t, Al-65 USD/Hl, Elec. 0,15 USD/kWh

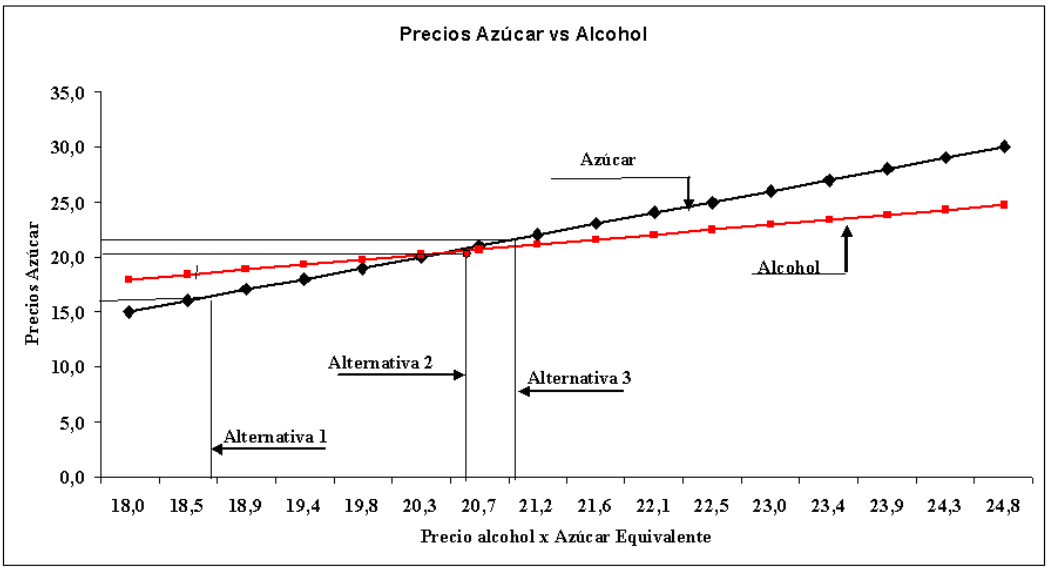


Figura 4. Precios del azúcar vs precio equivalente del azúcar para la producción de alcohol.

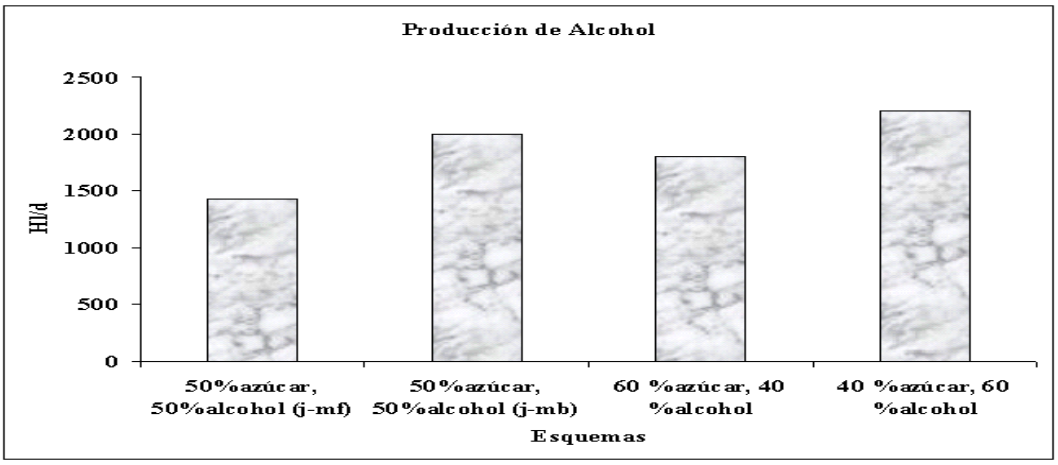


Figura 3. Capacidad de producción de la Destilería para cada variante.

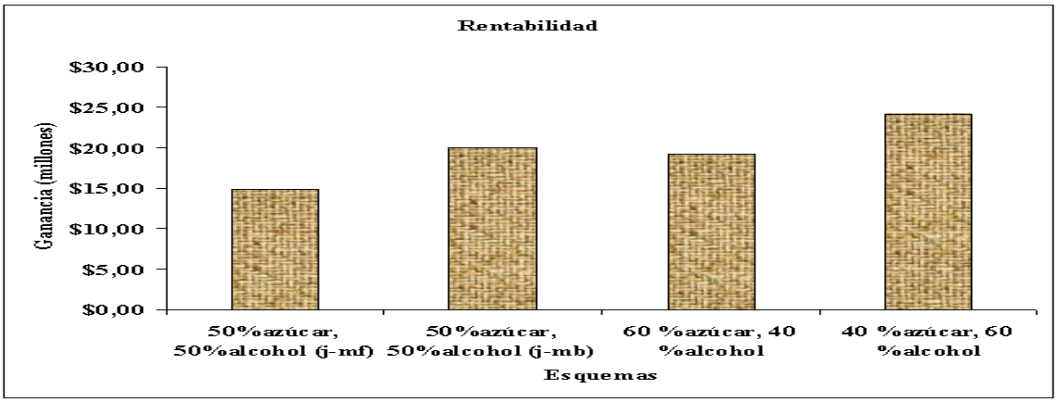


Figura 4. Rentabilidad obtenida en cada esquema.

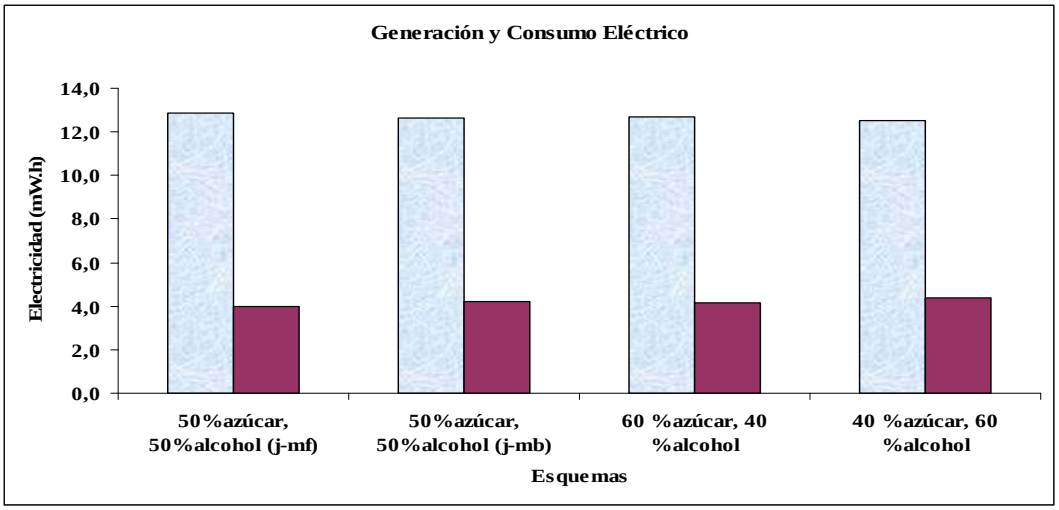


Figura 5. Generación y consumo eléctrico para cada esquema

En la Figura 6 se pueden apreciar las producciones anuales de azúcar y alcohol deshidratado para cada variante de producción, así como las ganancias por venta de levadura para alimento animal (Figura No.7).

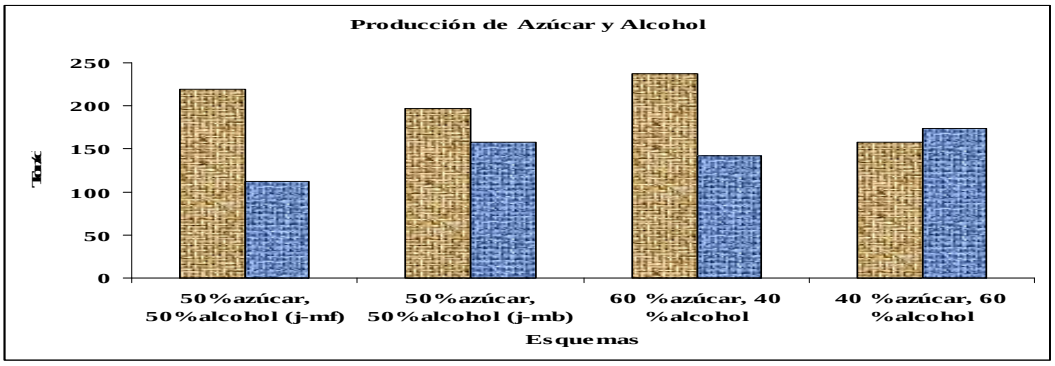


Figura 6. Producciones diarias de azúcar y alcohol

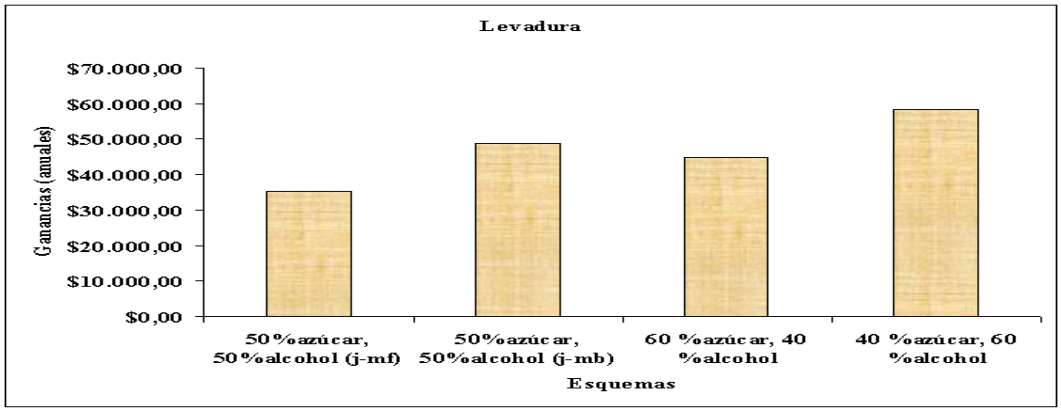


Figura 7. Ganancias por venta de levadura

En las s Figura 8 y 9 se pueden apreciar los aspectos fundamentales relacionados con la inversión de una destilaría de 200000 LPD a montar anexa al central, determinándose que la misma, para +/- 20 % puede oscilar entre $18 y $27 millones de dólares.

El tiempo de recuperación es de aproximadamente 4,14 años y una TIR de 52,81 %, para el esquema en que se emplea miel B-jugo y de 4,52 años y 42,92 % para cuando se utiliza miel final-jugo, en ambos casos nos permite decir que la inversión es económicamente factible y a esto podemos agregar que puede aumentarse la rentabilidad de un complejo de este tipo si se concentran las vinazas hasta 35 ºBrix y se emplean para producir compost y otros derivados, aunque para esto será necesario realizar un nuevo estudio porque la inversión con estas plantas aumentarían.

Alcohol deshidratado (2000 HL/dia) 180 dias de produccion		
Fermentacion		2.254.916
Distillacion		2.239.043
Deshidratacion		3.838.493
Tratamiento de levadura (sangria)		50.000
Utilidades de la planta		396.576
Tanques almacenamiento de alcohol (15 dias)		910.102
Total equipamiento		9.689.131,30
Electricidad	2%	193.783
Valvulas y tuberias	5%	484.457
Instrumentacion	7%	678.239
Ereccion	20%	1.937.826
Obra civil (industria y edificios soc-adm)	25%	2.422.283
Laboratorio (equipos, reactivos e instrumentos)		750.000
Maintenimiento (edificios y herramientas.)		500.000
Direccion de Proyectos	8%	775.131
Ingenieria	10%	968.913
Servicion de puesta en marcha		900.000
Respuestos	3%	290.674
Total servicio y otros		9.901.305
Sub-total		19.590.436
Contingencia	10%	1.959.044
Fletes	5%	979.522
Gran total		22.529.002

mas estimacion (+20%)	27.034.802
menos estimacion (-20%)	18.023.201

Figura 8 Estimación de los costos de inversión de la destilería a instalar

FLUJO DE CAJA DE LA INVERSION					
Escalado					
Valor de la inversión	$22.529.001,79		Ganancia Anual:	$19.926.186,78	USD
Valor residual	$22.529,00				
Tiempo de vida	20	años			
Inversion Cana	$0,00		Impuestos	1	
Año	1	2	3	4	5
Criterio de distribución anual	0	0	0	1	1
Ganancias brutas	$0,00	$0,00	$0,00	$19.926.186,78	$19.926.186,78
Nuevos costos relevantes					
Promoción de nuevos productos y ventas	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00
Otros	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00
Costo total	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00
UAIIDA (Utilidades brutas)	$0,00	$0,00	$0,00	$19.926.186,78	$19.926.186,78
Depreciación	$0,00	$0,00	$0,00	$1.125.323,64	$1.125.323,64
UAI	$0,00	$0,00	$0,00	$18.800.863,14	$18.800.863,14
Impuestos (%)	35				
Impuestos	$0,00	$0,00	$0,00	$188.008,63	$188.008,63
INGRESOS NETOS (IN)	$0,00	$0,00	$0,00	$18.612.854,51	$18.612.854,51
"+ Depreciación"	$0,00	$0,00	$0,00	$1.125.323,64	$1.125.323,64
% de ejecución de la obra por año	0,30	0,50	0,20	0,00	0,00
Tierra	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00
Capital de trabajo	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00	$0,00
" - Inversión"	$6.758.700,54	$11.151.855,89	$4.505.800,36	$0,00	$0,00
Flujo de caja neto (FCN)	-$6.758.700,54	-$11.151.855,89	-$4.505.800,36	$19.738.178,15	$19.738.178,15
Flujo de caja acumulativo	-$6.758.700,54	-$17.910.556,43	-$22.416.356,79	-$2.678.178,64	$17.059.999,51
Año-Flujonetoacum/Flujoneto	0,00	0,39	-1,98	4,14	4,14
SI($B29:$U29<=0,1,0)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
# de Columna	5,00				
Periodo de retorno sin descuento	4,14				

Figura 9. Flujo de caja de la inversión (esquema de dos masas)

CONCLUSIONES.

- Trabajar un complejo con dos masas y utilizar jugo y miel B como materia prima para producir alcohol y azúcar mejora su rentabilidad.
- El aumentar la producción de azúcar o alcohol dependerá del precio de estos productos en el mercado internacional, como se muestra en la figura 4.

BIBLIOGRÁFICA

- Almazán, A; González, L. (1998), Alcohol etílico. Materias primas y medio ambientes. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, La Habana, Vol. XXXII (2), pp. 1-10.
- Armas, R. (1999), La fisiología vegetal y su contribución al mejoramiento genético de la caña de azúcar. Editorial Elfhor Scientiea, La Habana, pp, 63-77.

- Capote, O.; Díaz, M.; Garrido, N. (2004), DAFLEX: Diversificación azucarera flexible [CD]. Versión 2.0. La Habana. Programa informático.
- Capote, O. (2002), Análisis de esquemas integrados de producción de azúcar y derivados. Trabajo de Diploma para optar por el título académico de Máster. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad de La Habana, Julio.
- Capote, O; Díaz de los Ríos, M; Garrido, N; Costales, R. (1999), Excel una herramienta para el análisis de la eficiencia industrial y la implementación de esquemas de diversificación en los complejos agroindustriales. Cuba-Azúcar, La Habana, Vol XXVIII (4), pp. 20-25'
- Deeb, RA; Chu, KH; Shih, T; Linder, S; Suffet, IM; Kavanaugh, MC; Alvarez, CL. (2003) MTBE and other oxygenates: Environmental sources, analysis, occurrence, and treatment. Environm Eng Sci, 20(5): 433-447
- Díaz M, Capote O, Garrido N. (2002). DAFLEX: Herramienta para el análisis de procesos en la industria azucarera. Software. Base Excel. Agregar esta referencia
- Díaz de los Ríos, M; Capote, O; Garrido, N; Costales, R. (2000), La integración de Procesos y la Diversificación en la Industria Contemporánea. Congreso Internacional sobre azúcar y derivados de la caña (DIVERSIFICACIÓN 2000), Cuidad de la Habana, Cuba.
- Gálvez, L. O. (2000), La producción diversificada de la agroindustria de la caña de azúcar. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. 3ra. ed. La Habana: Imprenta MINAZ, pp. 3-17.
- Garrido, N. (2003), SIDEL: sistema de diseño y simulación de destilerías. Taller Internacional de Producción de Alcohol (TIPAL). Varadero, Matanzas, Cuba.
- González, F; Castellanos, J; Puerta, J. (2000), Remodelación para la cogeneración de un ingenio azucarero en la provincia de Cienfuegos. Centro Azúcar. (Villa Clara). No 2.
- Honig, P. (1969), Principios de tecnología azucarera. Edición especial para Ediciones de Ciencia y Técnica. Instituto del Libro. España. Compañía Editorial Continental S.A, 643 páginas.
- Manual para la Preparación de Estudios de Viabilidad Industrial, nueva edición corregida y aumentada, ONUDI, Viena 1991.
- Pérez, I; Garrido, N. (2001) "Equipamiento básico para el enfriamiento de los jugos de los filtros". Cuba azúcar, Vol. XXX, Octubre/Diciembre,
- Porcell, J. (2003), La caña de azúcar: una planta de inagotable riqueza industrial. Cuba-Azúcar, La Habana, Vol XXXII (3).
- Precios de azúcar y derivados 2010. Informe Dpto. de precios, MINAZ,2010
- Saura, G. et. all. (2005) "Esquema integrado azúcar, alcohol y levadura forrajera a partir de la caña de azúcar". Revista ICIDCA, Vol. XXXIX, No.2.
- Valdés, N y otros. (1983), Modelos Matemáticos de las etapas del proceso de producción de azúcar crudo. Centro-Azúcar (Villa Clara), Vol 10 No. 3.

EXPERIENCES WITH AN INDUSTRIAL SOLUTIONS STUDY FOR A GREENFIELD PROJECT

EXPERIENCIAS EN EL ESTUDIO DE SOLUCIONES INDUSTRIALES EN UN NUEVO PROYECTO

Dennis Pello[1], Raúl Sabadí[2], Norge Garrido[2]

[1]State Oil Company Suriname N.V. (STAATSOLIE). Dr.Ir. Adhinstraat 21, Paramaribo, Suriname
[2]Cuban Research Institute on Sugar Cane Derivatives (ICIDCA), Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba
E-mail: DPello@staatsolie.com, raul.sabadí@icidca.edu.cu, norge.garrido@icidca.edu.cu

Keywords: project, sugar, ethanol, cogeneration

Palabras claves: proyecto, azúcar, etanol, cogeneración

Abstract

For blending use in gasoline, it has been decided to develop a greenfield project for production of ethanol in Suriname. In this framework, an industrial solutions study was conducted for the definition of the plant location and configuration and the selection of the most appropriate technologies and logistics.

Different alternatives for feedstock were studied, from which sugarcane was selected as the most suitable. Based on the expected gasoline demand in Suriname and the cane development program, a decision was made regarding the capacity of the ethanol distillery. Technologies in each process stage have been initially proposed based on process efficiency and site energy integration, also considering the production of raw sugar for domestic demand. Part of the molasses will be sent to a local rum factory. Cogeneration was an important aspect of the study because of the use of bagasse and trash for power generation for process and plantation demand as well as for exporting to the national grid. Vinasse from ethanol production will be concentrated and sent to the plantation as fertiliser. Domestic transportation of final products will be done by road; river and sea transport will be considered in the future.

This paper shows the alternatives studied and the result for the best selection. The analysis is firstly based on the mass and energy balances, and then an economic evaluation is conducted. Lessons learned from the project management's point of view were also important.

Resumen

En Surinam se ha decidido desarrollar un proyecto para la producción de etanol con el fin de usarlo como oxigenante en la gasolina. Se llevó a cabo un estudio de soluciones industriales para la definición de la ubicación y configuración del complejo industrial, así como la selección de las tecnologías y la logística más adecuadas.

Se estudiaron diferentes materias primas, siendo seleccionada la caña de azúcar como la más adecuada. Con base en la demanda de gasolina esperada y el programa de desarrollo de la caña, se tomó la decisión con respecto a la capacidad de la destilería. Las tecnologías en cada etapa del proceso se han propuesto inicialmente sobre la base de la eficiencia del proceso y la integración energética en el sitio, considerando también la producción de azúcar crudo para satisfacer la demanda interna. También parte de la miel final se enviará a una fábrica de ron local. La cogeneración es un aspecto importante debido a la utilización del

bagazo y la paja para la generación de energía para el proceso y la demanda de las plantaciones, así como para exportar a la red eléctrica nacional. La vinaza se concentrará y se usará como fertilizante en la plantación. El transporte interno de los productos finales se hará por carretera, mientras que las vías fluvial y marítima se considerarán en el futuro.

Este trabajo muestra las alternativas estudiadas y el resultado de ese análisis, que se basó en los balances de masa y energía y en la evaluación económica.

1. Introduction

Suriname is a country in northern South America. Since 1980, the State Oil Company of Suriname (Staatsolie) is producing onshore crude oil, which is being refined in Staatsolie's local refinery. As part of achieving its goal of leading the sustainable development of Suriname's energy industry, Staatsolie commenced a feasibility study for the production of ethanol. The production of ethanol matches the company's operations approach, mainly related with the refinery expansion project (REP). With the implementation of the REP, Staatsolie will become the supplier of the majority of the domestic gasoline market.

The quality of this gasoline will be in accordance with internationally accepted standards with a RON/MON (research octane number / motor octane number) of 95/85, requiring an octane booster to achieve the desired specifications. The options for this additive include, amongst others, MTBE, ETBE and ethanol. Of these three options, ethanol has the lowest cost and is environmentally regarded as the best choice, due to proven cleaner combustion and greenhouse gas emissions reduction.

With domestic production of ethanol, Staatsolie could source this additive locally, thus minimising some risks related to the availability of this product for its gasoline production. Before making a decision to invest in a sugarcane-to-ethanol project, Staatsolie conducted various studies:

- Agriculture Solutions Study to recommend the most efficient methods and systems, considering maximised yields at low operating costs.
- Industrial Solutions Study to evaluate potential plant configurations for an optimal product portfolio and technology selection.
- Environmental Social Impact Assessment (ESIA), to evaluate the environmental and socioeconomic impacts of project-related activities during the construction and operation.

Considering the lack of experience in this new industry, Staatsolie hired reputable contractors with extensive relevant expertise to conduct these studies as well as consultants who act in the industrial team.

In this paper, main experiences and results of the industrial solutions study are presented.

2. Materials and methods

2.1 The objectives

This industrial study was carried out to define the most profitable product portfolio. The fundamental basis for the selected scope was to include fuel ethanol as the main product to be produced for an E15 mandate in Suriname. This means that the domestic gasoline will contain 15 volume percent of fuel ethanol. In addition, the most valuable by-products were to be defined. During this solutions phase, a start was made with some

initial basic design and technology selection as would be required in the definition phase, to ensure that the accuracy of the CAPEX estimate is within ±20%. The factory technology will be selected based on proven efficiencies.

2.2 The inputs from the agriculture solutions study

Staatsolie conducted a concept study in which the prospect of sugarcane production was evaluated. The results indicated good potential; however, it was recommended to do an actual pilot cultivation test. Thirteen sugar cane varieties from Brazil and Guyana were tested in this agricultural pilot project. After careful consideration of the soil conditions, weather and pilot data, twelve sugarcane varieties have proven yield results that enable commercial production of ethanol and sugar. The fields can be configured in such a way that mechanisation (planting and harvesting) can be done. There will be no burning of cane prior to harvesting. An important part of the trash, 54% of total, has to be sent to the factory due to soil and climate characteristics. Different trash routes have been studied based on published experiences (Hassuani *et al.*, 2005). Expected quality of cane was the main input from this to the industrial study.

2.3 The cases

The fundamental assumption for the study was the production of sufficient ethanol for domestic take-off to fulfil the E15 gasoline blend. During the study, five different scenarios, with alternatives, were evaluated:

- Case 1: Ethanol production, self sufficient power generation, no power export, 170 days.
- Case 2: Ethanol production, power export, 170 days.
- Case 3A: Ethanol production, power export, 320 days. Imported C molasses.
- Case 3B: Ethanol production, power export, 320 days. Imported broken rice.
- Case 4A: Ethanol and refined sugar (25 000 tonnes), power export, 320 days. C molasses and imported C molasses / broken rice.
- Case 4B: Ethanol and refined sugar (25 000 tonnes), power export, 320 days. B molasses and imported C molasses / broken rice.
- Case 4C: Ethanol and raw sugar (25 000 tonnes), power export, 180 days. B molasses.
- Case 4D: Ethanol and refined sugar (25 000 tonnes), power export, 180 days. B molasses.
- Case 5A: Ethanol and refined sugar (50 000 tonnes), power export, 318 days. Imported C molasses.
- Case 5B: Ethanol and refined sugar (50 000 tonnes), power export, 318 days. Imported broken rice.
- Case 5Ca: Ethanol and raw sugar (50 000 tonnes), power export, 180 days.
- Case 5Cb: Ethanol and refined sugar (50 000 tonnes), power export, 180 days.
- Case 5C: Ethanol and refined sugar (50 000 tonnes), power export, 255 days (ethanol from B molasses out of crop season).

Material and energy balances of the cases were done using commercially available software as SIMFAD package (Sabadí et al., 1991) and also particular models developed in MS Excel for this project by

consultants. An Excel model was developed for the cash flow analysis. The Crystal Ball add-in (Graber, 2005) was used to study the impact of cost of different items in the CAPEX breakdown by probabilistic methods.

Case 5Ca evolved during the solutions study because it was determined that the local gasoline consumption (and so ethanol demand) in 2015/2016 was higher than initially anticipated. As a result, the sugar production was decreased from 50 000 t to 40 000 t per year. Case 1 was not pursued because of low incomes and excess bagasse as no power export was considered. Case 3 uses imported feedstock for ethanol production and this negatively impacts both OPEX and CAPEX because of additional operations required for broken rice use.

A selection matrix was built considering 13 criteria items, which were evaluated with pros (+) and cons (-) as shown in Table 1 for the best alternatives in each case.

3. Results and discussion

Based on the matrix and after careful considerations, cases 2 and 5Ca remained the preferred cases. After economic and strategic comparison and study of these two cases, it was decided that the preferred plant configuration will be case 5Ca (ethanol, raw sugar, combined with power export). It should be noted that our selected case 5Ca is a variant of case 4, which gives more flexibility for sugar and ethanol production variation, as is done in Brazil.

Table 1 – Cases comparison

Criteria	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Feedstock for ethanol	+	+	-	++	++
Operation days	+	+	++	+	+
Imported molasses C	+	+	-	+	+
Imported broken rice	+	+	-	+	+
Ethanol production	++	++	+++	++	+
Sugar production	--	--	--	+	++
Power generation	-	+	+	+	+
CO_2 produced	++	++	+++	++	+
Bagasse excess	-	+	+	+	+
CAPEX	+++	++	+	++	++
OPEX	+++	+	--	+	+
Income	+	+++	++	+++	++++
IRR	--	++	-	+	++

Economic feasibility was done using a model developed for this project by Staatsolie. Oracle Crystal Ball integrated in this model was used for analysing the uncertainties that the project is most sensitive to (Graber and Rothwell, 2005; Joyce and Hobson, 2007). All components in CAPEX and OPEX were included in the analysis, also considering lower and upper bounds for prices of the main equipment. Ethanol forecast prices were obtained from PIRA Energy Group (http://www.pira.com/default.htm). Sugar prices used are those initially agreed with importers in Europe and local distributors. At this phase, equipment costs used are derived from similar projects in other countries and quotations received for boilers and dry cleaning system.

Sugarcane ethanol has to compete with the American corn-based ethanol, which was at the time heavily subsidised by the American government. Sugarcane-based ethanol however is likely to gain market share, particularly under the "advanced" biofuels category (F.O.Licht, 2009). Sugarcane-based ethanol is classified as an advanced biofuel and therefore subject to premium pricing compared to corn-based ethanol. A premium pricing for the VHP sugar has been initially agreed with potential importers.

Currently, cane sugar refineries in Europe are short on raw cane sugar feedstock, mainly as a result of the declining production of sugarcane in the ACP countries. As a result of this, cane sugar refineries are running on low production capacities, jeopardising their continued profitability, and it is an opportunity for export in our project. On the other hand, the domestic consumption of about 10 000 t per year of raw (brown) sugar can be covered. The production of white refined sugar was also investigated, but the relatively small amount of about 40 000 t did not seem economically feasible. A small amount of B molasses could be sent to a local rum producer.

Financial issues have been taken into account and actions are being taken for guaranteeing capital required.

In order to keep the investment within acceptable limits, a cost cutting exercise was conducted to find out if there were alternatives for a more cost effective design. Risk assessment sessions were also conducted. In these sessions, risks were identified for different phases of the project: basic design, detailed engineering, procurement, construction, commissioning, and operation. Preventive and mitigation actions and consequent contingency budgets have been identified.

3.1 The products and by-products

Anhydrous ethanol will be produced for gasoline blend. All preliminary estimations have been done for the E15 mandate scenario during 20 years and considering an annual 1.5% increase in demand. The projected product for export to Europe is the European fuel ethanol according EN 15376, but the American spec ASTM D 4806-09 (which requires denaturant) can also be considered.

VHP raw sugar will be produced for covering the domestic demand and also for export to Europe.

Power will be produced using bagasse and trash as fuel for covering the demand of operations in plantation and industry in crop and off-crop seasons. It will also be exported to the grid for fulfilling the base load local demands (9-12 MW) during 350 days per year.

Bagasse will be used for power generation as mentioned before. In case of no transmission line being available, we also investigated options to make Medium Density Fibreboards MDF or pellets for export.

Vinasse will be concentrated to 35% Brix, although up to 55% will be studied. It will be used as fertiliser by itself or as part of a compost formulation also being studied. Filter mud and boiler ash can be used in the same way.

Carbon dioxide will be scrubbed for recovering ethanol. It is not yet defined to recover the CO_2; but its use for algal growth to produce bio-ethanol and its use for Enhanced Oil Recovery (EOR) is being assessed. In this case, the required carbon dioxide purification facilities are an add-on down-stream in the ethanol plant.

The destination of the fusel oil is not yet defined, although it can be burnt in the boiler if no other more profitable use is identified.

3.2 The plant location

Several aspects have been taken into account in the selection matrix for deciding the plant location, comparing the four proposed locations. Among them:

- Feedstock (cane) location, distance to the factory. This topic is important because of the large amount of cane that has to be transported from field to factory and also because of the vinasse distribution from distillery to the field.
- Products distribution, location of clients. Two main alternatives were considered for the distribution of ethanol and sugar to clients, trucks by road and barges by river and sea.
- Environmental impact on population. The prevailing wind direction and the distance to the town are evaluated for decreasing environmental impact (noise, smell, particles in the air)
- Roads infrastructure, access facilities. The existing and future facilities in the field are taken into account.
- Process water sources. The factory requires water, so the possible sources are evaluated (river, wells, channels).
- Site preparation costs, accessibility/constructability. In this topic, the soil characteristics are compared, based on the requirements for piling and soil level elevation. The possibilities for material transportation are also considered and access for big equipment parts and cranes.

The economic impact of the location was assessed based on the estimation of transportation costs and this determined the plant location. As a result of the above, the factory will be located close to the centre of the plantation area for optimising cane transport. It is about 9 km from a river and at the northern end of an existing water channel. Wells will be drilled for process water supply.

3.3 The plant configuration

Options for the most probable technology selection are being discussed (Figure 1):

- Cane reception and preparation: load cell based cane weighing and cane core sampling systems are considered. Knives sets and shredder will be used in order to achieve a cane preparation index over 90. A cane dry cleaning system could be installed.

- Juice extraction: milling is selected instead of diffusion due to the specific climate and soil characteristics. Frequent interruptions can be expected in a certain period of the crop season due to non predictable rainy weather. Non steady cane supply and frequent stopping/starting of the factory affect diffuser performance more than a milling train.

- The milling train will be electrically driven (alternate current variable frequency drive motors, planetary speed reduction gears and rope couplings) and could be a five mill tandem with four roll mills.

- Juice purification: heating (shell and tube and direct contact heaters), clarification (short retention time clarifier) and vacuum filtration (although decanter could be assessed) stages are considered. Vapour bleeding from evaporators and exhaust steam if necessary only for juice temperature rectification (adjustment) will be used. Juice from filters will be sent to ethanol production.

- Juice concentration: for estimations in this study, a set of five evaporators of Roberts type were used, although a combination with falling film will be assessed. A condensate heat recovery system will be installed.

- Crystallisation: two strikes processing system for raw sugar (VHP) production is selected. Horizontal continuous pans for boiling and batch pan with mechanical circulator for graining are considered. Vertical water cooled crystalliser.

- Centrifugation: raw sugar will be separated using batch centrifuges for A strike and continuous for B strike. Molasses will be sent to ethanol production.

- Sugar drying and cooling: a rotary dryer/cooler will be selected for reaching final moisture of no more than 0.15% in the raw sugar.

- Sugar packing and storage: in the case of raw sugar production, bulk storage is preferred and shipping loading facilities are required. Sugar for domestic market will be packed in big bags.

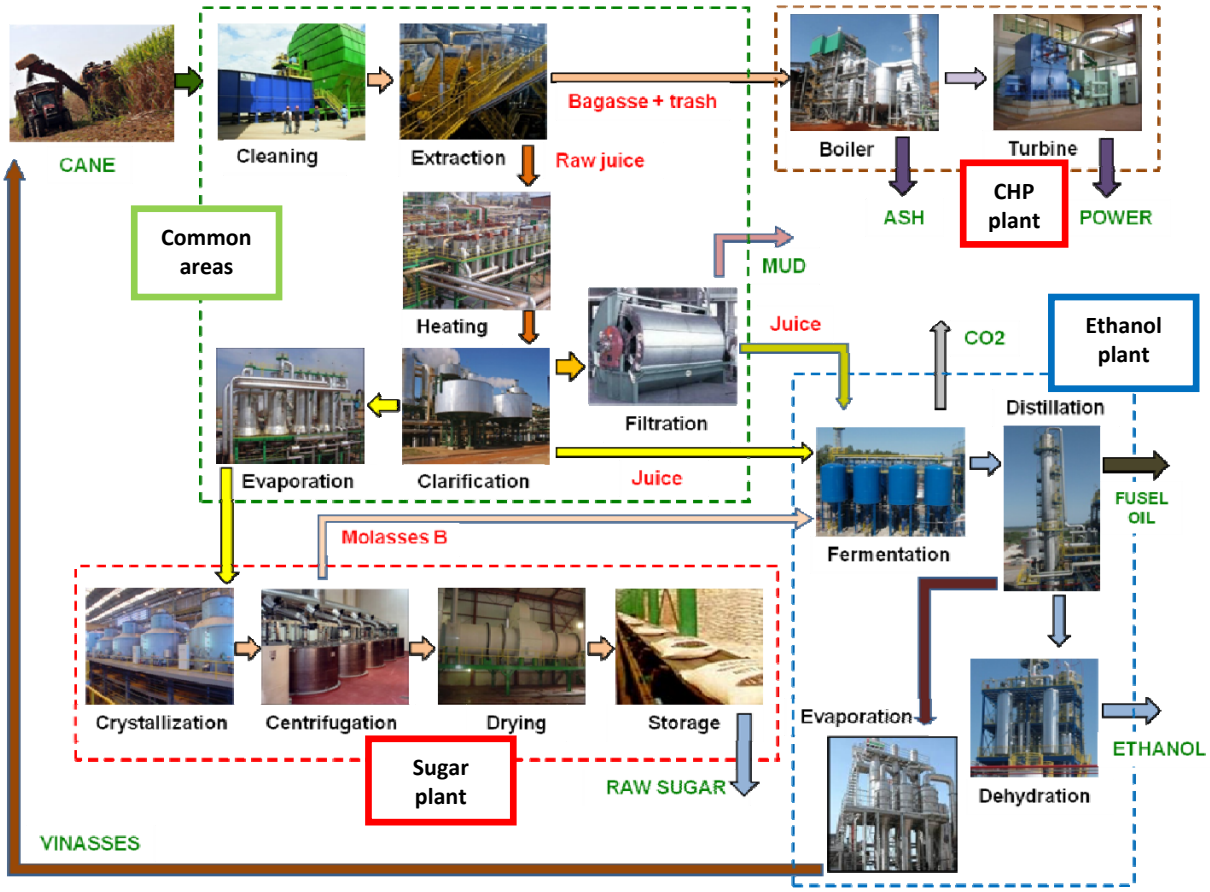


Fig. 1 – Plant configuration

- Fermentation: batch closed fermenters with plate heat exchangers for cooling are preferred. In the basic design, a decision will be made regarding possible use of yeast (also preferred) or vinasse recycling and, accordingly, the separation stage process. The selected option should guarantee a low amount of vinasse, high alcoholic degree in the mash and required efficiency and productivity.

- Distillation: for feasibility study estimations, a two columns system was considered with atmospheric distillation efficiency of 99%, with heating using vinasse and re-boiler in distillation column producing hydrous ethanol with 93/95% by volume.

- Dehydration: the method selected is pressure swing adsorption (PSA), using molecular sieves.

- Ethanol storage: There are two main storage facilities considered in the distillery: one shift tank and two final product storage tanks. As hydrous ethanol will be dehydrated, other tanks and appropriate connections should be considered. One tank is available at the petroleum refinery, where blending with gasoline will be done. If the export option is selected, an extra tank should be erected at the appropriate location from which the export will be done. Storage of produced ethanol for use during 200 days of the non-crop season has to be considered.

- Vinasse concentration and storage: vinasse will be concentrated to 35% or 55% for use in the fields just in the crop season. Three falling film evaporators can do the task; but also thermally accelerated short time evaporator (T.A.S.T.E.) will be assessed. In both cases, the final concentration could be reached in a forced circulation stage. A pond for storage and cooling is considered.

- For the CHP plant, a bubbling fluidised bed boiler is being considered, taking into account the biomass composition (bagasse and trash) and expected high moisture (>50%) in non-crop season as well as the possibility of using rice husk, which is available near the plant. A recognized BFBB provider did testing with the bagasse and trash for guarantees and elimination of eventual erosion problems.

- A pass-out condensing machine will be used, considering that it allows work during on- and off-crop seasons.

- Bagasse storage is considered in two ways: roofed storage, with capacity for short period, and open storage for off-crop season. Due to the rainy climate, the capacities and measures for mitigating deterioration of bagasse will be better studied. Bagasse drying is an option not yet studied.

- Waste treatment / stack emissions: a pond system is required for wastewater treatment. Treatment of wastewater from CIP systems should take into account the chemicals used in cleaning. The Project will adhere to Staatsolie's and/or World Bank standards regarding effluent treatment and stack emissions. Noise, SOx, NOx and PM regulations of Staatsolie will also be used.

- Connection to the grid: at this moment no transmission line is available.

3.4 The logistics

The domestic demand of about 40 million litres ethanol has to be transported to the refinery and the retailer's storage facilities, where it will be blended to produce E15 gasoline. Of the amount of 40 000 t of raw sugar, 10 000 t will be used locally and the rest needs to be exported. For the export, a facility needs to be built for storage and ship loading at the harbour.

The two main alternatives for transport are via water and via road. The costs for road and water transport were evaluated and road transport seems the best economic option. The main reasons are less investment required for road transport and low utilisation of barges. Transport via water seems only economically feasible if a vessel would be available that also can be used for other products, e.g. for diesel and gasoline from the same producer. This would be a synergy and maximises utilisation of such a vessel, which will result in lower transport costs.

3.5 Environmental impacts

The Environmental and Social Impact Assessment (ESIA) considered the sugarcane plantation and plant design to determine the impact on the environment and the community. In addition, a Green House Gas (GHG) assessment was done to determine the overall "greenness" of this project. No fatal flaws were determined. The assessment concluded that this project is eligible for Carbon Emission Reduction (CER) credits. Preliminary analysis indicates that the Project can potentially reduce more than 125 000 tonnes of CO_2 per year under the Clean Development Mechanism (CDM) framework. The process of registration for compliance with CDM has been started with the submission of the Project Identification Notification (PIN) to the designated authorities.

4. Conclusions

- For Staatsolie, the economic assessment was acceptable for continuation of the basic design and preparation of the Terms of Reference for the EPC contracts for the Agricultural and Industrial part separately.

- The next important milestones of this project are:
  - Finalize basic design and TOR for EPC preparation, September 2013
  - Final project approval, August 2013
  - Award EPC and sign contract, January 2014
  - Start up of operations, September 2016

- The selection of a combined ethanol and sugar plant adds flexibility, revenue increase and also a national food security element to this project. Staatsolie has been working on identifying secure markets for these products, as a key factor for success of this project.

- The production of power from trash and bagasse is essential for this project. From an environmental point of view, this means green, renewable electric power, instead of using non-renewable and environmental non-friendly fossil fuels to run the diesel generators in the power plants.

- The identified project risks will be better evaluated during the basic design and this will also lead to a more sound investment estimate as a basis for final decision.

- Lessons learned during this industrial solution study indicate the importance of hiring reputable experienced consultants for conducting such a study. This will also be a key success factor during EPC contracting.

- In the Vision 2020, Staatsolie plans to become a leader in sustainable development of resources. Many large oil and gas companies are reverting to renewable energy production. Staatsolie opts to follow this global trend in its pursuit to become an energy company with a global identity.

- This project is also of macro economical importance for Suriname considering the import substitution and the development of West Suriname due to increased employment and spin-off effects when the project will be realised.

5. Acknowledgements

Authors wish to acknowledge the valuable input for this industrial solutions study received from Dominique Van Dijk, Nawien Debipersad and Gregory Smart who worked in the agriculture solutions study, economic assessment and logistics evaluation respectively.

6. References

- F.O. Licht., Agra Informa (2009). World Ethanol Markets: the outlook to 2020. Licht, F. O., Zuckerwirtschaftlicher Verlag und Marktforschung GmbH. ISBN 0955965853, 9780955965852
- Hassuani, S. J., Leal, M. R. L. V. and Macedo, I. C. (2005). Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: PNUD-CTC, (Série Caminhos para Sustentabilidade). ISBN 85-99371-01-0.
- Graber, R. and Rothwell, G. (2005). Valuation and optionality of large energy industry capital investments. Proc. Crystall Ball User Conference. http://isdportal.oracle.com/
- Joyce, J. A. and Hobson, P.A. (2007). Monte Carlo simulation as a tool for technical modelling and project analysis. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 26: 1218-1227.
- Sabadí, R., de Armas, C., Fernández, V., Rodríguez, F., Torres, A. and de la Vega, E. (1991). A simulation system for sugar and by-product factories. 1. Description of process modules. Cuba Azúcar (in Spanish), 25 (4): 10-15.

DISEÑO DE LAS ETAPAS DE PRETRATAMIENTO DEL BAGAZO EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL CONSIDERANDO LAS CINÉTICAS DE LAS REACCIONES.

DESIGN OF BAGASSE PRETREATMENT STAGES IN ETHANOL PRODUCTION CONSIDERING THE REACTIONS KINETICS.

MSc. Yailet Albernas-Carvajal[1]
Dra. Gabriela Corsano[2]
Dr. Ronaldo Santos Herrero[1]
Dra. Leyanis Mesa Garriga[1]
Dra. Meilyn González Cortés[1]
Dr. Sc. Erenio González Suárez[1]

[1] Centro de Análisis de Procesos. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Teléf: (53-42) 211825-26 ext 104. E-mail: yailetac@uclv.edu.cu
[2] Instituto de Desarrollo y Diseño (CONICET-UTN), Dpto. de Matemáticas (FIQ-Universidad Nacional del Litoral), Santa Fe, Argentina. Teléf: ++54 342 4555229 int 3005. E-mail: gcorsano@santafe-conicet.gov.ar

RESUMEN

Se presenta la determinación de las expresiones de velocidad de la hidrólisis ácida y básica del bagazo de caña de azúcar empleando ácido sulfúrico, para la primera y NaOH con etanol en la segunda, obteniendo así los modelos cinéticos aproximados para cada etapa. Para el diseño experimental se elaboró un diseño factorial 2^2, para la primera etapa, variando la temperatura de reacción *(175-185ºC)* y la concentración de ácido sulfúrico *(0-1.25 %),* mientras que para la segunda etapa se elaboró un diseño 2^3, variando la temperatura *(175-195ºC)*, el porciento de etanol entre 10 y 45 % y el de NaOH entre 1.5 y 3.0 %. Para la determinación de las expresiones de velocidad se aplica el método diferencial de análisis de datos a través de la técnica de los mínimos cuadrados. Dichos modelos se emplean en la determinación del tiempo real de reacción química en los hidrolizadores discontinuos, para el posterior diseño de los reactores de las etapas. Se estudia la influencia de la variación de las diferentes variables, así como la de la variación de la temperatura través de la ecuación de Arrhenius.
Palabras Claves: Bagazo, Hidrólisis ácida, Hidrólisis básica, Cinética, Diseño.

ABSTRACT

The determination of the rate expressions of the acid and alkaline hydrolysis of sugarcane bagasse using sulfuric acid in the first, and NaOH with ethanol in the second stage was presented, obtaining the approximate kinetic models of each stage. For the experimental design a 2^2 factorial design was elaborated to acid stage, varying the reaction temperature *(175-185 ºC)* and the sulfuric acid concentration *(0-1.25%)*; while a 2^3 factorial design was elaborated to alkaline stage, varying the reaction temperature *(175-195 ºC)* ethanol percent between 10 and 45 % and NaOH percent in 1.5-3.0 %. For the determination of the rate expressions the differential method of data analysis is applied through of least squares technique. This model

is used in the determination of the true chemical reaction time in batch hydrolyser, for the later reactors design of these stages. The influence of different variables variation was studied, as well as the temperature variation through Arrhenius equation.
Key words: Bagasse, Acid hydrolysis, Alkaline hydrolysis, Kinetics, Design.

INTRODUCCIÓN

El bagazo de caña de azúcar es un residual del proceso azucarero que es renovable, barato y disponible en gran medida. La hidrólisis del bagazo para la obtención de la xilosa reporta dos ventajas fundamentales, la eliminación de un residual y la producción de un producto con un valor agregado que mejora la economía del proceso *Grethlein y Converse (1991); Aguilar y otros (2002)*. La xilosa es el principal azúcar hemicelulosa, la cual puede ser empleada como carbón y como fuente de energía en el proceso de fermentación, así como en la obtención de xilitol según *Kim y otros (1999)*.

El empleo de los ácidos, como HCl, HNO_3, H_2SO_4, permite que se liberen los protones que rompen los puentes heterocíclicos de éter entre los monómeros azucarados en la cadena polimérica formada por las hemicelulosas y la celulosa. El rompimiento de estos puentes libera varios compuestos, principalmente azúcares, tales como la xilosa, la glucosa y la arabinosa. Otros compuestos liberados son los oligómeros, el furfural y el ácido acético. La hidrólisis de la hemicelulosa puede realizarse sin dañar la celulosa debido a que los puentes de la hemicelulosa son más débiles que en la celulosa; es por ello que en la hidrólisis del bagazo cañero se obtiene un sólido residual formado por celulosa y lignina, que puede ser empleado en la producción de soluciones de glucosa en la obtención de ácido láctico, o etanol por fermentación o para la producción de pulpa para papel *Aguilar y otros (2002)*.

Las hidrólisis alcalinas con bases como NaOH, permiten la degradación de la lignina o deslignificación del bagazo, lo cual es muy favorable pues la lignina inhibe la posterior fermentación de los azúcares para la obtención de etanol.

Los diseños ingenieriles de estas etapas de fraccionamiento constituyen un reto. Los mecanismos de reacción de las hidrólisis tanto ácida como básica es muy complicado *Ramírez y Fraga (2010)*, lo cual se aborda en detalle posteriormente, por lo que debido a lo engorroso que resulta la modelación del mismo, el presente trabajo se presenta el desarrollo de modelos empíricos más sencillos, a partir de datos experimentales obtenidos, que permitan obtener los parámetros fundamentales para el diseño de las etapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

El bagazo empleado para el estudio provino de la Empresa Azucarera Amancio Rodríguez de la provincia de Las Tunas, Cuba. El mismo fue recogido y empacado manualmente y presentaba un 60 % de humedad y tenía una composición base que se presenta en la tabla I, que es el promedio de tres réplicas; la misma está expresada en términos de sus principales componentes en base al % de materia seca reportado por *Mesa y otros (2011b)*, y presentaba un tamaño de partícula menor de 1 cm.

Tabla I. Principales componentes del bagazo de caña de azúcar empleado en el estudio.

Componente	***%***
Glucosa	44.94 ± 0.23
Xilosa	28.24 ± 0.6
Lignina	18.93 ± 0.19
Extractivos	5.6 ± 0.12
Cenizas	2.29 ± 0.09

Pretratamientos ácido y básico

El pretratamiento con H_2SO_4 diluido tiene como objetivo solubilizar la fracción de hemicelulosa, ya que se ha reportado que mejora la eficacia del proceso organosolv en la etapa siguiente por la eliminación de esa fracción de la estructura lignocelulósica *Papatheophanus y otros (1995); Mesa y otros (2011a)*. Este método es eficiente en la solubilización de los azúcares de hemicelulosas, promoviendo pequeñas descomposiciones de los azúcares *Mussatto y Roberto (2004)*. Más del 50 % de este azúcar hemicelulosa es removida de la estructura del bagazo luego del pretratamiento ácido.
El bagazo original fue sumergido en H_2SO_4 diluido al 1.25 % v/v, una relación sólido líquido de 1:1 w/v de fibra seca, durante 40 min y 175 ºC, el tiempo de impregnación antes del pretratamiento fue de 24 horas. Después de la reacción el sólido residual fue separado del hidrolizado por filtración, lavado con agua hasta un pH neutral y secado a 40 ºC hasta obtener un contenido de humedad de 5 %; luego fue almacenado a 4ºC para las posteriores determinaciones analíticas. Esta etapa fue llevada a cabo en un reactor semipiloto de 10 L inyectado con vapor directo, para evaluar las posibilidades de escalado del proceso *Mesa y otros (2011a)*.
La segunda etapa de pretratamiento se lleva a cabo para la separación de la lignina por organosolvólisis con etanol. Las condiciones operacionales previamente optimizadas fueron: 185 ºC de temperatura, 60 minutos, 30 % v/v de etanol, una relación sólido líquido de 1:7 w/v de fibra seca y una concentración de NaOH de 3% w/w de fibra seca como lo apuntan *Mesa y otros (2010)*. Esta etapa se llevó a cabo en un reactor tipo Parr de 1 L de capacidad. Después del pretratamiento el residual sólido se separó del hidrolizado, se lavó con agua y se almacenó a 4 ºC hasta realizar las determinaciones analíticas y los experimentos de hidrólisis enzimática.

Métodos analíticos

Las composiciones del bagazo sin tratar y pretratado fueron determinadas de acuerdo con los métodos de *NREL (2004)*. El material pretratado (300 mg) fue hidrolizado con 3 mL, 72 % (v/v) de H_2SO_4 a 30ºC durante 60 min seguido por una dilución hasta 3 % H_2SO_4. Este material hidrolizado fue calentado a 120 ºC en autoclave por 60 min y el producto resultante fue filtrado. La concentración de glucosa en el filtrado fue determinada por fase normal HPLC empleando un dispositivo Varian equipado con un detector de índice de refracción y una columna Aminex HPX-87P, a 80 ºC, la fase móvil fue agua deionizada con un flujo de 0.4 mL/min. Todos las determinaciones analíticas fueron hechas en duplicado y lo que se muestran son los valores promedios *según Mesa y otros (2011b)*.

Estudio cinético de los pretratamientos del bagazo con H_2SO_4 y NaOH.

En este proceso, el sistema reactante es un sistema de dos fases sólido-líquido en el que las reacciones se llevan a cabo en la fase sólida. Tal como lo aborda *Levenspiel (1987)* de manera general y mas particular por *Carrasco (1991); Fengel y Wegene (1984); Harris (1952*) el complicado mecanismo de la reacción de hidrólisis incluye:

1. La difusión de los protones a través de la matriz lignocelulósica húmeda *(hacia el interior de la fibra de bagazo)*
2. Protonación del oxígeno en los puentes heterocíclicos entre los monómeros de azúcares
3. Rompimiento de los puentes de éter *(Reacción química en la fase sólida del bagazo)*
4. Generación de un carbocatión como intermedio.
5. Solvatación del carbocatión con agua
6. Regeneración del protón con cogeneración del monómero azucarado, oligómero o polímero dependiendo de la posición del puente de éter.
7. Difusión de los productos de la reacción hacia la fase líquida, si esta lo permite por su forma y tamaño.
8. Reinicio del segundo paso

Es por ello que debido a la gran dificultad para la modelación de estos procesos se trabaja en el desarrollo de modelos empíricos más sencillos; por lo que para la aproximación de las expresiones de velocidad de los pretratamientos ácido con H_2SO_4 y básico con NaOH y etanol se ensaya una reacción cuya expresión de la velocidad de reacción se expresa de la siguiente forma:

$$-\frac{dC_A}{dt} = K \cdot Ca^a \cdot Cb^b \tag{1}$$

Donde *a* y *b* son los órdenes de la reacción con respecto a los reactantes A y B respectivamente como lo explicó *Smith (1991)*.

Para determinar K, a, y b, se aplica *ln* a la expresión general de velocidad, de modo que se obtiene una ecuación del tipo $y = a_o + a_1X_1 + a_2X_2$, para obtener los coeficientes, la ecuación se resuelve por el método diferencial de análisis de datos a través de la técnica de los mínimos cuadrados explicado por *Levenspiel (1987)*. Para tener en cuenta el efecto de la temperatura se incluye la ecuación de Arrhenius como lo explican los clásicos *Levenspiel (1987)* y *Smith (1991)*.

$$K = K_o\, e^{-E_A/RT} \tag{2}$$

Se propone ensayar la siguiente ecuación también empleada por *(Ramírez y otros, 2010)*:

$$v = K_o\, e^{-E_A/RT} \cdot C_{Ac}{}^A \tag{3}$$

Donde: ***v:*** velocidad de reacción (Kg/Lmin), *Ko:* Constante cinética $(Kg/L)^{1-n}$ min^{-1}, E_A: Energía de activación (KJ/mol), *R:* Constante universal de los gases$8.3143*10^{-3}$ (KJ/molºK), *T:* Temperatura (ºK), C_{Ac}: concentración de H_2SO_4 (Kg/L).

Al aplicar logaritmo neperiano a la ecuación que se ensayó se obtuvo:

$$\ln v = \ln K_o - \frac{E_A}{R}\frac{1}{T} + A \cdot \ln\left(C_{Ac}\right) \tag{4}$$

que es de la forma lineal:

$$y = a_o + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 \tag{5}$$

Teniendo en cuenta que *"y"* es la velocidad de degradación de glucosa, de degradación de la xilosa o de desprendimiento de lignina, según el caso, se obtienen los modelos y los coeficientes de cada reacción.
El pretratamiento ácido fue desarrollado empleando un diseño de experimentos factorial 2^2 replicado para evaluar la influencia de las diferentes variables de operación. Los niveles de las variables fueron seleccionados a partir de resultados previos de *Mesa, (2011a)* así como *Mesa y otros (2011b)*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo de la hidrólisis ácida del bagazo.

En el desarrollo de la hidrólisis ácida las variables independientes ensayadas fueron:
X_1: inverso de la temperatura: 1/185 ºC – 1/175 ºC
X_2: % (v/v) de H_2SO_4: 1.25 % - 0 %
Las variables dependientes fueron: Glucosa degradada, Xilosa degradada o Lignina desprendida, según el caso tratado.
A continuación de muestra la matriz experimental planteada y la Glucosa y Xilosa medidos al final del pretratamiento; tomando como base de cálculo 100 Kg de material.

Tabla II. Matriz experimental con los niveles de azúcares al final del pretratamiento ácido.

Nro	X_1	X_2	*Gf (Kg)*	*Xf (Kg)*
1	(-)	(+)	44.71	12.72
1a	(-)	(+)	44.37	12.98
2	(-)	(-)	44.79	16.69
2a	(-)	(-)	44.71	16.88
3	(+)	(+)	41.82	1.632
3a	(+)	(+)	42.77	0.00
4	(+)	(-)	43.95	7.44
4a	(+)	(-)	44.33	6.85

La composición de la lignina luego del pretratamiento se toma el valor medio obtenido de Lf = 18.77 Kg, debido a que este pretratamiento tiene muy baja sensibilidad al desprendimiento de la misma y las variaciones en cada uno de los experimentos son despreciables.
Donde: Gf, y Xf son la glucosa y xilosa al final del experimento.

Desarrollo de la hidrólisis básica del bagazo.

Para el desarrollo experimental de la hidrólisis básica se elaboró un diseño factorial 2^3, donde X_1 es el inverso de la variación de la temperatura 1/T, X_2 es el % de etanol y X_3 es el % de NaOH.
Las variables independientes ensayadas fueron:
X_1: inverso de la temperatura: 1/195 ºC – 1/175 ºC
X_2: % de etanol: 45 % - 10 %
X_3: % de hidróxido de sodio: 1.5 – 3.0 %
La composición inicial del bagazo que se sometió a hidrólisis básica fue de 61.83 Kg de Glucosa, 6.17 Kg de Xilosa y 25.92 Kg de Lignina, tomando como base de cálculo 100 Kg de material.
Las variables dependientes fueron: Glucosa degradada, Xilosa degradada o Lignina desprendida, según el caso tratado.

A continuación de muestra la matriz experimental planteada y la Glucosa y Xilosa medidos al final del pretratamiento; tomando como base de cálculo 100 Kg de material.

Tabla III. Matriz experimental con los niveles de azúcares al final del pretratamiento básico.

Nro	X_1	X_2	X_3	*Gf (Kg)*	*Xf (Kg)*	*Lf (Kg)*
1	(-)	(-)	(-)	68.00	10.10	26.20
2	(+)	(-)	(-)	67.20	8.40	27.90
3	(-)	(+)	(+)	63.50	8.20	27.90
4	(+)	(+)	(+)	67.30	7.90	27.60
5	(-)	(+)	(-)	64.30	7.60	26.40
6	(+)	(+)	(-)	66.20	6.10	26.60
7	(-)	(-)	(+)	62.86	6.50	27.10
8	(+)	(-)	(+)	66.22	4.90	28.80

Donde: Gf, Xf y Lf son la glucosa, xilosa y lignina al final del experimento.

Aproximación de las expresiones de velocidad del pretratamiento ácido.

A partir de lo explicado previamente, se determinaron los modelos de las expresiones de velocidad aproximada para la degradación de la glucosa y la xilosa en la hidrólisis ácida. La expresión de la lignina no se determinó, pues como se explicó previamente esta etapa no es sensible a la degradación de la lignina.

Tabla IV. Modelo, coeficientes obtenidos y error relativo de las aproximaciones determinadas en el pretratamiento ácido

	Modelo	a_o *(ln Ko)*	a_1 *(-E_A/R)*	a_2 *(A)*	*Error (%)*
Glucosa	$\ln V_G = 69.19 - 30\,000 X_1 + 1.6 X_2$	69.19	- 30 000	1.6	1.4
Xilosa	$\ln V_X = 48.01 - 9899 X_1 + 4.63 X_2$	48.01	- 9 899	4.63	1.7

De modo que, aplicando la relación de linealidad del polinomio presentado en la expresión (4) con los modelos obtenidos y presentados en la tabla IV se pueden escribir las expresiones de velocidad para cada uno de los componentes como sigue:

Expresión de velocidad para la degradación de Glucosa

$$V_G = 1.12 \cdot 10^{30} e^{-29996.5/T} C_{Ac}^{1.6} \quad (Kg/L\min) \tag{6}$$

Expresión de velocidad para la degradación de Xilosa

$$V_X = 6.86 \cdot 1017 e^{-9899.8/T} C_{Ac}^{4.63} \quad (Kg/L\min) \tag{7}$$

En todos los casos las unidades de medida empleadas son:
E_A=KJ/mol, T=ºK, Ko= $(Kg/L)^{1-n}min^{-1}$, CAc = Kg/L, R= $8.3143*10^{-3}$ KJ/molºK

Como se puede apreciar en los datos de la tabla III, la mayor degradación de esta etapa ocurre en la degradación de la xilosa, lo cual está en plena concordancia con lo planteado por *Aguilar y otros (2002)*, *Mesa y otros (2011 b)*, por lo que se puede afirmar que el paso o reacción controlante o predominante de este proceso es la degradación de la xilosa que fue explicado previamente y abordado también por *Aguilar (2010); Mesa y otros (2011a)*. Esta reacción presenta una energía de activación de 82.31 KJ/mol, valor que como se puede apreciar en la tabla V está en el rango de los valores encontrados por otros autores.

Tabla V. Valores de Energía de Activación de la degradación de la xilosa encontrados en diferentes trabajos.

Ácido empleado	***Material***	***E_A (KJ/mol)***	***Referencia***
HCl	Residuos agrícolas	92.30	*Parajó (1995)*
H_2SO_4	Maderas duras	80.30	*Eken-Saraçoğlu y otros (1998)*
HCl	Bagazo	102.00	*Bustos y otros (2003)*
HNO_3	Bagazo	85.60	*Rodríguez-Chong y otros (2004)*
H_2SO_4 (2 %)	Bagazo	101.35	*Aguilar y otros (2002)*
H_2SO_4 (diluido)	Bagazo	83.80	*Lavarack y otros (2002)*
H_2SO_4 (1.25 %) y vapor	*Bagazo*	*82.31*	*Este trabajo*

El hecho de que el valor obtenido esté por debajo de la mayoría obtenido para bagazo, puede estar dado por una diferencia en la concentración de ácido, y también pueden estar realizando influencia en alguna medida otros factores físicos como el efecto de la difusividad de los azúcares degradados y la diferencia en el tipo de bagazo pretratado, sin obviar el efecto del vapor.

Aproximación de las expresiones de velocidad del pretratamiento básico.

Para obtener las expresiones de velocidad del pretratamiento básico, se siguió el mismo principio aplicado para el ácido, en la siguiente tabla VI, se muestran los modelos obtenidos.

Tabla VI. Modelo, coeficientes obtenidos y error relativo de las aproximaciones determinadas en el pretratamiento básico

	Modelo	***a_o (ln K)***	***a_1 ($-E_A/R$)***	***a_2 (E)***	***a_3 (A)***	***Error relat %***
Glucosa	$\ln V_G = 10.45 - 7660X_1 - 0.069X_2 - 0.79X_3$	10.45	7660	0.069	0.79	2.87
Xilosa	$\ln V_X = 19.67 - 9480X_1 + 0.389X_2 + 0.45X_3$	19.67	9480	0.398	0.45	2.03
Lignina	$\ln V_L = -1.417 - 1280X_1 + 0.505X_2 - 0.203X_3$	-1.417	1280	0.505	0.203	0.80

De modo que las expresiones de velocidad para cada uno de los componentes se pueden plantear como sigue:

Expresión de velocidad para la formación de Glucosa

$$V_G = 3.45 \cdot 10^4 \, e^{-7661/T} \, C_{et}^{\,-0.069} \, C_{NaOH}^{\,-0.79} \; (Kg/L\min) \qquad (8)$$

Expresión de velocidad para la degradación de Xilosa

$$V_X = 3.48 \cdot 10^8 \, e^{-9480/T} \, C_{et}^{\,0.389} \, C_{NaOH}^{\,0.45} \quad (Kg/L\min) \tag{9}$$

Expresión de velocidad para el desprendimiento de Lignina

$$V_L = 0.2424 \, e^{-1280/T} \, C_{et}^{\,0.505} \, C_{NaOH}^{\,-0.203} \quad (Kg/L\min) \tag{10}$$

En todos los casos las unidades de medida empleadas son:
E_A=KJ/mol, T=ºK, Ko= $(Kg/L)^{1-n}min^{-1}$, C_{et}, C_{NaOH} = Kg/L, R= $8.3143*10^{-3}$ KJ/molºK

Tabla VII. Valores de Energía de Activación de la degradación de la lignina encontrados en diferentes trabajos.

Tipo de pretratamiento	***Material***	***E_A (KJ/mol)***	***Referencia***
A la NaOH	Abeto	32,00	*Aziz y Goyal (1993)*
Kraft	Abeto	32,20	*Nuñez y Reinoso (1990)*
Kraft	Pino	34,26	*Srinivasan y Gopal (1997)*
Hidroalcohólico	Abeto	28,10	*Larocque y Maass (1941)*
Hidroalcohólico	Eucaliptus	33,00	*Pereira y otros (1986)*
Hidroalcohólico	Bagazo	29,30	*Nuñez (1992)*
Hidroalcohólico	Pino	30,00	*April y otros (1992)*
Hidroalcohólico con NaOH	Bagazo	24,98	*González (2004)*
Hidroalcohólico con NaOH y vapor	*Bagazo pretratado*	*10.64*	*Este trabajo*

El valor bajo de la energía de activación con respecto a los demás reportados, apunta a que no sólo la etapa de reacción química es la controlante en este proceso, sino que la difusión de los productos también juega un papel fundamental en el proceso de deslignificación y también este elemento controla este proceso. Además los pretratamientos reportados por otros autores son con bagazo crudo y este bagazo del presente trabajo ya fue pretratado ácidamente, lo cual hace que aumente la difusión de los productos, junto con el efecto marcado del vapor que aumenta también la difusividad, todo ello lleva a que disminuya la energía de activación. Es importante hacer notar que en los estudios cinéticos que se reportan en la literatura se da especial atención a la etapa de reacción química restando importancia a la etapa de difusión de los productos de la reacción, sin embargo las dos etapas son importantes en la deslignificación del pretratamiento básico, y por tanto debe dársele el mismo grado de importancia al estudio cinético.

Determinación de la reacción controlante de la velocidad global.

El objetivo de este pretratamiento ácido es la solubilización de los azúcares de hemicelulosas, que para el caso corresponde a la xilosa, por lo que esta reacción es la que considerará como la controlante en el pretratamiento ácido para los efectos de diseño. En el pretratamiento básico el objetivo es la separación de la lignina ya que esta inhibe la formación de azúcares para su posterior fermentación, por lo que esta es la reacción que se considerará la controlante en el pretratamiento básico para los efectos de diseño.

Cálculo del tiempo real de reacción química.

Teniendo en cuenta que los experimentos realizados se hicieron de forma discontinua, en el presente epígrafe se determina el tiempo de reacción química, considerando que el reactor está perfectamente agitado, o sea que todos los puntos tienen la misma composición, el volumen de control para realizar el balance es

todo el reactor *Levenspiel (1987); Smith (1991); López y Borzacconi (2009)*. Planteando la ecuación de diseño del reactor discontinuo o a batch:

$$r_A V = -\frac{dN_A}{dt} \tag{11}$$

Teniendo en cuenta que $N_A = N_{Ao}(1 - X_A)$ resulta:

$$r_A V = N_{Ao}\frac{dX_A}{dt} \tag{12}$$

$$t = -\int_{C_{Ao}}^{C_A} \frac{dC_A}{-r_A} \tag{13}$$

Integrando se obtiene la ecuación de diseño para el reactor discontinuo:

$$t = N_{Ao}\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{-r_A V} \tag{14}$$

Como el volumen de reacción permanece constante puede expresarse en función de la concentración de reactivo $C_A = {}^{N_A}\!/_{V}$:

$$t = C_{Ao}\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{r_A} = C_{Ao}\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{K{C_A}^A} \tag{15}$$

Teniendo en cuenta que la concentración del reactante se puede escribir en función de su conversión como sigue:

$${C_A}^A = {C_{Ao}}^A (1 - X_A)^A \tag{16}$$

Combinando con la ecuación 2, el tiempo de reacción química puede ser calculado mediante la expresión:

$$t = C_{Ao}\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{K_o e^{-{E_A}/{RT}} {C_{Ao}}^A (1 - X_A)^A} \tag{17}$$

Esto es para el caso del pretratamiento ácido, para el básico, sería:

$$t = \frac{C_{Ao}}{K{C_{Ao}}^m {C_{Bo}}^n}\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1 - X_A)^m \left(1 - \frac{{b}/{a}\, X_A}{M}\right)^n} \tag{18}$$

Para esta determinar el tiempo fue empleado el Software Profesional *Mathematica* versión *8.0.0*, en la solución de la integral, obteniendo:
t = 11.76 min para un 90 % conversión *(Pretratamiento ácido)*
t = 21.85 min para un 90 % conversión *(Pretratamiento básico)*

Determinación de los volúmenes de las etapas de pretratamiento para el proceso a escala industrial.

Para determinar el volumen necesario en la etapa de pretratamiento ácido en un proceso a escala industrial para la obtención de 500 HL/d de etanol a partir de los resultados reportados por *Mesa (2010)* y *Morales (2012)*, se plantea la siguiente expresión para el volumen de reactores discontinuos, según la metodología de *Levenspiel (1987)*:

$$V = C\,\text{arg}\,a\,volumétrica\,del\,reactor \cdot t_{total} \tag{19}$$

$$t_{total} = t_{c\,\text{arg}\,a} + t_{calentamiento} + t_{reacción} + t_{enfriamiento} + t_{desc\,\text{arg}\,a} \tag{20}$$

A continuación se muestran los tiempos estimados para cada operación:

Tabla VIII. Tiempos para cada operación en el reactor

Operación	***Tiempo ácida (min)***	***Tiempo básica (min)***
Carga	45	45
Calentamiento	35	35
Reacción *(calculado)*	11.76	21.85
Enfriamiento	20	20
Descarga	45	45
Tiempo total	*145*	*167*
Tiempo total	***2.4 h***	***2.8 h***

Para la etapa ácida se propone que esta operación se opere diez batch diarios y que en cada batch operarán dos reactores en paralelo fuera de fase.

Tabla IX. Carga másica de los componentes en la etapa ácida.

Componente	***Carga***	***UM***
Bagazo	260 666	Kg/d
H_2SO_4	3 258	
Agua	260 666	
Vapor	58 008	

El volumen necesario para la etapa ácida por batch es de 66 m^3 proponiendo un 20 % de sobrediseño según las recomendaciones de *Levenspiel (1987)*, por lo que cada reactor tiene un volumen de 40 m^3.

Para la etapa básica se propone que esta operación se opere cinco batch diarios y que en cada batch operarán seis reactores en paralelo fuera de fase.

Tabla X. Carga másica de los componentes en la etapa básica.

Componente	***Carga***	***UM***
Bagazo pretratado ácido	154229.68	Kg/d
NaOH	58743.7	
Etanol	324581,11	
Agua	911937.45	
Vapor	20793.77	

El volumen necesario para la etapa básica por batch es de 240 m^3 proponiendo un 20 % de sobrediseño según las recomendaciones de *Levenspiel (1987)*, por lo que cada reactor tiene un volumen de 40 m^3.

CONCLUSIONES

Mediante los modelos empíricos ensayados para la determinación de las expresiones de velocidad, aplicando el método diferencial de análisis de datos experimentales, a través de la técnica de los mínimos cuadrados, se obtuvieron dichas expresiones que permitieron la determinación de los parámetros fundamentales de diseño de las etapas de pretratamiento operando en forma discontinua. Para la etapa ácida se obtuvo un tiempo de reacción química de 11.76 min para un 90 % de conversión y para la básica de 21.85 min para igual conversión. Estableciendo una operación de diez batch diarios para la etapa de hidrólisis ácida, en el proceso industrial de obtención de etanol a partir de hidrolizado de bagazo, con dos reactores operando en paralelo fuera de fase, los mismos deben tener un volumen de 40 m^3 cada uno, para la hidrólisis básica se proponen cinco batch diarios con seis reactores en paralelo fuera de fase. La energía de activación de etapa ácida es de 82.31 KJ/mol, y en la etapa básica es de 10.64 KJ/mol valores que se encuentran en el rango de los reportados en la literatura.

REFERENCIAS

- Aguilar, R; Ramírez J; Garrote G and Vázquez M. (2002), Kinetic study of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse. *Journal of Food Engineering*, 55, pp, 309-318.
- Aguilar N. (2010), Kinetic model of Hydrolysis of Sugarcane Waste. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20, 2, pp, 5-18.
- April G; Bharoocha J; Sheng J. (1992), Prehydrolysis achieves higher organosolv delignification. *Tappi Journal*, February, 65, No. 2.
- Aziz S and Goyal G. (1993), Kinetics of delignification from mechanistic and process control point of view in solvent pulping processes. *Pulping Conference Proc*., Atlanta, GA, 3: pp, 917-920.
- Bustos G; Ramírez J; Garrote G and Vázquez M. (2003), Modeling of the hydrolysis of sugarcane bagasse with hydrochloric acid. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 104, pp, 151–68.
- Carrasco F. (1991), Fundamentos de la producción de furfural. *Afinidad*, 48, pp, 183-189
- Eken-Saraçoğlu N; Ferda D; Güneş D; and Çavuşoğlu H. (1998), A comparative kinetic study of acidic hemicelluloses hydrolysis in corn cob and sunflower seed hulls. *Bioresource Technology*, 65, pp, 29-33
- Fengel D and Wegener G. (1984), Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions. *Berlín: Walter de Gruyter*.
- González M. (2004), Impacto global de una tecnología más limpia en la fabricación de papel para ondular. *Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas*, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Cuba
- Grethlein H and Converse A. (1991), Common aspects of acid prehydrolysis and steam explosion for pretreating wood. *Bioresource Technology*, 36, pp, 77 – 82.
- Harris E. (1952), Wood hydrolysis. *Wood chemistry*. 852
- Kim J.H; Ryu Y.W and Seo J.H. (1999), Analysis and optimization of two-substrate fermentation for xylitol production using Candida tropicalis. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 22, 3, pp, 181–186.
- Larocque G. L and Maass O. (1941), The mechanism of the alkaline delignification of wood. *Can J Res* 19 B(1) pp, 1-16.
- Lavarack B.P; Griffin G.J and Rodmanc D. (2002), The acid hydrolysis of sugarcane bagasse hemicelluloses to produce xylose, arabinose, glucose and other products. *Biomass and Bioenergy*, 23, pp, 367-380.
- Levenspiel O. (1987), Chemical Reaction Engineering, an Introduction to the design of Chemical Reactors. Ediciones Repla.S.A.
- López I; Borzacconi L. (2009), Notas del curso de Introducción al diseño de Reactores.

- Mesa L. (2010), Estrategia Investigativa para la Tecnología de Obtención de Etanol y Coproductos del Bagazo de la Caña de Azúcar. *Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas*, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Cuba.
- Mesa L; González E; Cara C; Ruiz E; Castro E and Mussatto S.I. (2010), An approach to optimization of enzymatic hydrolysis from sugarcane bagasse based on organosolv pretreatment. *Journal Chemical Technology and Biotechnology,* 85, pp, 1092-1098.
- Mesa L; González E; Cara C; González M; Castro E and Mussatto S.I. (2011a), The effect of organosolv pretreatment variables on enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse. *Chemical Engineering Journal.* 168, 3, pp, 1157-1162.
- Mesa L; González E; Romero I; Ruiz E; Cara C and Castro E. (2011b), Comparison of process configurations for ethanol production from two-step pretreated sugarcane bagasse. *Chemical Engineering Journal*, 175, pp, 185-191.
- Morales M. (2012), Estrategia para la reconversión de una industria integrada de azúcar y derivados para la producción de etanol y coproductos a partir del bagazo. *Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas*, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Cuba.
- Mussatto S.I; Roberto I.C. (2004), Alternatives for detoxification of diluted-acid lignocellulosic hydrolyzates for use in fermentative processes: a review. *Bioresource Technology*, 93, pp, 1-10.
- NREL. (2004), Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO. LAP002.
- Nuñez C and Reinoso M. (1990), Deslignificación del bagazo en el pulpado hidroalcohólico. Relación entre el No de Kappa y lignina residual. ATIPCA. *26° Congreso Técnico sobre celulosa y papel*. Buenos Aires. Argentina. 12-17 de Noviembre.
- Nuñez C. (1992), Pulpado Hidroalcohólico de Eucaliptus grandis, deslignificación, catalizadores y ligninas.
- Papatheophanus M.G; Koullas D.P and Koukios E.G. (1995), Alkaline pulping of prehydrolysed wheat straw in aqueous-organic solvent systems at low temperatures, *Cell Chem. Tech*. 29, pp, 29-40.
- Parajó J.C; Santos V y del Río F. (1995), Hidrólisis de la fracción hemicelulósica de la Madera de pino I. Cinética y distribución de productos en operación a presión atmosférica. *Afinidad*, 52, pp, 162 – 170.
- Pereira H; Oliveira M. F and Miranda I. (1986). Kinetics of ethanol-water pulping and pulp properties of eucalyptus globulus lab. *Appita* 39(6), pp, 455-458.
- Ramírez M; Fraga E. (2010), Comparative Modelling and Optimization of Different Pretreatment Technologies for Bioethanol Production. *IV International Symposium on Chemistry (SIQ´2010) and II Latin-American Seminar on Life Cycle Analysis*. Santa Clara June 1st to June 4th.
- Rodríguez-Chong A; Ramírez J.A; Garrote G and Vázquez M. (2004), Hydrolysis of sugar cane bagasse using nitric acid: a kinetic assessment. *Journal of Food Engineering* 61, 2, 143–152.
- Smith J. M. (1991), *Chemical Engineering Kinetics*. McGraw-Hill Book Company. ISBN: 0-07-058710-8.
- Srinivasan V; Gopal K. (1997), Dynamic modeling of kraft pulping of southern pine based on on-line liquor analysis. *Tappi Journal*, 80, No 3. March.

“ESTADO DEL ARTE SOBRE DETERMINACIONES DE CARBAMATO DE ETILO Y LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN LEGISLADOS INTERNACIONALMENTE EN BEBIDAS FERMENTADAS Y DESTILADAS”

“ART STATE ABOUT CARBAMATE ETHYL DETERMINATIONS AND THE LEVELS OF CONCENTRATION REGULATED INTERNATIONALLY IN THE FERMENTED DRINKS AND DISTILLED”

Autores: MSc Magdalena Lorenzo Izquierdo, Olga Porto Ruz.

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

Resumen

El carbamato de etilo (CE) de fórmula química $H_2NCOOC_2H_5$ es también denominado uretano, es el éster etílico del ácido carbámico y aunque se conoce su potencial carcinogénico en animales de experimentación, la información en humanos todavía puede considerarse insuficiente, lo que incrementa y justifica el interés de su investigación.

Para la determinación analítica del CE se han propuesto varias metodologías, la mayoría de ellas con el uso de GC por el carácter volátil del analito, acoplada a diferentes detectores como el espectrómetro de masas - CG-MS, detección selectiva para nitrógeno/fósforo, detector electrolítico de conductividad de Hall, detector de Infra-rojo por transformada de Fourier, y detección por luminiscencia. El detector de masas acoplado al cromatógrafo de gases (CG-MS) ha sido preferido por ser selectivo, rápido, y no requiere de purificación y extracción de la muestra, en algunos casos se utiliza la microextracción en fase sólida (SPME) con diferentes tipos de fibras como método de tratamiento de la muestra. Se han reportado estas determinaciones para matrices muy variadas de vinos, grapas, aguardientes, saque entre otros.

El Comité Codex de la FAO/OMS sobre aditivos alimentarios y contaminantes estableció límite máximo para la presencia de carbamato en las bebidas fermentadas y destiladas.

Teniendo en cuenta el rigor con el que se está trabajando internacionalmente nos proponemos trabajar con urgencia en el desarrollo del método analítico para la determinación de este analito en nuestras condiciones, con la finalidad de mantener los niveles de CE en los parámetros reglamentados.

Palabras clave: carbamato de etilo, bebidas alcohólicas, cromatografía gaseosa- espectrometría de masas , microextracción en fase sólida (SPME).

Summary

Ethyl carbamate (CE), also known as carbamic acid ethyl ester or urethane (H2NCOOC2H5), is a known genotoxic carcinogen in experimentation animals, that is found in various alcoholic beverages and the information in human can still be considered insufficient, what increases and it justifies the interest of its investigation.

Many analytical techniques have been developed for determination and quantification of EC most of them with the use of GC for the volatile character of the sample such as, GC-flame ionization detection (FID), GC- mass spectrometry, GC thermionic specific (NPD), GC- Hall electrolytic conductivity detector (HECD), Fourier transform infrared (FTIR), and fluorescence detector (FLD) coupled high performance liquid chromatography. Mass spectrometer detector combined to gas Chromatography (CG-MS) is the most of them because to be selective, quick, and it doesn't require of purification and extraction of the sample, solid – phase microextration (SPME) with different kind of fibber is a technique used for sample treatment. These determinations have been reported in different matrices in wines, liquors, spirits, grape and others.

The Committee Codex of the FAO/OMS has more than enough alimentary preservatives and pollutants it established maximum limit for the carbamate presence in beverages and spirit.
Internationally many researchers are working in these topics, if for that our work will be urgency in the development of the analytic method for the determination of EC in our conditions, with the purpose of maintaining the levels in the regulated parameters.

Key words: ethyl carbamate, alcoholic beverages, Gas Chromatography-Mass Spectrometric, solid –phase microextration (SPME).

Desarrollo

Los congéneres son sustancias volátiles formadas junto al etanol durante la fermentación de las bebidas espirituosas.

El análisis completo es muy complejo y pueden clasificarse atendiendo a su concentración en:
1.-Volátiles mayoritarios. Aquellos que se encuentran en concentraciones suficientes para ser detectados por inyección directa en un cromatógrafo gaseoso. Su concentración mínima varía de 0.5 a 5 mg/litro.

2.-Volátiles minoritarios. Aquellos cuya concentración habitual es inferior al rango de 0.5 - 5.0 mg/litro y deben ser concentrados antes de realizar el análisis por CG. Salvo casos especiales el detector de elección es el de ionización por llama de Hidrógeno (FID)

Por ser sustancias volátiles la técnica de análisis más indicada es la Cromatografía de Gases, por que es capaz de proporcionar muy buenas separaciones (incluso isómeros), además de ser la que más compuestos determina por unidad de tiempo. Dierksmeier, (2005).

Las bebidas destiladas presentan diversos congéneres volátiles a los que se le atribuye gran importancia en el aroma y la calidad de las mismas. Estos pueden ser detectados y cuantificados, para su control de calidad con análisis que completan la información para la caracterización con descriptores químicos que distinguen a los alcoholes, aguardientes y rones.

Por otra parte la identificación y cuantificación del compuesto con actividad carcinogénica como el carbamato de etilo (C.E.) o el metanol que en altas concentraciones es altamente tóxico ha conducido a numerosos estudios para entender mejor su formación y buscar soluciones para eliminarlos o reducir su contenido .Blanco I., (2008)

Características del carbamato de etilo (CE)

El carbamato de etilo (CE) de fórmula química H2NCOOC2H5 es también denominado uretano, es el éster etílico del ácido carbámico y aunque se conoce su potencial carcinogénico en animales de experimentación, la información en humanos todavía puede considerarse insuficiente, lo que incrementa y justifica el interés de su investigación.

Su presencia es indeseable en alimentos, aunque el mismo no contribuye de forma negativa en sus propiedades sensoriales

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.

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, el fosfato de carbamilo y los cianatos

Técnicas analíticas que detectan el CE

Para la determinación analítica del CE se han propuesto varias metodologías, la mayoría de ellas con el uso de GC por el carácter volátil del analito, acoplada a diferentes detectores como el espectrómetro de masas - CG-MS.

Detector electrolítico de conductividad de Hall, se describe por Conacher y colaboradores en el que se reporta el uso del detector de conductividad electrolítica de Hall y el uso de la cromatografía gaseosa con columna capilar.

La columna usada fue una DBWAX de 30m x 0.32mm d.i.; la determinación se realizó utilizando un programa de temperatura del horno que se inicia con una temperatura de 50°C, la cual se mantiene durante dos minutos, después aumenta hasta 140°C a 2°C/min. y se mantiene esta temperatura 10 min., nuevamente se aumenta a 20°C/min. hasta 250°C y se mantiene 10 min. a esta temperatura.

Se han realizado análisis cromatográficos para identificación y cuantificación de carbamato de etilo en 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 utiliza 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 con un flujo de 1,5 mL/min.

Las muestras se analizaron 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

En la Fig.1 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 muestras de aguardiente.

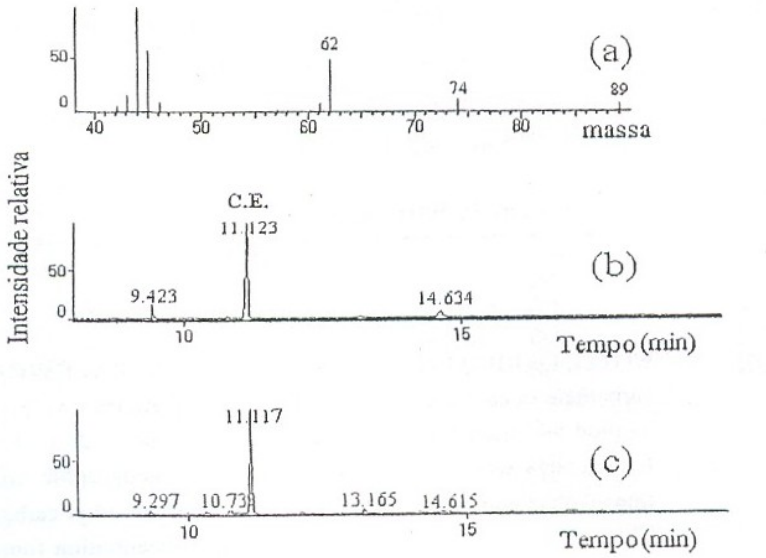


Fig.1 Espectro de masas por impacto electrónico con monitoreo del ión selectivo

Para la confirmación de la presencia de carbamato de etilo en la muestra se usó la detección por un espectrómetro de masas en el modo de impacto electrónico. Los límites de detección alcanzados por el detector de Hall fueron de 5 mg/kg y de 0.5 mg/kg para detección por espectrometría de masas

Una metodología analítica fue desarrollada por Perestrelo y colaboradores, (2010) con SPME combinada con cromatografía de gases y espectrometría de masas de tiempo de vuelo en 20 muestras de vinos fortificados Con detector de Infra-rojo por transformada de Fourier, y detección por luminiscencia, Lachenmeier, D y colaboradores ,(2011) desarrollaron un método para determinar CE en bebidas a partir de frutas con semilla.

El método de detección por cromatografía líquida (LC) con detectores masa-masa (MS/MS) combinando con la extracción en fase sólida (SPE) desarrollado por Philippus y colaboradores (2011)se reporta como un método rápido, robusto y de procedimiento simple, se lograron valores de recobrado de 94.5%, con limites de detección (LODs) entre 0.25 y 0.63 mu g l(-1) en las diferentes matrices

Un estudio bibliográfico realizado por Martínez y col, en el 2003 refiere los trabajos, realizados Ming-liang, Fu y colaboradores que desarrollaron un método para vino de arroz por cromatografía de líquidos con detección de fluorescencia y Madrera y colaboradores también utilizaron este detector en matriz de sidra; de Canas y colaboradores nos presenta la determinación de carbamato de etilo en bebidas alcohólicas y en salsa de soya por cromatografía gaseosa con detección selectiva de masas (GC/MSD). En este estudio realizado en 17 laboratorios se han aplicado las siguientes técnicas:

Las Columnas de extracción en fase sólida han sido usadas para la extracción de líquidos con cloruro de metileno.

La detección selectiva de masas ha comenzado a estar recientemente más disponible a pesar de su elevado costo, siendo ahora de esta manera el sistema de detección a elegir para la cuantificación y la confirmación de la identidad de carbamato de etilo. Los iones que aparecen a m/z 89, 74 y 62 son usados para la confirmación de la presencia de carbamato de etilo, principalmente el último es el más reportado.

El CG-MS ha sido preferido por ser selectivo, rápido, y no requiere de purificación y extracción de la muestra Se han reportado estas determinaciones para matrices muy variadas de vinos, grapas, sidras, aguardientes, saque, entre otros.

Entre los tratamientos de muestras se reporta el uso de la extracción en fase sólida y la microextracción.

La determinación de CE en vinos de uvas utilizando microextracción en fase sólida con fibras del tipo carbowax/divinylbenzeno (con 30 min de exposición a 70 ◦C) utilizan cloruro de sodio para favorecer la ocurrencia del salting out a pH neutro

En otros casos se ha utilizado el sulfato de sodio anhidro con esta misma finalidad. Fibras polietilen glicol/ aceite de silicona con grupos hidroxi para favorecer la transportación del CE al espacio de cabeza eliminar el efecto matriz fueron utilizadas por Zhang Ying y colaboradores (2008) En sus trabajos Cardoso, A. M. utiliza fibras de carbono con ácido metacrilico-anilino trietoxi silicona con un diseño factorial que incluye selección de parámetros como tiempo de extracción, temperatura, concentración de la sal, tiempo de desorción y pH.

Scollo D y Col, (2011) siguiendo la metodología oficial de la de la AOAC (2007), realizaron determinaciones de C.E. en matrices de bebidas destiladas y saque utilizando un cromatógrafo de gas marca Thermo modelo Trace GC Ultra, acoplado a detector másico Thermo modelo DSQ-2Columna microbore BPX 70 de SGE, conteniendo 79% de ciano-propilpolifenilsiloxano, de carácter polar. Su longitud es de 30 metros x 0,25 mm de diámetro interno y 0,25 μm de espesor del film (fase estacionaria). Siguiendo las especificaciones del método oficial AOAC, el CE tiene un tiempo de retención aproximadamente a los 15 minutos mientras que el estándar interno carbamato de propilo está aproximadamente a los 20 minutos.

Columnas spe de 50 mL Chem Elut de Varian, con un diámetro de partícula de 80-100 mesh (88%), 0,03-0,08 mesh (0,05%) presentando una saturación del agua absorbida en el rango 245-405%. Los estándares de carbamato de etilo o uretano y carbamato de propilo son Sigma y tienen una pureza mínima del 99% respectivamente (TLC y GC).

Leyes que regulan las concentraciones de CE en bebidas

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.

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)

El Comité Codex de la FAO/OMS sobre aditivos alimentarios y contaminantes estableció en 1993 un máximo de referencia de 30 ppb en vinos de mesa. La legislación en los Estados Unidos regula su límite a un máximo de 15 ppb (US FDA, 2000) en las bebidas fermentadas y destiladas su valor no debe ser superior a 125 ppb

Es su 64º reunión en febrero de 2005, el Comité Experto FAO/OMS en aditivos alimentarios (JEFCA) consideró especial atención para el carbamato de etilo y elaboró un informe en el que se aconseja garantizar las buenas prácticas de elaboración con el objetivo de reducir el contenido en carbamato de etilo en bebidas alcohólicas (Food Standards Agency, 2005)

Conclusiones

Teniendo en cuenta el rigor con el que se está trabajando internacionalmente nos proponemos: como proyecciones a seguir trabajar en el desarrollo del método analítico para la determinación de este analito en nuestras condiciones.

Realizar un muestreo representativo en las destilerías y roneras del grupo AZCUBA y tener una visión general de nuestras producciones, principalmente bebidas que tengas fines exportables.

Realizar posibles sugerencias de buenas prácticas para la producción de las bebidas destiladas con la finalidad de mantener los niveles de CE en los parámetros reglamentados.

Referencias

1. Dierksmeier, A. (2005). Libro sobre Métodos de separación.
2. Blanco, I.; Lorenzo, M.; Ataide da Silva, A. (2008). Estudio preliminar del carbamato de etilo en aguardientes y bebidas alcohólicas destiladas. Libro Resumen del congreso X Diversificación 2008 pp. 204-209. ISBN 978-959-7165-16-3.
3. Perestrelo, R.; *et al.* (2010): Integral de dos dimensiones cromatografía de gases con espectrometría de masas de tiempo de vuelo en combinación con la microextracción en fase sólida como una herramienta poderosa para la cuantificación de etilo carbamato en los vinos fortificados. El estudio de caso del vino de Madeira Journal of Chromatography: 1217(20) pp. 3.441-3.445. DOI: 10.1016/j.chroma.2010.03.027
4. Lachenmeier, D. W.; *et al*. (2011). La calidad de manera ilegal y el alcohol de producción informal en Europa: resultados del proyecto ÁNFORA Adicciones. 23 (2) pp. 133-140.

5. Philippus, A.; *et al.* (2011). Development of a novel solid-phase extraction, LC-MS/MS method for the analysis of ethyl carbamate in alcoholic beverages: application to South African wine and spirits. Food Additives and Contaminants Part A-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment. 28 (7) pp. 826-839 DOI: 10.1080/19440049. 2011.568010
6. AOAC (Official Methods of Analysis), (2007). Ethyl carbamate in alcoholic beverages and soy sauce, Official method 994.07
7. Martinez, A.J. y Blanco, I. (2000). Formación e identificación de carbamato de etilo en bebidas alcohólicas y alimentos fermentados. *Ars Pharmaceutica*, 41:2; 159-165
8. Zhang, Y.; Zhang, J. (2008). Optimization of headspace solid-phase microextration for analysis of ethyl carbamate in alcoholic beverages using a face-centered cube central composite design. Analytical Chemical Acta 627 pp 212-218
9. Cardoso, D. R.; Andrade Sobrinho, L.G.;. Lima-Neto, B. S.; Franco, D. W. (2004). A Rapid and Sensitive Method for Dimethylsulphide Analysis in Brazilian Sugar Cane Sugar Spirits and Other Distilled Beverages. J. Braz. Chem. Soc. 15(2) pp. 277-281.
10. Scollo, D.; Vicente, F.; Giraudo, M.; Mora V.; Kulhawik D. (2011). Determinación de los niveles del carbamato de etilo en bebidas que usan bacterias lácticas además de levaduras. Copy Right **Publitec.** Av.HonorioPueyerredón550 - CABA (1405) - Argentina
11. 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
12. 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
13. US Food and Drug Administration, (1993), Urethane in Alcoholic Beverages Under Investigation. US Consumer, available at: http://vm.cfsan.fda.gov/~frf/fc0293ur.html

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE UNA ESENCIA HIDROALCOHÓLICA DE LIMÓN PARA ELABORAR LICORES

OPTIMIZATION OF PROCESS TO OBTAIN THE LEMON HYDRO-ALCOHOLIC ESSENCE FOR THE LIQUEUR ELABORATION

Autores: Arlyn Reyes Linares[1], Jorge Pino Alea[2], Magdalena Lorenzo Izquierdo[1], Idania Blanco Carvajal[1], María del C. Vasallo Sordo[1], Miguel Vázquez García[1], Olga Porto Ruz[1], Nancy Herrera Marrero[1], Raymundo Guardarrama Rodríguez[1]

[1]Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca # 804 y Carretera Central, Apartado 4026, La Habana, Cuba.
[2]Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria (IIIA). Carretera al Guatao km 3 ½, La Habana 19200, Cuba.
E-mail: arlyn.reyes@icidca.edu.cu; jpino@iiia.edu.cu

RESUMEN

El Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas del ICIDCA tiene entre sus objetivos, desarrollar y perfeccionar mediante la I+D tecnologías de producción de bebidas destiladas y la obtención de nuevos productos para ser transferidos a las fábricas de ron de AZCUBA. Por lo tanto en este trabajo se optimizó el proceso de obtención de una esencia hidroalcohólica de limón, en el que se obtuvo un óptimo con etanol al 90 % y una relación volumétrica aceite/disolvente 1:14. La esencia hidroalcohólica se caracterizó química y sensorialmente según los parámetros optimizados y se determinó que es de alta calidad para la elaboración de licores.

Palabras clave: Optimización, licor de limón, aceite esencial de limón.

ABSTRACT

The Reference Center of Alcohols and Beverages of ICIDCA has the objective of developing and improving the technologies for the production of distilled beverages through I+D and the obtaining of new products to be transferred to AZCUBA factories. That is why this work the process to obtain the lemon hydro-alcoholic essence was optimized, for which a 90 % ethanol and a 1:14 oil/dissolvent volume ratio were the optima. The obtained hydro-alcoholic essence was chemical and sensory characterized according to the optimize parameters and it was determined to be high quality for the liqueur elaboration.

Key words: Optimization, lemon liquor, lemon essential oil.

INTRODUCCIÓN

Los licores están compuestos de alcohol puro o de destilados, de sustancias aromáticas y colorantes. Se pueden consumir en todo momento, pueden servirse como aperitivos o después de las comidas y también como ingredientes en combinaciones de bebidas o cócteles, Reyes y otros (2011).

Existen varios procedimientos para la elaboración de los licores y por lo general los industriales se fabrican mediante la disolución en frío de aceites esenciales, puros o mezclas de diversos aceites, en alcohol. La calidad de los licores está muy relacionada con las propiedades de las materias primas que se emplean en su elaboración, Aleixandre (1999).

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, generalmente destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética, de alimentos y farmacéutica. Reyes (2009).

Los componentes mayoritarios de los aceites esenciales de cítricos son los hidrocarburos terpénicos que constituyen del 90 al 95 % y los compuestos oxigenados (2 a 6 % como máximo), Reineccius (1994). Los compuestos oxigenados son altamente odoríferos y son los responsables fundamentales del olor y el sabor de los aceites esenciales, aunque los hidrocarburos terpénicos y sesquiterpénicos también contribuyen, en menor proporción, al valor aromático, Sánchez (1994).

La presencia de hidrocarburos terpénicos confiere al aceite esencial ciertas desventajas como son tendencia a la resinificación, pérdida del aroma natural y presentan poca solubilidad en soluciones acuosas, como sucede con el aceite esencial de limón. Para minimizar estas dificultades, existen diferentes métodos que permiten eliminar total o parcialmente los compuestos terpénicos, Sánchez (1994); Reineccius (2006).

Uno de los métodos que más se emplea en la desterpenación de aceites esenciales de cítricos es la extracción con disolventes, método que se propone utilizar en este trabajo, para la obtención de una esencia hidroalcohólica a partir del aceite esencial de limón que sirva como materia prima para producir licores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó aceite esencial de limón cv. Eureka, exprimido en frío e importado de España. Se usaron etanol fino A (UEB Mayabeque de AZCUBA), agua desionizada mediante resina de intercambio iónico en ciclo sódico y cloruro de sodio C.R. (Merck, Darmstadt). Además, se empleó sirope invertido de 65 ºBrix (Ronera José Antonio Echeverría, Cárdenas).

La esencia hidroalcohólica se obtuvo mediante extracción con etanol al 70 y 80 %, así como por disolución con etanol al 90 %. Se realizaron 13 experiencias, de acuerdo a un diseño experimental de superficie de repuesta que consideró los factores: concentración de etanol (70, 80 y 90 % m/m) y la relación volumétrica aceite/disolvente (1:6; 1:10 y 1:14). Las variables de respuesta fueron retención de compuestos carbonílicos, pérdida de compuestos oxigenados en la fase terpénica y evaluación sensorial del producto preparado con cada extracto.

Para la preparación de la esencia hidroalcohólica se siguió un procedimiento similar al reportado por Lorde (2006). Las experiencias se hicieron con 30 mL de aceite esencial en frascos Erlenmeyer con tapa esmerilada de 250 mL. Se adicionó un volumen de etanol diluido (de acuerdo al grado alcohólico y la relación volumétrica aceite/disolvente bajo estudio) y una masa de cloruro de sodio equivalente al 0,6 % del volumen de agua. Se mezcló en un agitador magnético a 1000 min^{-1} durante 30 min a temperatura ambiente. Se

trasvasó y dejó reposar en un embudo de decantación para facilitar la separación entre la fase terpénica y la fase hidroalcohólica. Posteriormente se separaron las dos capas y se pesaron. En las experiencias con etanol al 90 % no hubo separación de fase, por lo que no se adicionó la sal ni se dejó el tiempo de reposo. La Tabla I presenta el balance de materiales de la obtención de la esencia hidroalcohólica.

Tabla I. Balance de materiales

Etanol (% m/m)	Relación aceite/disolvente (v/v)	Agua (mL)	Etanol 96 % (mL)	Cloruro de sodio (g)	Fase hidroalcohólica (mL)	Fase terpénica (mL)
70	1:6	48,75	131,25	0,29	178,0	25,0
	1:10	81,25	218,75	0,49	295,0	22,9
	1:14	113,75	306,25	0,68	415,0	21,8
80	1:6	30,00	150,00	0,18	185,0	18,0
	1:10	50,00	250,00	0,30	270,0	11,5
	1:14	70,00	350,00	0,42	420,0	3,6
90	1:6	11,25	168,75	-	206,0	0,0
	1:10	18,75	281,25	-	320,0	0,0
	1:14	26,25	393,75	-	440,0	0,0

A las esencias hidroalcohólica obtenidas se les determinaron la densidad específica, la graduación alcohólica, según describe la norma NC 290: 2007 y el contenido de compuestos carbonílicos según la norma NC ISO 1279:2006, pero tomando 5 g de muestra. Los valores del contenido de compuestos carbonílicos se expresaron como citral.

De acuerdo a un balance de materiales, se calcularon las retenciones de compuestos carbonílicos en la esencia por la siguiente expresión:

$$RC = \frac{Contenido\ compuestos\ carbonilos}{Contenido\ comp.carbonilos\ teórico} \times 100$$

donde *RC*: Retención de compuestos carbonilos (%)

A la esencia obtenida con los parámetros óptimos se le realizó el aislamiento y concentración de los compuestos volátiles por microextracción en fase sólida del espacio de cabeza (HS-SPME), según el método reportado por Cupri y otros (2007) con ligeras modificaciones. Se tomó 1 mL de la esencia y se diluyó con etanol absoluto. Se adicionaron además 10 µL de una solución estándar de octano en etanol absoluto (35 mg/mL). La extracción se realizó durante 30 min. con una fibra de polidimetilsiloxano (PDMS) de 100 µm (Supelco, Bellefonte, CA).

El análisis de los compuestos volátiles en la esencia se realizó por GC-MS en un equipo Shimadzu GCMS QP-5000 (Kyoto, Japón). Se utilizó una columna capilar XTI-5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm) (Restek, Bellefonte, CA). El programa de temperatura usado fue de 50 ºC por 2 min y calentamiento a 4 ºC/min hasta 250 ºC. El flujo de gas portador helio fue de 1 mL/min. La introducción de la muestra adsorbida en la fibra fue en modo *splitless* con un tiempo de 2 min. Para mejorar la resolución y sensibilidad se utilizó un inserto (*liner*) de 0,8 mm. El análisis fue escaneado en el intervalo 35 a 400 Daltons a 1 scan/s con un voltaje de ionización de 70 eV.

La cuantificación de los compuestos presentes se realizó mediante la medición de las áreas de los picos cromatográficos y cálculo por el método de estándar interno, Dierksmeier (2005). Se consideraron extracciones similares por la fibra para todos los componentes, así como factores de respuesta unitarios. Los análisis se hicieron por duplicado y los coeficientes de variación de las mediciones fueron inferiores al 5 %. La expresión utilizada para los cálculos fue la siguiente:

$$C = \frac{A}{A_s} \times C_s$$

donde C: Concentración del componente (% m/m); A: Área del componente; A_s: Área del estándar interno (octano)

Para la determinación de compuestos oxigenados en la fase terpénica, los análisis se hicieron en un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-17A (Kyoto, Japón) equipado con inyector automático y detector de ionización por llama de hidrógeno (FID). Se utilizó una precolumna de cuarzo vacía de 1,5 m unida a una columna CP-WAX 10 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm) seguida de otra columna de DB-WAX (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm). El programa de temperatura fue de 70 ^{o}C y calentamiento a 4 ^{o}C/min hasta 220 ^{o}C. Como gas portador se utilizó hidrógeno a una velocidad de flujo de 1 mL/min. Las temperaturas del inyector y del detector fueron de 230 y 250 ^{o}C, respectivamente. El volumen de inyección fue 0,2 µL con un *split* de 1:25. La cuantificación de los compuestos se realizó mediante la medición de las áreas de los picos cromatográficos y cálculo del porcentaje másico (método de normalización interna), Dierksmeier (2005).

La pérdida de componentes oxigenados (α-terpineol, neral, geranial, acetato de nerilo y acetato de geranilo) en el proceso fue calculada, a partir de un balance de materiales, por la expresión siguiente y teniendo en cuenta que el contenido máximo de compuestos oxigenados de acuerdo a la masa de aceite esencial usada para la extracción fue 54 % al asumir una retención ideal:

$$PCO = \frac{Contenido\ compuestos\ oxigenados}{Contenido\ comp.oxigenados\ \ teórico} \times 100$$

donde *PCO*: Pérdida de compuestos oxigenados (%).

La evaluación sensorial de las esencias hidroalcohólicas se hizo mediante una formulación de licor de limón. Para ello se utilizó la formulación siguiente: 0,35 % de esencia en sirope invertido alcoholizado (25 % de etanol con 36 ^{o}Brix). Las muestras se sirvieron a temperatura ambiente en copas de vidrio y en dosis de 30 mL.

Para comparar las esencias obtenidas del diseño experimental se hicieron pruebas de ordenamiento según la calidad del licor con 10 catadores adiestrados, Torricella y otros (1989). En total se efectuaron cuatro pruebas sensoriales para ordenar las muestras de menor a mayor intensidad. En las tres primeras se fijó el grado alcohólico de la esencia y se variaron las tres relaciones aceite/disolvente estudiadas. Con la mejor variante de cada una de las pruebas anteriores se hizo la cuarta prueba. Los resultados se procesaron según la prueba de Friedman que aparece descrita en la norma ISO 8587:1988.

La mejor variante seleccionada se evaluó por una prueba de intensidad de sabor con una escala lineal continua estructurada de 10 cm, marcada a intervalos iguales (cada 2 cm) con términos que indicaron intensidad creciente de izquierda a derecha (ausente, muy ligero, moderado, marcado y muy marcado), Torricella y otros (1989). Para ello se utilizó una comisión integrada por 10 catadores adiestrados, con la habilidad de detectar los defectos que pueden presentarse para el rechazo de un licor.

Debido a que las técnicas de superficie de respuesta son una metodología estadística que permite determinar, experimentalmente, aquellos niveles de los factores en investigación que producen una respuesta óptima, se decidió hacer un estudio de optimización de estos factores. Se seleccionó un diseño factorial 3^2 con dos factores a tres niveles y cuatro réplicas en el punto central para obtener un estimado del error experimental. Los factores bajo estudio son: contenido de etanol (C_E) y relación disolvente/aceite esencial (R_{DA}), se tomaron como variables de respuestas: la retención de compuestos carbonílicos en la esencia, la pérdida de compuestos oxigenados en la fase terpénica y la evaluación sensorial del producto preparado con cada esencia. La retención de compuestos carbonílicos y la evaluación sensorial se maximizaron, mientras que las pérdidas de compuestos oxigenados se minimizaron para calcular los valores óptimos.

La Tabla II muestra los niveles de los dos factores bajo estudio. El intervalo estudiado de contenido de etanol fue 70 a 90 %, mientras que para la relación volumétrica disolvente/aceite esencial fue 6 a 14, valores seleccionados de acuerdo con los resultados reportados por Lorde (2006).

Tabla II. Niveles de los factores del diseño experimental

Factor	Nivel –1	Nivel 0	Nivel +1
Concentración de etanol (% m/m)	70	80	90
Relación disolvente/aceite esencial	6	10	14

Se utilizó la prueba t de Student ($p \leq 0,05$), para determinar la significación de los efectos de cada uno de los factores incluidos en el modelo polinomial y la prueba F de Fisher, conjuntamente con el coeficiente de determinación $0 \leq R^2 \leq 1$ para evaluar la adecuación del modelo. Las experiencias se hicieron aleatoriamente y sus resultados se procesaron con el programa Design-Expert 5 ver. 5.0.7 (1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El programa de los experimentos evaluados y las respuestas aparecen en la Tabla III.

Tabla III. Matriz experimental del diseño de superficie de respuesta

Corrida	**C_E (%)**	**$R_{D/A}$**	**Retención de compuestos carbonílicos (%)**	**Pérdida de compuestos oxigenados (%)**	**Evaluación sensorial**
1	90	14	100	0	9,2
2	80	10	87,7	6,2	7,5
3	80	10	87,4	7,0	7,3
4	70	10	70,5	21,4	7,5
5	80	6	84,9	15,5	5,8
6	80	14	88,4	2,1	8,8
7	70	6	64,2	29,5	5,2
8	90	10	100	0	7,5
9	80	10	88,8	6,7	7,6
10	80	10	87,8	7,2	7,5
11	70	14	72,0	18,4	8,4
12	80	10	85,9	7,2	7,3
13	90	6	100	0	6,3

C_E: contenido de etanol; $R_{D/A}$: relación disolvente/aceite esencial.

Análisis del modelo obtenido para la retención de compuestos carbonílicos

El contenido de compuestos carbonílicos (expresado como citral) es un indicador importante de la calidad del aceite esencial de limón pues son los principales contribuyentes al aroma y sabor del producto.

A partir de la matriz experimental del diseño de superficie de respuesta se ajustó un modelo polinomial de segundo orden que fue usado para expresar la retención de compuestos carbonílicos *(RC)* como una función de las variables independientes:

$$RC = 87{,}57 + 15{,}55 \cdot X_E + 1{,}88 \cdot X_{D/A} - 2{,}43 \cdot X_E^2 - 1{,}03\, X_{D/A}^2 - 1{,}95 \cdot X_E \cdot X_{D/A}$$

En la Tabla IV se muestran los valores de los parámetros del modelo y se evalúa su significación estadística. Resultaron significativos el contenido de etanol (X_E) y su término cuadrático, la relación disolvente/aceite esencial ($X_{D/A}$) y la interacción entre ambas variables ($X_E X_{D/A}$). El coeficiente del término lineal del contenido de etanol tiene signo positivo y el más alto en valor absoluto, por lo que puede afirmarse que un incremento del contenido de etanol favoreció el aumento de la retención de compuestos carbonílicos en el extracto. El coeficiente del término lineal de la relación disolvente/aceite también tuvo signo positivo, por lo que su incremento favoreció el aumento de la retención de compuestos carbonílicos. El coeficiente de la interacción entre ambos factores se interpreta como: a altos niveles de contenido de etanol se obtienen elevados por ciento de retención de compuestos carbonílicos independientemente de la relación disolvente/aceite empleada, sin embargo a bajas concentraciones del contenido de etanol se necesita mayor relación disolvente/aceite para obtener elevados por ciento de retención de compuestos carbonílicos.
El hecho de que el contenido de etanol esté directamente relacionado con la retención de compuestos carbonílicos se debe a que con esta concentración de etanol toda la fase aceite esencial se disolvió en la solución hidroalcohólica por lo que las pérdidas fueron despreciables, lo que no sucedió con los otros contenidos de etanol, donde si hubo una fase terpénica que produjo pérdidas de compuestos carbonílicos por su disolución. El signo positivo del factor lineal relación disolvente/aceite esencial puede ser explicado porque a una mayor relación ocurrió una mayor extracción de los compuestos carbonílicos en la fase hidroalcohólica por mayor masa de disolvente.

Tabla IV. Resultados del diseño de superficie de respuesta para la retención de compuestos carbonílicos (variables codificadas)

Factor	Coeficiente estimados	Desviación estándar	*t*	*p*
Intercepto	87,57	0,40	-	-
X_E (contenido de etanol)	15,55	0,39	39,7	**<0,0001**
$X_{D/A}$ (relación disolvente/aceite)	1,88	0,39	4,8	**0,0019**
X_E^2	-2,43	0,58	-4,2	**0,0040**
$X_{D/A}^2$	-1,03	0,58	-1,7	0,1176
$X_E X_{D/A}$	-1,95	0,48	-4,0	**0,0048**

La adecuación del modelo fue evaluada mediante la prueba de ANOVA cuyos resultados se presentan en la Tabla V. Se puede concluir que el modelo propuesto describe una relación entre las variables independientes y la variable de respuesta con un 5 % de significación y permite explicar el 99.6 % de la variabilidad de los datos.

Tabla V. Análisis de varianza para el modelo de regresión

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Valor *F*	*p*
Modelo	1515,95	5	329,7	**0,0001**
Residuos (error)	6,44	7	-	-
Error puro	4,39	4	-	-
Total	1522.39	12	-	-

La Fig. 1 representa la superficie de respuesta para el diseño evaluado. Se encontró una respuesta máxima para la retención de compuestos carbonílicos a contenido de etanol 90 % y relación disolvente/aceite esencial 14. Al disminuir el contenido de etanol y la relación disolvente/aceite esencial se observa un acelerado descenso de la retención que tiene un mínimo en la combinación X_E = 70 % y $X_{D/A}$ = 6.

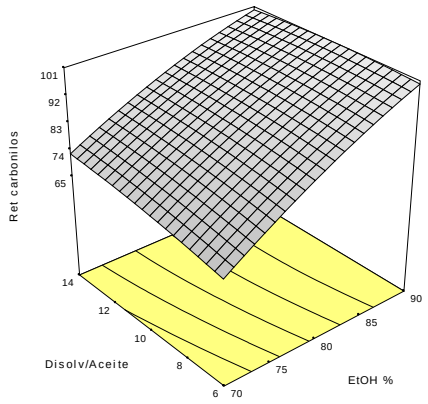


Fig.1. Gráfico de superficie de respuesta para la retención de compuestos carbonílicos.

Análisis del modelo obtenido para la pérdida de compuestos oxigenados

La pérdida de compuestos oxigenados durante la extracción puede ser un indicador importante del proceso pues influirá en la calidad del producto final debido a la importancia de estos compuestos en el aroma y sabor. Por esta razón se incluyó como variable de respuesta.

Se obtuvo un modelo polinomial de segundo orden que fue usado para expresar la pérdida de compuestos oxigenados como una función de las variables independientes. En el modelo obtenido para la pérdida de compuestos oxigenados resultaron significativos el contenido de etanol (X_E) y su término cuadrático (X_E^2), la relación disolvente/aceite esencial ($X_{D/A}$) y su interacción ($X_E X_{D/A}$). El coeficiente del término lineal del contenido de etanol tuvo signo negativo y en valor absoluto resultó el más alto, por lo que puede afirmarse que un aumento del contenido de etanol favoreció una disminución de las pérdidas de compuestos oxigenados. El coeficiente del factor relación disolvente/aceite esencial fue negativo, lo que indica una relación inversa entre este factor y la variable de respuesta. El signo del coeficiente de la interacción fue positivo, lo que indica que si los dos factores aumentan, entonces disminuirán las pérdidas de compuestos oxigenados.

El hecho de que el contenido de etanol esté inversamente relacionado con la pérdida de compuestos oxigenados se debe a que con esta concentración de etanol toda la fase aceite esencial se disolvió en la solución hidroalcohólica por lo que las pérdidas fueron despreciables, lo que no sucedió con los otros contenidos de etanol, donde si hubo una fase terpénica que produjo pérdidas de compuestos oxigenados por

su disolución. El signo negativo del factor lineal relación disolvente/aceite esencial puede ser explicado porque a una mayor relación ocurrió un incremento de la extracción de los compuestos oxigenados (por ende una menor pérdida) en la fase hidroalcohólica por mayor masa de disolvente.

Tabla VI. Resultados del diseño de superficie de respuesta para la pérdida de compuestos oxigenados (variables codificadas)

Factor	Coeficiente estimados	Desviación estándar	*t*	*p*
Intercepto	6,95	0,76	-	-
X_E (contenido de etanol)	-11,55	0,75	-15,3	**<0,0001**
$X_{D/A}$ (relación disolvente/aceite)	-4,08	0,75	-5,4	**0,0010**
X_E^2	3,52	1,11	3,1	**0,0156**
$X_{D/A}^2$	1,62	1,11	1,4	0,1873
$X_E X_{D/A}$	2,77	0,92	3,0	**0,0195**

Los resultados del modelo de superficie de respuesta procesados por ANOVA se presentan en la Tabla VII. El análisis de varianza para la regresión cuadrática demostró que el modelo propuesto es adecuado con un 5 % de significación y permite explicar el 97.7 % de la variabilidad de los datos.

Tabla VII. Análisis de varianza para el modelo de pérdidas de compuestos oxigenados

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Valor *F*	*p*
Modelo	993,77	5	58,6	**<0,0001**
Residuos (error)	23,73	7	-	-
Error puro	23,01	4	-	-
Total	1017,48	12	-	-

La Fig. 2 representa la superficie de respuesta para el diseño evaluado. Se encontró una respuesta mínima para la pérdida de compuestos oxigenados a contenido de etanol de 90 % y una relación disolvente/aceite esencial de 14. Al disminuir el grado alcohólico y la relación disolvente/aceite esencial se observó un incremento acelerado de las pérdidas que alcanza su máximo hacia la concentración de 70 % y una relación de 6.

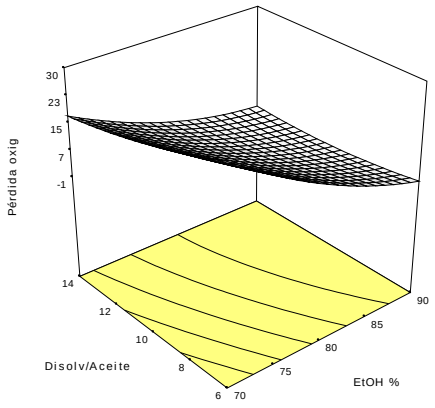


Fig. 2 Gráfico de superficie de respuesta para la pérdida de compuestos oxigenado.

Análisis del modelo obtenido para la evaluación sensorial

La calidad del licor de limón solo será posible asegurarla como resultado de una evaluación sensorial hecha por catadores conocedores del producto. Debido a ello, también se consideró esta evaluación como una variable de respuesta del proceso en estudio.

Se obtuvo un modelo polinomial de segundo orden que fue usado para expresar la evaluación sensorial como una función de las variables independientes. Solo fueron significativos los factores lineales del contenido de etanol (X_E) y relación disolvente/aceite esencial ($X_{D/A}$). Ambos coeficientes resultaron con signo positivo, por lo que puede afirmarse que un aumento del grado alcohólico y de la relación disolvente/aceite esencial favorecieron la calidad sensorial del licor de limón. Por otra parte, la relación disolvente/aceite esencial tuvo un mayor peso en esta contribución, de acuerdo al orden mucho mayor del coeficiente con respecto al del contenido de etanol.

Tabla VIII. Resultados del diseño de superficie de respuesta para la evaluación sensorial (variables codificadas)

Factor	Coeficiente estimados	Desviación estándar	*t*	*p*
Intercepto	7,45	0,09	-	-
X_E (contenido de etanol)	0,32	0,09	3,3	**0,0125**
$X_{D/A}$ (relación disolvente/aceite)	1,52	0,095	15,9	**<0,0001**
X_E^2	0,019	0,14	0,1	0,8960
$X_{D/A}^2$	-0,18	0,14	-1,2	0,2369
$X_E X_{D/A}$	-0,075	0,14	-0,6	0,5395

Los resultados del modelo de superficie de respuesta procesados por ANOVA se presentan en la Tabla IX. El análisis de varianza para la regresión cuadrática demostró que el modelo propuesto es adecuado con un 5 % de significación y permite explicar el 97.5 % de la variabilidad de los datos.

Tabla IX. Análisis de varianza para el modelo de evaluación sensorial

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Valor *F*	*p*
Modelo	14,52	5	53,7	**<0,0001**
Residuos (error)	0,38	7	-	-
Error puro	0,07	4	-	-
Total	14,90	12	-	-

La Fig. 3 presenta la superficie de respuesta para el diseño evaluado. Se encontró una respuesta máxima para la evaluación sensorial con el contenido de etanol de 90 % y relación disolvente/aceite esencial de 14. Es evidente que una mayor retención de compuestos carbonílicos y una menor pérdida de compuestos oxigenados tuvieron una influencia en la calidad de los extractos obtenidos, reflejada en una mayor puntuación de sus licores.

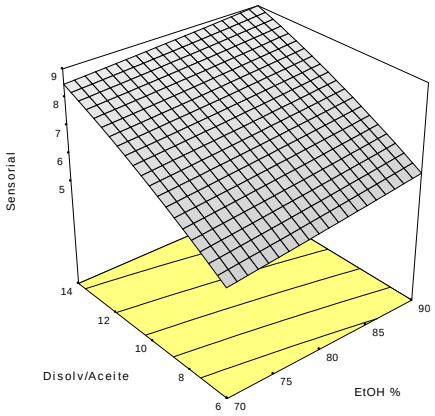


Fig. 3. Gráfico de superficie de respuesta para la evaluación sensorial.

Una vez comprobados el buen ajuste y adecuación de los tres modelos se procedió a la optimización de las variables de respuesta mediante la maximización de la retención de compuestos carbonílicos y la evaluación sensorial, así como la minimización de las pérdidas de compuestos oxigenados.

La Fig. 4 representa el aporte de cada una de las tres variables de respuesta en la función objetivo, donde se aprecia que la pérdida de compuestos oxigenados en la esencia tuvo el mayor "peso" en la decisión, seguido de la retención de compuestos carbonílicos en la fase terpénica y la evaluación sensorial.

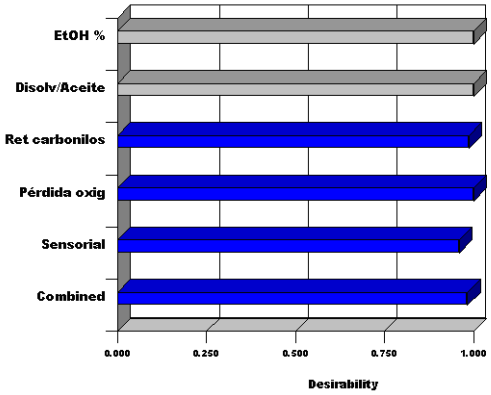


Fig. 4. Diagrama de Pareto con el aporte de cada variable de respuesta en la función objetivo.

Del gráfico de contorno obtenido para la optimización de las variables evaluadas (Fig. 5), los puntos definidos por el contenido de etanol de 90 % y relación disolvente/aceite esencial de 14 fueron sugeridos como los más adecuados para la obtención del extracto de limón. En este punto se obtuvo un valor de 0,98 para la función objetivo (*desirability function*) (de un máximo posible de uno). Con esta combinación se lograron los mejores resultados para cada variable de respuesta evaluada que fueron: 99,6 % de retención de compuestos carbonílicos; 0 % de pérdida de compuestos oxigenados y una puntuación sensorial de 9,0 para el licor obtenido con este extracto.

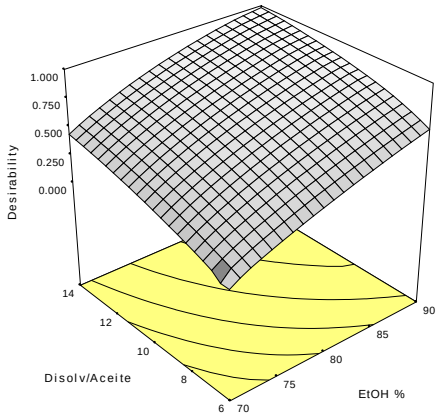


Fig. 5. Gráfico de optimización para las tres variables de respuesta.

La esencia hidroalcohólica obtenida con los valores óptimos de los factores se analizó por GC-MS (Fig. 6). La Tabla X resume la identificación y cuantificación de los componentes volátiles presentes en esta esencia. En total, se identificaron 34 compuestos, todos informados antes en el aceite esencial, Lawrence (1993; 1995; 1996), con la excepción del decanoato de etilo cuyo origen debe estar dado en el etanol usado en la extracción.

Tabla X. Compuestos volátiles en la esencia hidroalcohólica

Compuesto	min	IK	mg/L	Compuesto	min	IK	mg/L
octano (estándar interno)	3,80	800	-	decanal	13,59	1202	4
α-tuyeno	6,13	930	28	citronelol	14,58	1226	2
α-pineno	6,28	939	150	neral	14,72	1238	18
β-pineno	7,42	979	1 207	geranial	15,63	1267	25
mirceno	7,72	991	170	acetato de citronelilo*	19,28	1353	38
α-felandreno	8,02	1003	96	acetato de nerilo	20,07	1362	317
p-cimeno	9,29	1025	<1	acetato de geranilo	21,12	1381	219
limoneno	9,30	1029	8 017	tetradecano*	21,47	1400	11
1,8-cineol	9,31	1031	<1	decanoato de etilo*	21,58	1402	5
(*Z*)-β-ocimeno	9,39	1037	13	β-cariofileno	22,42	1419	79
γ-terpineno	9,74	1060	602	*trans*-α-bergamoteno	23,23	1435	135
terpinoleno	10,31	1089	28	α-humuleno	24,02	1455	4
linalol	10,78	1097	24	propanoato de geranilo*	24,26	1475	15
nonanal	10,85	1101	5	valenceno*	25,72	1496	12
hidrato de trans-sabineno*	11,33	1103	7	(*Z*)-α-bisaboleno*	26,14	1505	12
óxido de *trans*-limoneno	11,67	1142	1	β-bisaboleno	26,39	1506	171
citronelal	12,12	1153	10	δ-cadineno*	26,94	1523	4

*no detectado en el aceite esencial usado como materia prima

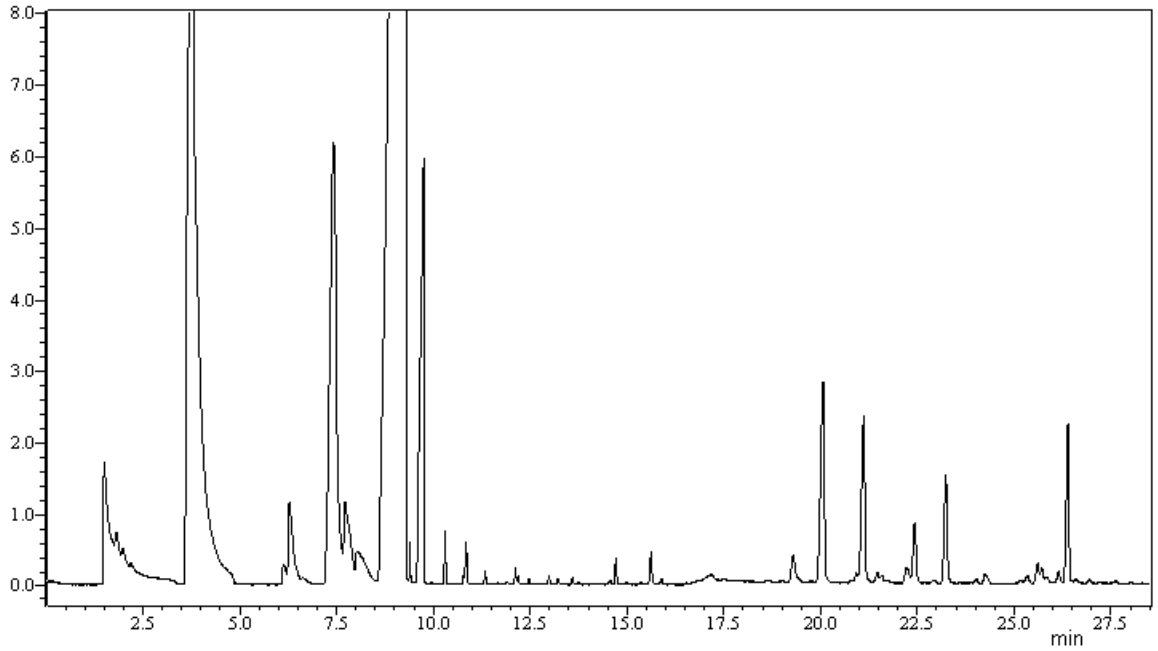


Fig. 6. Análisis por HS-SPME/GC-MS de la esencia hidroalcohólica obtenida con los parámetros óptimos.

CONCLUSIONES

1. Se optimizó el proceso de obtención de una esencia hidroalcohólica de limón, para el cual se obtuvo un óptimo con etanol al 90 % y una relación volumétrica aceite/disolvente 1:14.

2. Se caracterizó química y sensorialmente la esencia hidroalcohólica obtenida según los parámetros optimizados y se determinó que es de alta calidad para la elaboración de licores.

3. El procedimiento analítico establecido para determinar los componentes volátiles de la esencia es simple y relativamente rápido para establecerlo como una técnica de rutina en un futuro control de calidad en la producción de la esencia hidroalcohólica. Asimismo, los componentes volátiles presentes tienen un origen natural y puede afirmarse que no son productos de contaminaciones ni de cambios químicos durante la obtención de la esencia.

REFERENCIAS

1. Reyes, A., Pino, J., Moreira, V. (2011). Aspectos generales sobre la elaboración de licor de limón. Revista ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 45 (1), pp. 13-20.
2. Aleixandre, J. (1999). Vinos y bebidas alcohólicas. Servicios de publicaciones, Valencia.
3. Reyes, A. (2009). Desarrollo de una tecnología para producir licor de limón. Tesis presentada en opción al grado académico de Master en Ingeniería Alimentaria.
4. Reineccius, G. (1994). Source Book of Flavors. 2nd ed., Chapman & Hall, New York.
5. Sánchez, R., Pino, J. (1994). Desterpenación de aceite esencial de naranja por extracción con etanol diluido. Rev. Alimentaria (249), pp. 74-76.

6. Reineccius, G. (2006). Flavor Chemistry and Technology. 2nd ed., Taylor and Francis Group, New York, pp. 224-226.
7. Lorde, T. (2006). Obtención de esencia hidroalcohólica de mandarina (C*itrus reticulata* Blanco) cv. Dancy. Tesis de Diploma.
8. NC-290:2007. Bebidas alcohólicas. Determinación del grado alcohólico en alcoholes, bebidas Alcohólicas destiladas, vinos, licores, Bebidas alcohólicas preparadas, cócteles y extractos hidroalcohólicos. Cuba.
9. NC-ISO 1279:2006. Aceites esenciales. Determinación del índice de carbonilo. Métodos potenciométricos utilizando cloruro de hidroxilamonio. Cuba.
10. Cupri, M., Costa, R., Dugo, P., Mondello, L. (2007). A comprehensive study on the chemical composition and aromatic characteristics of lemon liquor. Food Chem. 105, pp. 771-783.
11. Dierksmeier, G. (2005). Métodos Cromatográficos. Editorial Científico-Técnica, La Habana, pp. 210-225.
12. Torricella, R., Zamora, E., Pulido, H. (1989). Evaluación sensorial aplicada a la investigación. Desarrollo y control de la calidad en la industria alimentaria. Instituto de Investigación para la Industria Alimenticia, La Habana
13. ISO- 8587:1988. Análisis sensorial. Metodología. Ordenamiento.
14. NC-291:2003. Determinación de acidez total en bebidas alcohólicas destiladas, vinos, licores, bebidas alcohólicas preparadas y cócteles. Cuba.
15. NC-707:2009. Bebidas alcohólicas. Determinación del contenido de sólidos solubles. Cuba
16. Lawrence, B. (1993). Lemon oil. En: Essential Oils 1988-1991; Allured Publishing, Carol Stream, IL, pp. 61-69.
17. Lawrence, B. (1995). Lemon oil. En: Essential Oils 1992-1994; Allured Publishing, Carol Stream, IL, pp. 1-4, 114-117, 119-121, 123-125, 158-162.
18. Lawrence, B. (1996). Progress in Essential Oils, Lemon oil. Perfum. Flavor. 21 (1-2), pp. 41-45.

MÉTODOS COMBINADOS DE AÑEJAMIENTO EN BEBIDAS ALCOHÓLICAS DESTILADAS.

COMBINED METHODS OF AGING IN BEVERAGES DISTILLED ALCOHOLICS.

Idania Blanco Carvajal[1], Miguel Vázquez García[1], María del Carmen Vasallo[1], Raymundo Guardarrama[1], Eric Estrada Medina[1].

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**

Resumen.

El ron es una bebida alcohólica de alta graduación, su producción consta de una serie de etapas, condicionadas por factores que pueden influir decisivamente en la calidad del mismo.

El sistema de crianza para el envejecimiento de las bebidas alcohólicas destiladas, aguardientes específicamente, en barriles de roble, ha sido durante mucho tiempo uno de los fenómenos más misteriosos del mundo de la tecnología de bebidas destiladas. Este sistema repercute fundamentalmente en una mejora en las propiedades organolépticas de la bebida, lo que se muestra en cambios en el color de las mismas, así como en la aparición de aromas y sabores característicos.

Sin embargo este proceso de envejecimiento tan importante y vital para muchos tipos de bebidas, resulta trabajoso para los productores al suponer altos costos económicos, por esta razón se ha propiciado por muchos países, se pongan en marcha investigaciones encaminadas a disminuir en la medida de lo posible, el tiempo de permanencia en estos barriles de roble, con el consiguiente abaratamiento de los costos, sin introducir en el destilado sustancias que le comuniquen sabor áspero o resinoso, ni que esto interfiera en la calidad del producto final.

En este trabajo se exponen algunos criterios sobre tres variantes de métodos combinados de añejamiento para las bebidas alcohólicas destiladas que se aplican en varias fábricas de ron de nuestro país.

Palabras clave: añejamiento acelerado, bebidas alcohólicas, métodos combinados

Abstract.

The rum is a beverage alcoholic of high graduation, its production are made step by step, conditioned by factors that they can influence decisively in the quality of the same one.

The storage processes for the ageing of the beverages distilled alcoholic, spirit specifically, in oak barrels; it has been during a lot of time one of the most mysterious phenomena in the world of the technology of distilled beverages. This system contributes significantly in the organoleptic properties of the beverages; it can view in the colour of the same ones, as well as in the appearance of aroma and flavours characteristics.

However, this process of ageing so important and vital for many types of beverages, it can be heavy because it supposing high economic costs, for this reason many countries made several research for the time of permanency in these oak barrels are shorter, with the rising depreciation of the costs, without introducing in the distilled substances that communicate him rough or resinous flavour, neither that this interferes in the quality of the final product.

In this work some approaches are exposed on three variants of combined methods of ageing for the distilled alcoholic drinks that they are applied in several factories of rum of our country.

Keywords: accelerated ageing**,** combined methods, alcoholic beverages

Introducción.

El ron es la bebida alcohólica, obtenida exclusivamente de la fermentación del jugo de caña de azúcar o de las melazas, o mezcla de ambas y destilación especial, no privadas de aquellos principios aromáticos a los que el producto debe sus caracteres organolépticos específicos, madurada en recipiente de roble u otra madera adecuada. No se permitirán la adición de esencias artificiales con el fin de modificar las características organolépticas, así como la adición de productos químicos que traten de imitar procesos de añejamiento

El añejamiento de rones o aguardientes se entiende por su almacenamiento en barriles de roble blanco durante un tiempo determinado, dependiendo de la calidad y tipo de producto a obtener, con el objetivo de mejorar las cualidades gustativas. El mismo puede ser definido como un conjunto de fenómenos, donde los aspectos más importantes son, Boscolo (1996):
- Reacción entre los diferentes compuestos presentes en el destilado
- Extracción de sustancias complejas de la madera.
- Oxidación de compuestos del destilado y de los extraídos de la madera.
- Nuevas reacciones entre los compuestos originales, los extraídos y los formados anteriormente.

La utilización de métodos no convencionales para disminuir el tiempo de añejamiento de los destilados, mediante la aceleración de las reacciones que se producen en el mismo, es tan antigua como la producción misma de ellos, reportándose muy variados métodos para incrementar la esterificación, la extracción de la madera, la oxidación previa de los compuestos a extraer de ésta, mediante métodos muy diversos como la aplicación de energía ionizante, ultrasonido, rayos ultravioleta, calor, calor/frío, oxigeno, ozono, etc. etc.

Sin embargo este proceso de envejecimiento tan importante y vital para muchos tipos de bebidas, puede resultar altamente gravoso para los productores al suponer altos costos económicos, por esta razón se ha propiciado por muchos países, se pongan en marcha investigaciones encaminadas a disminuir en la medida de lo posible, el tiempo de permanencia en estos barriles de roble, con el consiguiente abaratamiento de los costos, sin introducir en el destilado sustancias que le comuniquen sabor áspero o resinoso, ni que esto interfiera en la calidad del producto final.

Además, los productores de bebidas alcohólicas, en su afán de lograr procesos mas económicos, han buscado la forma de disminuir los tiempos de añejamiento ya que esta pudiera ser considerada la etapa mas costosa del proceso, tanto por el gran capital que es necesario inmovilizar, como por las grandes pérdidas que en el mismo se producen y por el costo cada día en aumento de los barriles y así vemos recomendaciones que van desde el empleo del calor solar hasta las radiaciones ionizantes, ninguna de ellas que pudiera ser considerada como la más adecuada y por lo tanto la solución de todos los problemas o una tecnología sustituta integral de los procesos clásicos.

En este trabajo se exponen algunos criterios sobre tres variantes de métodos combinados de añejamiento para las bebidas alcohólicas destiladas que se aplican en varias fábricas de ron de nuestro país.

Materiales y Métodos.

En nuestro país se han desarrollado varios métodos combinados de añejamiento, de los cuales haremos mención de las tres variantes más introducidas en las roneras tanto de la industria alimentaria (MINAL) como la azucarera (AZCUBA):

1. El desarrollo y la aplicación de los extractos de roble.
2. El ajuste e implantación del sistema de cama empacada
3. El empleo calor y ozono.

1. Desarrollo y aplicación de los extractos de roble.

Estos extractos alcohólicos de roble se añaden en dosis conocidas en la bebida que se quiera añejar, incorporando de esta manera componentes que por vía natural demoran mucho tiempo en alcanzar los niveles requeridos, acortando el proceso de añejamiento por la vía tradicional hasta en un 50% sin detrimento en la calidad sensorial del producto. Villarreal (1990)

Esto puede hacerse previo tratamiento de la madera mediante técnicas físicas (ultrasonidos, altas presiones o quemado/tostado), químicas (tratamiento con ácidos o con álcalis: HCL, H_2SO_4, NaOH, Na_2CO_3) o una combinación de ambos. Puech (1989); Maga (1989). De todos los tratamientos de la madera, son precisamente los térmicos los que parecen tener un interés particular, ya que mediante ellos, se produce una destrucción de la estructura celular de la madera similar a la que se da en tonelería durante la construcción y armado de los barriles y toneles. Giménez y otros (1996)

Todas estas técnicas, de una forma u otra, acortan el tiempo de añejamiento y esto se debe a la extracción que el aguardiente realiza sobre la madera de una gran cantidad de componentes presentes en ésta, como son los aldehídos benzoicos (vainillina y siringaldehído), cinámicos (coniferaldehído y sinapaldehído), taninos, ácidos, cumarinas, polifenoles, etc. Figura 1.

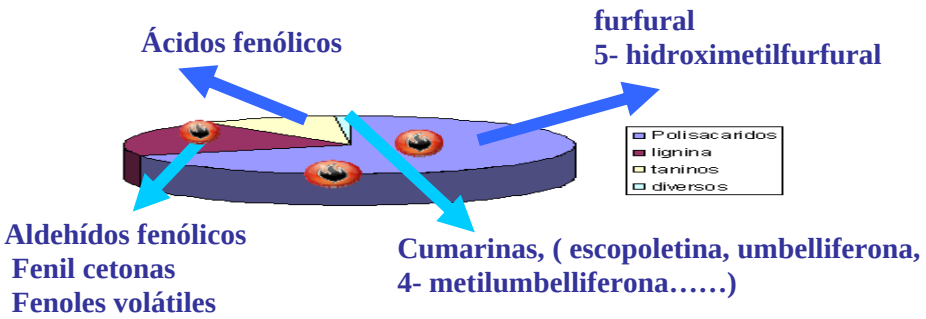


Figura1. Composición química de la madera

El empleo de los extractos de roble cubren aspectos que van desde los factores que influyen en la extracción de la madera hasta la optimización de los parámetros de operación, estudiándose diferentes métodos como la percolación, la extracción por reflujo y la maceración así como la composición de los extractos.

Métodos de extracción más empleados Pérez y otros (1988):

- **Percolación:** Se utiliza viruta de roble obtenida por cepillado de la madera, tratada previamente con agua a 70°C durante 4 horas. La extracción se efectúa por la recirculación del aguardiente fresco a 60°C durante 6 horas a 70°C con una relación madera-líquido de 1:5.
- **Maceración:** Aguardiente fresco a 60°G.L. durante 24 horas a temperatura ambiente, con relación 1:15 madera-líquido
- **Ebullición con reflujo total:** Aguardiente fresco a 60°G.L., en ebullición a reflujo total, durante un tiempo determinado, con una relación en peso 1:10 madera-líquido.

2. Sistema de cama empacada.

La tecnología de añejamiento de destilados conocida por "cama empacada", consiste en mantener en contacto (dentro de tanques construidos de un material apropiado, es decir de acero inoxidable, vidriados, etc.) al destilado con la madera de roble tratada en forma específica, empleando dicha madera cortada en forma de tablillas de determinadas dimensiones y con el suministro de oxígeno o aire en cantidades conocidas y controladas. En este método también la madera empleada puede ser tratada mediante técnicas físicas (ultrasonidos, altas presiones, tostado, etc.), químicas (tratamiento con ácidos o con bases: clorhídrico, sulfúrico, sosa, carbonato de sodio, etc.), o ambas a la vez con el objeto de degradar la estructura celular de la madera y facilitar la extracción de los compuestos solubles por parte del líquido extractivo.

Las dimensiones de dichas tablillas deben garantizar que la penetración del destilado por ambas caras de ellas sea tal que se obtenga la mayor extracción posible de la fracción soluble de la madera a la concentración alcohólica específica del líquido y por tanto su grosor oscila entre 10 y 15 mm.

Las tablillas de madera son cortadas con un espesor que permite que la penetración del líquido por ambas caras asegure la total extracción de los solubles así como la madera es previamente tratada de forma que se garantice cierta degradación de la lignina contenida en ella, lo que produce importantes productos determinantes en los caracteres organolépticos como aldehídos aromáticos, vainillina y otros que por oxidación natural demoran algún tiempo en producirse. Adicionalmente a esto el tanque metálico donde se aplica esta tecnología posee en el fondo eyectores que permiten adicionar oxígeno finamente dividido manteniéndose el liquido con un nivel de oxígeno disuelto preestablecido a la vez que una ligera sobrepresión en el tanque. Queris (1980).

3. Empleo de calor y ozono.

Este método consiste en la extracción del roble en caliente y la adición de ozono a los destilados con el roble añadido, la tecnología ésta aplicada en casi la totalidad de las roneras pertenecientes a AZCUBA, constituye un logro del ICIDCA por parte de un grupo de investigadores, Vázquez (1988) y con resultados nada despreciables.

El método consta de tres fases fundamentales:

1. Interacción del destilado con virutas de roble, para una rápida extracción de los productos de la madera y de las reacciones de los productos de la madera, tostando o quemando las virutas de forma que se logre los mismos efectos que cuando se quema el tonel.
2. Elevación de la temperatura para favorecer la hidrólisis de los complejos de lignina-etanol, evitando lo más posible las pérdidas de aromáticos.
3. Aceleración, mediante una corriente de ozono, de la oxidación de los componentes originales del destilado y de los componentes de la madera, después de la extracción y de las reacciones de formación de aldehídos, ácidos y ésteres.

Resultados y Discusión.

1. Desarrollo y aplicación de los extractos de roble.

Los trabajos referentes a la elaboración y empleo de los extractos de roble son bastante completos y cubren aspectos que van desde los factores que influyen en la extracción de la madera hasta la optimización de los parámetros de operación. El empleo de los extractos de roble está basado en un principio muy sencillo: al entrar el destilado en el barril, éste destilado ya lleva el contenido de madera que en un período de meses debe ser extraído, los fenómenos de oxidación de los compuestos de la madera comienzan inmediatamente.

La introducción de estos trabajos realizados en nuestro país han demostrado que como promedio los tiempos son disminuidos alrededor del 50%, obteniéndose rones de características equivalentes a las diferentes categorías, es decir de hasta 6 meses, de hasta 12 y de hasta 24 meses de añejamiento acorde a la cantidad de extracto empleada y el tiempo posterior de estadía en los barriles.

Otra ventaja consiste en la posibilidad de poder utilizar barriles prácticamente agotados, pues el barril actúa como recipiente en el cuál se producen las reacciones de oxidación más que como recipiente que cede algo al líquido.

Lógicamente es necesario considerar que hay una disminución de pérdidas como resultado de un tiempo menor en los barriles, siendo esta pérdida promedio de 1 a 1,5% mensual.

Según los estudios realizados por Paz y otros (1985), el mejor método es la ebullición a reflujo total, aunque industrialmente se trabajó con percolados con buenos resultados a pesar de que a escala piloto se había obtenido una respuesta contradictoria, ya que rones con adición de percolado de roble no habían sido los mejores al compararlos con otras variantes cuestión ésta para la cual no había una explicación lógica.

Se han optimizado los parámetros de operación, estudiándose diferentes métodos como la percolación, la extracción por reflujo y la maceración así como la composición de los extractos.

Una deformación del empleo de este método, es considerar que los extractos de robles obtenidos son gotas mágicas que dotan a los destilados de añejamiento y de esta forma se pretende, fuertemente, solo añadirlos, mezclar y dar por terminada la producción de la bebida. En ese sentido el extracto es empleado como agente saborizante y no como añejante, perdiéndose el verdadero valor de esta tecnología y deformándose sus resultados.

2. Sistema de cama empacada.

Esta tecnología presenta como una indiscutible ventaja, la disminución de las mermas por evaporación en cerca del 70% y la disminución de los tiempos de añejamiento entre 30 y 50%.

Según los resultados obtenidos por Queris (2005), el empleo de la madera cortada en tablillas siempre será más costoso que si esta se encuentra en forma de virutas pues mientras las tablillas constituyen un corte específico de la madera, las virutas son residuos de la fabricación de los barriles y también se pueden obtener de partes de los árboles no utilizables para elaborar dichos barriles. Se obtiene una más rápida extracción dado el mayor estado de división y el bajo grosor de ellas a la vez que se logra una mayor estabilidad en la composición de los destilados añejados al emplearse siempre una dosis nueva de viruta, mientras que en los barriles dicha composición varia cada vez que se llena el barril con un destilado nuevo.

Se han realizado diversos estudios por parte de Serrate y otros (1981), para determinar qué tratamiento previo es necesario aplicar a la madera para lograr la presencia de los componentes deseados, estudiándose fundamentalmente dos líneas, la referente a tratamientos químicos y térmicos, determinando sus ventajas.

Investigaciones relacionadas por Pino (2007), con el contenido de lactonas de roble y polifenoles en rones añejados en sistema de cama empacada aplicándose diferentes tratamientos a la madera y a los rones, concluyeron que este método era el mejor para dotar de notas añejas a los rones lo cuál fue corroborado por los análisis químicos al contenido de los polifenoles como en el de lactonas.

Su aplicación en la industria es incompleta pues no se emplean sistemas de oxigenación, ni los tratamientos apropiados a la madera, ni controles tecnológicos y analíticos que permitan obtener sus mejores resultados.
No obstante, se ha comenzado la extensión de su introducción en fábricas principalmente del MINAL garantizando la calidad de los rones obtenidos y con ventajas económicas interesantes.

3. Empleo de calor y ozono.

Este proceso de añejamiento acelerado puede ser aplicado al aguardiente, al alcohol o a mezclas de ambos y se ha demostrado que los mejores resultados se obtienen al emplear dos etapas, cuya secuencia debe ser:

1. Tratamiento de destilados en un reactor de virutas de roble previamente tostadas o quemadas, a temperaturas no superiores de 65 grados. De igual forma puede realizarse con el alcohol o mezcla, rebajando el grado a menos de 70°GL.
2. Aumento de la velocidad de oxidación de los componentes provenientes de los destilados y de los extraídos de la madera, fundamentalmente polifenoles de la hidrólisis de la lignina, mediante una corriente de oxígeno enriquecido en ozono. Los tiempos no deben pasar de 1 hora, tiempo suficiente para eliminar todo sabor y olor desagradable en los destilados.

Para perfeccionar este método de añejamiento, se realizó el montaje de una técnica para la determinación de fenoles en aguardientes y rones por HPLC, González (2003) y se obtuvieron mediante análisis de regresión modelos matemáticos que nos permiten determinar el tiempo equivalente de añejamiento para un aguardiente a 75°GL, conociendo los valores de pH, acidez, aldehídos, color y ésteres. También se concluyo que para evitar grandes pérdidas de componentes volátiles (ésteres y aldehídos) es necesario que el calentamiento se haga sin llegar a ebullición (aproximadamente 65°C), o de lo contrario en equipamiento apropiado. Se debe someter a calentamiento el aguardiente en presencia de virutas de madera de roble y posteriormente realizar la ozonización, para obtener mayores valores de acidez y la velocidad en la formación de ésteres superior, mientras que la de los aldehídos ligeramente menor.

Cuando las etapas en este proceso se combina con reposo en toneles se logra un completamiento de los procesos de oxidación y por consiguiente una mayor armonía entre ellos, lográndose incrementos mensuales de la acidez, acetato de etilo y acetaldehído superiores a los clásicos en 69, 66 y 18 % respectivamente.
Los tiempos de añejamiento serán como promedio 10 veces menores a los tradicionales

Como resultado de los estudios realizados en el perfeccionamiento de esta metodología, se pone de manifiesto que es necesario llegar a un compromiso para lograr el producto final que se desee con la calidad establecida. De no ser aplicados todos los factores, se producen desequilibrios en la composición que dan lugar a productos muy astringente y por tanto no agradable al paladar.

Conclusiones.

1. Con los métodos de añejamiento acelerado se disminuye los ciclos tradicionales de añejamiento, con el incremento de la acidez, aldehídos y ésteres en los destilados, aunque es posible incorporar alguna etapa de añejamiento clásico, cuando así se requiera para lograr algún producto específico.
2. Las instalaciones fabriles son compactas y factibles de automatizar, por lo que se logra reducir las mermas por derrame, trasiego y evaporación.
3. Permite emplear recipientes de durabilidad superior lográndose reducir los gastos por barriles e instalaciones, utilizándose madera en desuso o en su forma natural bruta.
4. En resumen los métodos de añejamiento combinados, permite un incremento notable de la producción, disminuyendo los costos considerablemente.

Referencias.

- Boscolo, M. (1996). Estudio sobre envelhecimento de aguardente de cana-de-açúcar. "Disertación para Master en Ciencias Quìmicas. Ins. De Quimima de San Carlos. Univ. De An Pableo. 33-40.
- Villareal, A., Pérez, J., Torrez, H. (1990). Disminución del tiempo de añejamiento en rones hasta 24 meses usando extractos de roble. Informe interno del IIIA.
- Puech, J. L. (1989). Evolution of oak wood lignin subjected to flash hydrolysis. Holzaforschung, 43, 235-238.
- Maga, J.A. (1989). The contribution of wood to the flavor of alcoholic beverages. Food Reviews International, 5, 39-99.
- Giménez, R.; López, H.; Villalón, M.; Quesada, J.; López Martínez, M.C. (1996). Influence of word heat treatment, temperature and maceration time on vainillin, syringaldehyde and gallic acid contents in oak word and wine spirits mixtures. Am. J. Enol. Vitic. 47(4), 441-446.
- Pérez, J., Villareal, A. (1988).Evaluación comparativa de diferentes tecnologías para la obtención del extracto de roble. Informe Interno del IIIA.
- Queris H. O. (1980). Añejamiento en envases no convencionales. IIIA. TI-5-1980
- Vázquez M, González M.D. (1988). Depuración acelerada de aguardientes. Revista ICIDCA. XXII. No. 2.
- Paz. M. T., Villarreal A. (1985). Mejoramiento del proceso de obtención del extracto de roble por percolación. Trabajo de Diploma Facultad de Farmacia Alimentos. U.H.
- Serrate Ma. A. M; Queris H.O. (1981). Estudios sobre tratamientos a aplicar a la madera de roble para su empleo en el añejamiento de destilados. Trabajo de Diploma Facultad de Farmacia Alimentos. U.H
- Queris H.O., Milenis Rondón. (2005). Establecimiento de una equivalencia en el sistema de cama empacada entre el área de madera y el peso de las virutas
- Pino J. (2007). Characterization of rum using solid-phase microextraction with gas chromatography-mass xpectrometry. Food Chem. 104, 421-428
- González Flórez, M.D, Vázquez García, M.A, González González, J.L., Guadarrama Rodríguez, R. (2003). Estudio sobre la evolución del añejamiento de aguardientes mediante sistema clásico y acelerado. Informe interno del ICIDCA, punto de control del proyecto 226.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS ALFA E BETA-ÁCIDOS DEL LÚPULO, EN EL CONTROL BIOCIDA DEL PROCESO FERMENTATIVO Y SU INFLUENCIA EN EL NÚMERO DE RECICLOS EN LA PRODUCCIÓN DE CACHAÇA

EVALUATION OF POTENTIAL ACID ALPHA AND BETA HOP IN THE CONTROL FERMENTATION PROCESS BIOCIDA AND ITS INFLUENCE ON THE NUMBER OF RECYCLES CACHAÇA IN PRODUCTION

João Batista de Almeida e Silva & Maria Bernadete Medeiros
Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo
joaobatista@debiq.eel.usp.br

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue utilizar extractos de alfa e beta ácidos de lúpulo, como agentes bacteriostático o bactericida, para el control del crecimiento de bacterias de la familia *Lactobacillaceae,* contaminantes de las fermentaciones en la producción de aguardiente. Dentro de las bacterias del grupo de lactobacilos, las de mayor incidencia son las especies *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus casei.* Durante la evaluación del empleo de alfa-ácidos como biocida para estas bacterias, se determinó la Concentración Mínima Inhibidora (CMI) a utilizar. Para el desarrollo de los microorganismos se utilizó un medio de cultivo sintético, Agar Man Rogosa Sharpe - MRS. Aunque la concentración de 10 ppm de alfa ácidos fue inocua para las bacterias, su uso en concentraciones de 30 y 40 ppm presentaron potencial bactericida para las especies *Lactobaccillus casei* y *Lactobacillus plantarum*, respectivamente. Aunque el uso do alfa ácido no fue totalmente eficiente se observó una reducción de las concentraciones de células vivas de 10^8 UFC/mL para 10^5 UFC/mL y un efecto bacteriostático en las células remanentes.

Fueron empleadas en las fermentaciones para obtener aguardiente, dos cepas de levadura, una aislada de la fermentación de mosto utilizado para la producción de aguardiente en un alambique de Itagaçaba y otra clasificada como CA-11 que comúnmente es utilizada en la producción de aguardiente a escala industrial. Se observó en ambos casos, que bajo condiciones aeróbicas los alfa ácidos no ejercieron efecto fungicida sobre las levaduras, en concentraciones entre 10 a 100 ppm.

This study was evaluated the use of extracts of alpha acids from hops, as bacteriostatic or bactericidal agent for control of the Lactobacillaceae bacteria, contaminants of fermentation process for the production of cachaça. Among bacteria, the highest incidence in the process are the species Lactobacillus plantarum and Lactobacillus casei. In the evaluation of effects biocide to these bacteria was determined minimum inhibitory concentration (MIC) of the alpha acid and synthetic culture medium Agar Man, Rogosa, Sharpe - MRS. It was also analyzed the action of this compound on cell viability of Saccharomyces cerevisiae. The results in the fermentation with sugarcane juice, the alpha acid showed that in concentration of 40 ppm of alpha acid to the

Lactobacillus plantarum and Lactobaccillus casei to 30 ppm, the concentration bacteria is drastically reduced to a concentration of 108 CFU / ml to 105 CFU / mL. It was also observed that the tested concentrations of alpha-acid to 100 ppm, does not exert an inhibitory effect on the activity of the yeasts.

Palabras Clave
cachaça, lúpulo, bebidas, fermentación

Key Words
cachaça, hops, drinks, fermentation

MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron utilizados extractos de lúpulo con 53,3 % de alfa ácidos, utilizadas bacterias *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus casei* y levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae*. Las fermentaciones fueron conducidas en frascos Erlenmeyer utilizando 100 mL de medio.

Las determinaciones de alfa e beta ácidos fueron conducidas de acuerdo con la American Society of Brewing Chemists, ASBC, 1996.

Para desarrollar los *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus plantarum* fue utilizado el medio Man, Rogosa, Sharpe-MRS, como medio de cultivo.

Fue utilizado alfa-ácidos en las concentraciones finales de 10 a 100 ppm para evaluar su efecto sobre la inhibición del crecimiento de las bacterias *L plantarum* y *L casei.* Los experimentos fueron conducidos en tubo de ensayo con 7 mL de medio estéril MRS. Al medio fueron adicionados 20 µL de solución do alfa-ácidos en alcohol etílico absoluto (variando a concentración de alfa-ácidos) y 0,5 mL de inoculo compuesto por células de la bacteria correspondiente en cada experimento.

La cantidad de células fue cuantificada utilizándose el método de contaje del número de células viables en placa.

Las células de levaduras fueron cultivadas en tubos de ensayos conteniendo 3 mL de caldo Sabourand, que sirvieron de inoculo para 20 mL del mismo caldo en frascos Erlenmeyer, de 50 mL de capacidad. Los cultivos fueron desarrollados en agitación a 180 rpm, en una temperatura de 24 ^{0}C por 48 horas. El volumen utilizado fue de 250 µL que corresponde a una suspensión de células de 1,0 x 10^{6}, por mililitros de medio.

Fue utilizado alfa-ácidos en las concentraciones finales de 10 a 100 ppm para evaluar la inhibición del crecimiento de las levaduras. Los ensayos fueron conducidos en tubo de ensayo con 5,0 mL de medio Sabourand y fueron adicionados 20 µL de solución de alfa-ácidos en alcohol etílico absoluto (variando la concentración do alfa-ácidos) y 250 µL del inoculo de células da levadura. Fueron cuantificadas las concentraciones de levaduras en el medio Sabourand. El número de células de levaduras fue cuantificado en cámara de neubauer.

RESULTADOS

Los efectos de las concentraciones mínimas inhibitorias de alfa ácidos en el crecimiento de las bactérias *L. casei* y *L. plantarum* son mostrados en la Figura 1 y Figura 2, respectivamente.

La acción de los alfa-ácidos en las células de las bacterias *L. casei* y *L .plantarum* fue evaluada con base en las concentraciones utilizadas que variaron de 10 a 100 ppm, en sistema conteniendo medio de cultivo MRS.

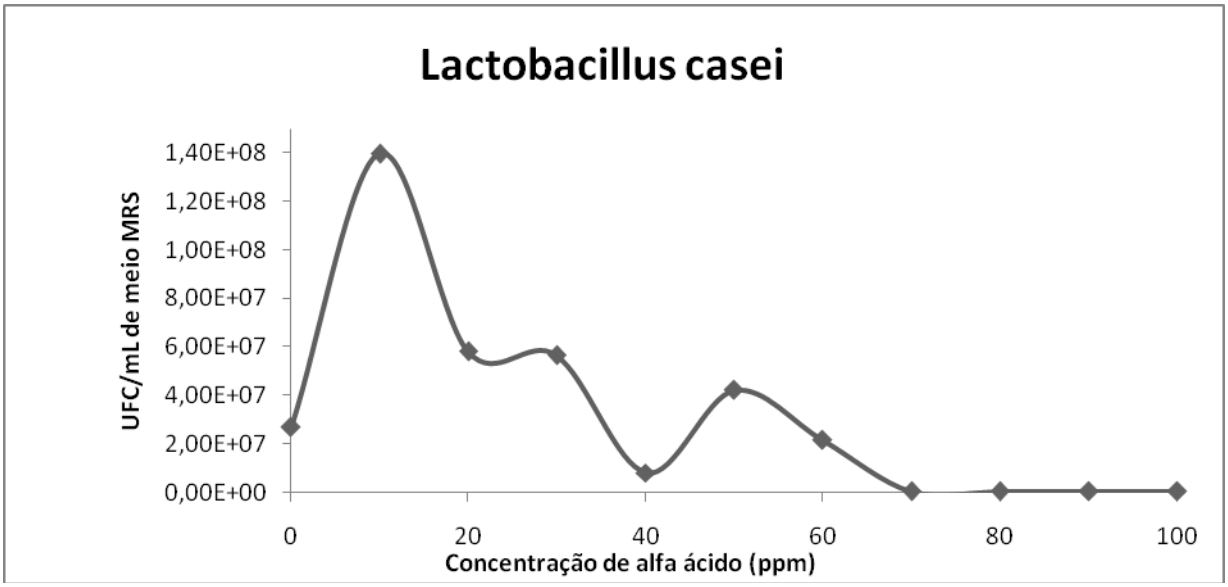


Figura1. Número de células viables de la bacteria *Lactobacillus casei* en medio MRS con la adición de alfa-ácidos y con 48 horas de cultivo.

Se observó claramente una grande diminución del número de células durante el cultivo de las bacterias con el aumento gradual de las concentraciones de alfa-ácidos, en el medio de cultivo.

En la evaluación del efecto de alfa-ácidos en las células da bacteria *L. casei,* se verificó un aumento y una estabilidad del número de células, en los ensayos con alfa-ácido en las concentraciones de 10, 20 y 30 ppm, respectivamente. Los datos indican que en la concentración de 10 ppm, hubo un aumento del número de células. Sin embargo el uso de alfa-ácidos en las concentraciones de 20 y 30 ppm, inhibió el crecimiento celular, demostrando un efecto bacteriostático para las células bacterianas. En concentraciones de alfa-ácidos superiores a 30 ppm, el número de células viables fue de 3,0 x 10^5 UFC/mL, que indica el efecto bactericida de los alfa-ácidos. Los resultados demostraron que los efectos inocuo, bacteriostático y bactericida en las células de la bacteria *L. casei*, están relacionados con las concentraciones utilizadas de alfa-ácidos.

Con relación al experimento con células de *L. plantarum,* los alfa-ácidos en todas las concentraciones utilizadas (10 a 100 ppm), presentaron acción bactericida como actividad única. En el ensayo con 10 ppm de alfa-ácidos el número de células determinado fue de 10^8 UFC/ml, indicando que esa concentración de alfa-ácidos, no es la ideal para el número de células inicial de UFC.

En la evaluación con *L. casei,* en el ensayo con concentraciones de alfa-ácidos de 10 ppm fue determinado un valor de 1,67 x 10^7 UFC/mL, que establece una reducción de 4,57 % de la

concentración inicial de células viables (1,75 x 10^7 UFC/ml). Ese resultado fue similar en los ensayos posteriores y en las concentraciones de 40 a 100 ppm de alfa-ácidos, los valores de reducción fueron de 97,65 a 99,60 %.

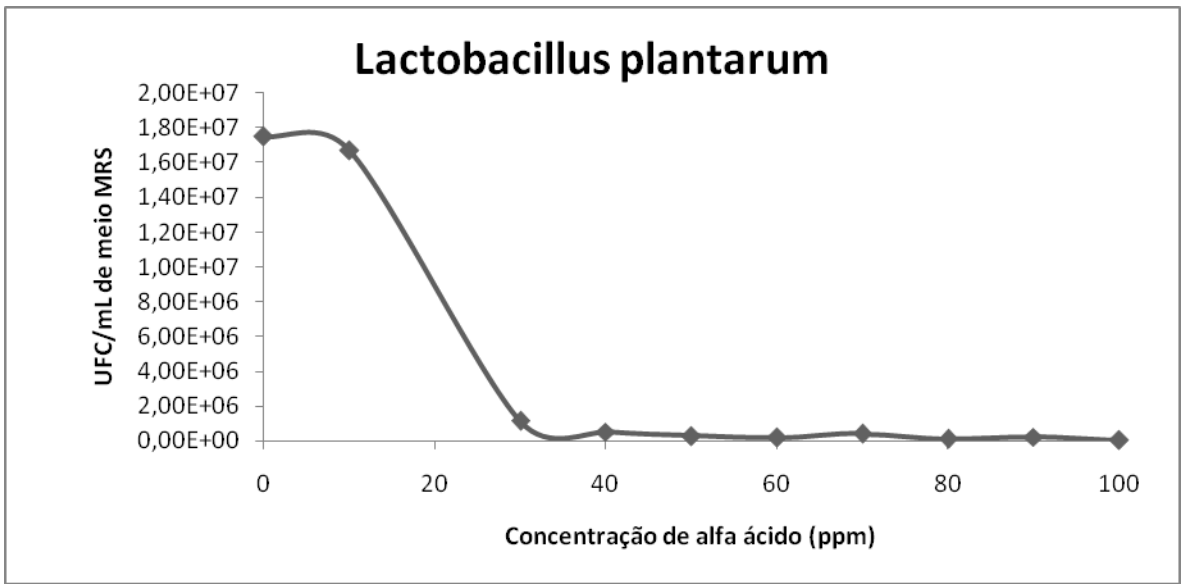


Figura 2. Número de células viables de la bacteria *Lactobacillus plantarum* en medio MRS adicionando alfa-ácidos y con 48 horas de cultivo.

Las bacterias *L. plantarum* y *L. casei* son ácido-lácticas, fermentadoras estrictas, siendo el ácido láctico el principal producto de la fermentación de azúcares. Estas bacterias son tolerantes a altas concentraciones de ácido, razón por la cual, se puede medir los valores de pH en el medio MRS, indicado por la concentraciones de los iones de hidrogeno en el sistema.

Las células da levadura fueron cultivadas en medio Sabourand com una agitación de 110 rpm y adicionando los alfa-ácidos en las diferentes concentraciones. Los números de células fueron calculados utilizando cámara de Neubauer. Se observó en todos los ensayos, que independiente de las concentraciones de alfa-ácidos, se mantuvo una relación constante del número de células viables, con valores entre 1,70 x 10^8 y 3,15 x 10^8 células por mililitro de medio. Mismo con la utilización de concentraciones mayores de alfa-ácidos (50 a 100 ppm), se observó una estabilidad del número de células, indicando que los alfa-ácidos no presentaron una acción fungicida inhibitoria sobre la actividad de las células de levadura.

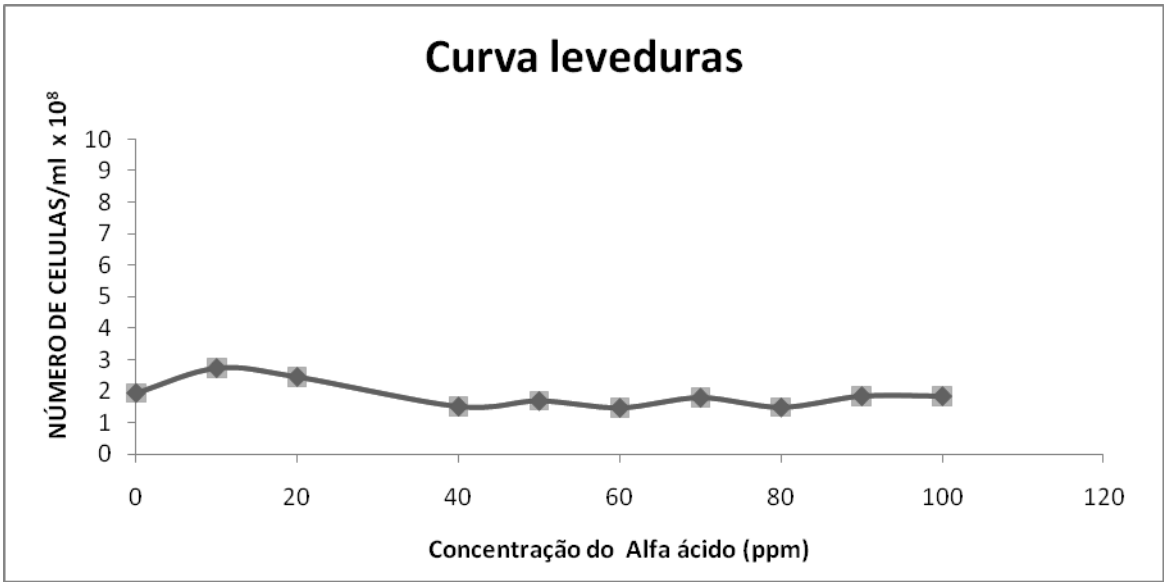

Curva leveduras
NÚMERO DE CELULAS/ml x 10⁸
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
20
40
60
80
100
120
Concentração do Alfa ácido (ppm)

Figura 3. Número de células viables de la levadura adicionando alfa-ácidos entre 10 y 100 ppm.

CONCLUSIONES

- ✓ El efecto bacteriostático y bactericida de los alfa-ácidos sobre las células de *L. casei,* depende de la concentración utilizada;
- ✓ Concentraciones de alfa-ácidos entre 30 y 100 ppm tienen efecto bactericida sobre la *L. plantarum;*
- ✓ Concentraciones de alfa-ácidos entre 10 y 100 ppm demostraron ser inocuas para las células de levadura insolada de fermentaciones alcohólica.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Fundación para la Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP) y el Consejo de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASBC - Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists. 8th Revised Edition. Minnesota: the Technical Committee and the Editorial Committee of the ASBC, 1996

Cherubin, R. A. Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003. (Dissertação doutorado) - Universidade de São Paulo

Henning,J. The breeding of hop. In: BAMFORTH, C.W. Brewing New Technlogies.Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2006, p.102-122.

Medio ambiente

PRODUCCION DE COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES AZUCAREROS Y SU EVALUACION EN EL CULTIVO DE *MANIHOT ESCULENTA CRANTZ* (YUCA).

COMPOST PRODUCTION FROM SUGAR INDUSTRY WASTE AND ITS EVALUATION IN THE YUCCA CROP.

Autores: MSc. Boris Platero Gutiérrez, Ing. Iván Rossi Tamayo, MSc. Santos Gómez Fernández, Ing. Jesús Sánchez Gutiérrez eIng. Yoslen Fernández Gálvez

Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Centro-Oriental. Camagüey

bplatero@eticacm.azcuba.cu

RESUMEN

Teniendo en cuenta que la degradación de los suelos es que uno de los principales problemas ambientales en Cuba y que la industria azucarera continúa generando grandes volúmenes de residuos, se estudió la posibilidad de producir nuevas variantes de compost, a partir de los residuos agroindustriales azucareros y emplearlas en el cultivo de la yuca en el banco de semill de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Se produjeron tres variantes de compost en áreas de la estación experimental teniendo en cuenta los principales aspectos del proceso de compostaje.

Las variantes de compost obtenidas fueron evaluadas en el cultivo de *Manihot esculenta* Crantz (yuca) (variedad CEMSA 74-6329) utilizando como diseño experimental un cuadrado latino. Desde que se realizó la caracterización físico-química se apreciaron mejores características de la variante II de compost, y también se reflejaron en las evaluaciones agroproductivas del cultivo, pues se logró un mejor rendimiento agricola en el tratamiento en que se empleó este tipo de compost, alcanzandose una ganancia económica de $ 16306.40 por hectárea con respecto al testigo. Esta variante de compost consiste en 70% de cachaza, 15% de hojarascas, 10% de estiércol ovino y 5% de cenizas.

Palabras claves: degradación de suelos, residuos agroindustriales azucareros, compost, mejorador

ABSTRACT

The soil degradation is one of the main environmental problems in Cuba and the sugar industry continues generating large volumes of waste. In this work was studied the possibility of using several variants of compots produced from sugar industry waste. The compost obtained was applied in the yucca crop in the Sugarcane Research Station of Camaguey. Three variants of compost were produced and evaluated in the

yucca culture (variety CEMSA 74-6329) using a Latin square as experimental design. The variant II of compost was better physical and chemical characteristics. Also, the variant II of compost reflected better results in the agroproduction assessments crop. The treatment that used this type of compost, reached an economic gain of $ 16306.4 per hectare compared with the control. The variant II of compost consists on 70 percent of filter mud, 15 percent of fallen leaves, 10 percent of sheep manure and 5 percent of ash.

Key words: soil degradation, sugar industry waste, compost.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XX los países más desarrollados generalizaron mundialmente variantes de producción poco sostenibles; pero de inicio más lucrativas, que se caracterizan por elevados consumos de energía y productos químicos y acarrean afectaciones del medio ambiente, que incluyen la contaminación del suelo y las aguas con sustancias dañinas a todas las formas de vida, disminución del nivel de materia orgánica y reducción de la fertilidad y biodiversidad.

Estas “Técnicas Intensivas del Pasado Siglo” han ocasionado, entre otros problemas:

a) Afectaciones por pérdida de fertilidad, en un 28% de los suelos de Sudamérica, coincidiendo con que solo entre 1950 y 1960 el consumo de fertilizantes nitrogenados se multiplicó en 20 veces (Pratt, 1982).

b) Incrementos en la erosión y compactación de los suelos

La agricultura cubana no es excepción en este fenómeno universal de “demolición acelerada de los recursos naturales”. Por ejemplo, según Gómez (1997), desde 1929 se aprecia un decrecimiento paulatino del contenido de materia orgánica de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, un aumento continuo de la compactación de los mismos y un incremento significativo del nivel de contaminación del ecosistema por el uso excesivo de fertilizantes químicos y productos herbicidas.

En contraposición a la quimización de la agricultura, investigadores cubanos, como Arzola, Menéndez y De León. (2000), Cairo y Machado (1995), y otros, han profundizado en la validez de la práctica agrícola tradicional de aplicar abonos orgánicos como el compost en la agricultura. En nuestro país el sector azucarero es un gran generador de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Por ejemplo gran volumen de cachaza se extrae de los ingenios y aunque la misma puede ser utilizada directamente como enmienda en el suelo, se presentan problemas con su transportación; así como grandes concentraciones de Residuos Agrícolas Cañeros (RAC) son generados, que con un peso volumétrico muy bajo son difíciles de transportar y aunque contienen más de un 90% de materia orgánica, se queman continuamente sin provecho alguno.

El sector azucarero ha intensificado la generalización del proceso de compostaje, pero basado fundamentalmente en una variante única, que consiste en un 80 porciento de cachaza; sin embargo el sector se ha diversificado y existen otros residuos orgánicos que pueden ser de utilización como abono orgánico.

Con el contexto antes planteado se realizó este trabajo a partir de la problemática de que la agroindustria azucarera genera grandes volúmenes de residuales orgánicos que al no darles un uso apropiado se convierten en fuente de contaminación del medio ambiente, y teniendo como objetivo producir y evaluar diferentes variantes de compost a partir de residuos de la agroindustria azucarera, mediante un sistema abierto para emplearlas en el cultivo de *Manihot esculenta* Crantz (yuca).

MATERIALES Y METODOS

Localización

El estudio fue realizado en la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, ubicada en el batey ¨Las Mercedes¨ del municipio Florida, sobre un suelo Pardo con Carbonatos, según la clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández y otros, 1975); en las coordenadas 21º.31´de Latitud Norte y los 78 º.14´de Longitud Oeste, situada a los 57.08 m de altura sobre el nivel de mar.

Determinación de las variantes de compost

Para la producción de las variantes de compost se tuvo en cuenta la experiencia de investigadores del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar y aplicando las ecuaciones matemáticas sugeridas por Velarde y otros (2004), se determinaron parámetros imprescindibles a tener en cuenta en la mezcla de residuos para la producción de compost.

La masa de la materia seca del residuo se calculó por la siguiente ecuación:

$$M_S = M \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad \text{(kg o t)}$$

Donde: Ms--- masa en materia seca del residuo

M --- masa del residuo

H--- porciento de humedad

Es necesario calcular la masa seca de cada componente, para después con su sumatoria tener idea de la masa total de la mezcla que se va a realizar, además también es necesario para calcular la materia orgánica.

La masa de materia orgánica del residuo se calcula:

$M_{MO} = (MO/100) \times M_S$ (kg o t)

Donde: M_{MO} --- masa de materia orgánica del residuo

MO --- porciento de materia orgánica

Ms--- masa en materia seca del residuo

La masa de nitrógeno en el residuo se calcula:

$$M_{N=} \frac{N}{100} \times M_S \quad \text{(kg o t)}$$

Donde: M_N--- masa de nitrógeno del residuo

N ---- porciento de nitrógeno

Ms--- masa en materia seca del residuo

Tanto la masa de materia orgánica (M_{MO}) y la masa de nitrógeno (M_N) de la mezcla son necesarias determinarlas para poder calcular la relación C/N, indicador muy importante para lograr un correcto proceso de compostaje, según Braun (1992) en el cuerpo de los microorganismos existe aproximadamente una parte

de nitrógeno por cada 10 de carbono y la síntesis de una parte del carbono implica la pérdida de dos partes en forma de CO_2

Si se mezclan 1,2, 3……n componentes, lo expuesto se representa mediante

$$M_M = \sum_{i=1}^{n} M_i \quad \text{(kg o t)} \quad \text{para la masa de la mezcla}$$

$$M_{MOM} = \sum_{i=1}^{n} M_{MOi} \quad \text{(kg o t)} \quad \text{para la materia orgánica de la mezcla}$$

$$M_{NM} = \sum_{i=1}^{n} M_{Ni} \quad \text{(kg o t)} \quad \text{para la masa del nitrógeno en la mezcla}$$

Para la corrección de la relación C/N se utilizó la ecuación:

$$C/N = \frac{M_{MOM}}{M_{NM} \times 1.8}$$

La esencia teórica de la corrección de la relación C/N reside en proporcionar los materiales necesarios para el desarrollo de los microorganismos.

Producción del compost

Para la elaboración del compost se utilizó el método de sistema abierto con movimiento de la mezcla. Las pilas se conformaron con 4 m de largo, 1 metro de ancho y 0.85 m de altura. El movimiento de la mezcla se realizó de forma manual, utilizando palas.

En los primeros días de producción del compost se viraba la pila con una frecuencia de dos veces por semana, a los 20 días aproximadamente se comenzó a virar solamente una vez semanal, hasta dejarlo en la etapa de maduración. Para mantener la humedad en la mezcla se le añadía agua con un cubo. Las variantes de compost fueron montadas en abril del 2010.

Determinación de las características del compost producido

Las determinaciones analíticas fueron realizadas en el laboratorio de Suelos y Agroquímica de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Camaguey, según el Manual de Técnicas Analíticas del Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Cana de Azucar. (ICIDCA,1985).

- Para la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico, disolviendo la muestra en agua. La lectura se realizó con un ph metro modelo Toledo.

- Para la determinación de la humedad se empleó una estufa china modelo 101-1.

- La conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro modelo chino DDS-11A

- La materia orgánica se determinó por el método de ignición.

- El contenido de nitrógeno (N) se determinó por el método Kjerdahl

- El contenido de fósforo (P) y potasio (K) se determinaron por el método Oniani

Evaluación del compost en el cultivo de la yuca

El estudio se plantó en la segunda quincena de mayo del 2011 en un área sin riego en el banco de semilla de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. El clon de yuca plantado fue el CEMSA 74-6329.

La preparación del suelo se hizo de forma tradicional con arado de discos y se efectuaron dos pases de grada según las características del suelo para lograr el mejor acondicionamiento del terreno.

La cosecha se realizó en la segunda quincena de febrero del 2012.

El diseño experimental utilizado fue un cuadrado latino 4*4, donde se probaron las tres variantes de compost producidas y un testigo donde no se aplicó compost, quedando de la siguiente forma:

I	II	III	IV
VI	III	II	I
II	IV	I	III
III	I	IV	II

Donde:

I----- Testigo

II---- Aplicación de la variante 1 de compost

III--- Aplicación de la variante 2 de compost

IV--- Aplicación de la variante 3 de compost

Para el montaje del experimento, se conformaron parcelas de cinco surcos con 4 metros de largo y se aplicaron las diferentes variantes de compost a razón de 0.7 kg por planta en el momento de la siembra, mezclándolo con el suelo como recomienda Paneque (1998).

Evaluaciones realizadas

- Porciento brotación
- Cierre de campo
- Número de raíces comerciales
- Rendimiento agrícola

Características botánicas del clon plantado, CEMSA 74-6329

Planta de 1,5 a 2,5 m, que presenta de 3 a 4 ramificaciones, porte medianamente ramificado, tallos de color plateado, lóbulos simples, hojas con 5 a 7 lóbulos de color verde oscuro cuando adultas, follaje joven verde-rojizo, peciolos verde-rojo en las hojas jóvenes, tanto en la parte superior como en la parte inferior, y en las hojas adultas, rojo por la parte superior y rojo-verde por la parte inferior. Presenta generalmente más de cinco raíces por planta, lisas, cilíndricas, pedunculadas; la película externa de color castaño claro, corteza de color crema y pulpa blanca, ciclo de cosecha a partir de los 8 meses.

Cálculo del efecto económico

Con los datos del rendimiento agrícola, los costos incurridos en la producción del compost, en las labores de plantación, en las atenciones culturales y en las actividades de cosecha en cada una de las variantes estudiadas se realizó el cálculo del efecto económico teniendo en cuenta el precio de venta de la yuca que es de $ 1650 la tonelada.

El efecto económico (E.E.) se calculó por la fórmula siguiente para cada variante:

E.E. = VP – (CP+Cpcomp)

Donde:

E.E. = Efecto económico (Pesos/ha)

VP = Valor de la producción.

CP = Costos de producción.

Cpcomp = Costos de producción del compost

Análisis estadístico

Para el procesamiento estadístico de los resultados se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 11.5.

Se realizó un análisis de varianza de las variables evaluadas para detectar las posibles diferencias entre las mismas. Para determinar cuál o cuáles eran los mejores tratamientos se aplicó la prueba de rangos múltiples de Tukey para una probabilidad de error del cinco por ciento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variantes de compost producidas.

Empleando las ecuaciones descritas por Velarde y otros, (2004) se estudiaron varias posibles variantes para producir el compost, finalmente se determinó producir las siguientes variantes de compost:

Variante 1

- Cachaza 80%
- Residuos Agrícolas Cañeros (RAC) 10%
- Ceniza 10%

Variante 2

- Cachaza 70%
- Hojarascas 15%
- Estiércol Ovino 10%
- Ceniza 5%

Variante 3

- Residuos Agrícolas Cañeros (RAC) 70%
- Estiércol Ovino 20%
- Ceniza 10%

Estas variantes son las propuestas porque cumplen con el principio fundamental de lograr una relación de C/N en la mezcla de 25-35, esto está acorde a lo planteado por investigadores de la temática como Mayea (1993) y Funes, Hernández (1996).

Caracterización física-química del compost

Se realizó el muestreo de las tres variantes de compost producido, tomando tres muestras de cada pila, los resultados obtenidos se reflejan en las tablas I y II (se muestra el valor promedio de cada indicador):

Tabla I. Datos físicos del compost

Compost	Índice de espacio vacíos	Humedad (%)
Variante I	27	46.2
Variante II	30	44.6
Variante III	45	40.2

Tabla II. Datos químicos del compost

Compost	Materia Orgánica (% en base seca)	% N	$\%P_2O_5$	$\% K_2O_5$	pH
Variante I	57	1.05	2.15	1.0	6.7
Variante II	63	1.36	1.46	0.90	7.2
Variante III	52	1.25	1.93	0.99	6.83

Varios indicadores deben ser evaluados para determinar la calidad del compost.

Según el rango de pH idóneo recomendado por Peña y Companioni (2003) todas las variantes de compost producidas en este trabajo cumplen con este importante indicador de calidad, pues los investigadores mencionados plantean que en un compost maduro el pH debe encontrarse en el rango de 6-8.

La humedad también es aspecto que limita la utilización de los abonos orgánicos porque muy húmedos se dificulta su transportación y manejo. En las tres variantes producidas el porciento de humedad está por debajo de 60, valor que recomienda Gros (1986) como idónea para manejar un abono orgánico.

El componente fundamental del compost es la materia orgánica, que es la que facilita el desarrollo de microorganismos en el suelo, porque constituye fuente de energía para los mismos, además la materia orgánica favorece la permeabilidad del suelo y la retención de agua. Teniendo en cuenta este aspecto las tres variantes de compost cumplen con el requisito para ser clasificado como bueno, pues acorde a lo planteado por Paneque (1998) y Cairo (1993) un compost con más de 50% de materia orgánica en base seca se considera de buena calidad.

También son de importancia los nutrientes que posea el compost para sustituir el uso de esos componentes de forma mineral y mejorar así la fertilidad de los suelos.

El autor del trabajo opina que las tres variantes de compost producidas cuentan con calidad, pero teniendo en cuenta el importante indicador de la materia orgánica plantea que la variante II tiene mejor calidad que las otras.

Resultados de la aplicación del compost en el cultivo de la yuca

Brotación

Al plantar las estacas de yuca, de las mismas brotan una o más yemas de la parte superior. En el estudio como se representa en la Figura 1, no hubo diferencias significativas en los tratamientos en cuanto a la brotación, lo cual significa que la fertilización orgánica no incide directamente en este indicador, es decir que la brotación responde fundamentalmente a características fisiológicas. Ese resultado está acorde a lo planteado por Cock (1999), que hace referencia que el contenido nutricional de las estacas es fundamental para la iniciación de la nueva planta, ya que durante los 20 días siguientes a la siembra su crecimiento se realiza exclusivamente a expensas de las reservas acumuladas en las estacas.

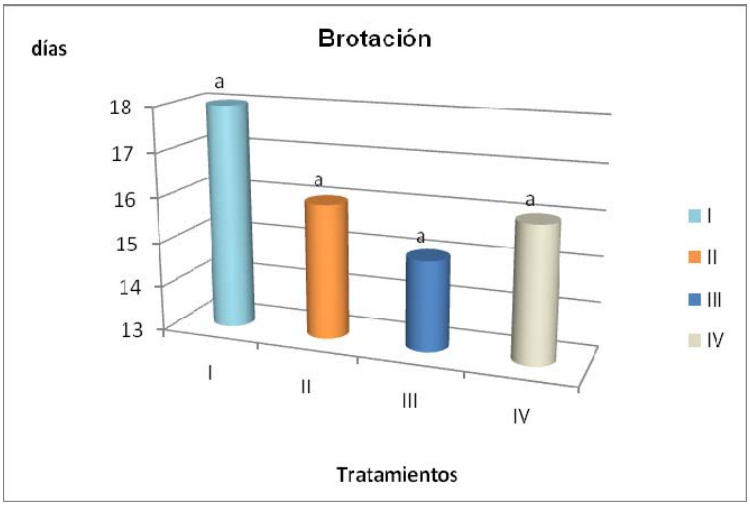


Figura.1 Comportamiento de la brotación. CV=0.62% Sx=0.004

Cierre de campo

Al realizar el análisis estadístico de los datos del comportamiento de los días en que cerró el campo en cada tratamiento, resultó que hubo diferencias con respecto al testigo y de la variante tres con respecto a la dos y cuatro, tal como se aprecia en la Figura 2.

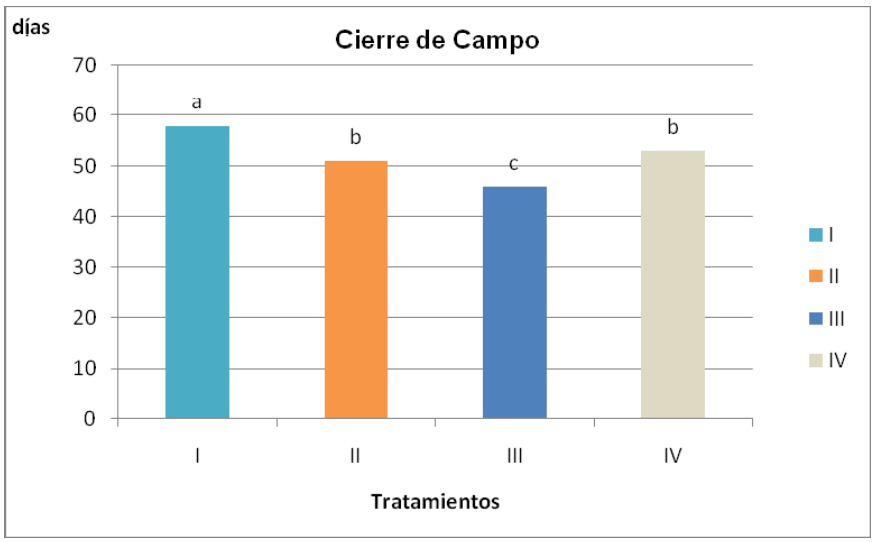


Fig. 2 Comportamiento del cierre de campo. CV=1.76% Sx=1.34

El cierre de campo tiene una relación directa con el control de arvenses, es decir mientras más rapido cierra el campo se reducen las labores en el control de la malas hierbas, lo cual también tiene un impacto ambiental, porque se reduce el uso de herbicidas que se utilizan con el fin de combatir las arvenses y ademas los herbicidas tpueden tener un efecto residual tanto en el suelo como en los acuíferos.

Número de raíces comerciales

En la planta de yuca el número de raíces es una variable del rendimiento, y son precisamente estas las que tienen un valor comercial. Según Cock (1999) en los primeros meses del crecimiento la planta define el número de raíces fibrosas, pero después de los seis meses es que algunas de estas (generalmente menos de 10) se vuelven tuberosas.

Con la aplicación de las variantes de compost se logró un promedio de raíces comerciales de 6.5 con respecto al testigo de 4, pero la mejor variante fue el tratamiento III, presentando diferencias con respectos a los demás tratamientos, como se muestra en la Figura 3.

Como planteara Altieri (1995) la liberación de los nutrientes por parte de los abonos orgánicos es de forma escalonada: 35% para el primer año de aplicación, 17% en el segundo año y en cada año posterior la cantidad disponible es por mitades, también influyen en el desarrollo de las raíces otras propiedades del suelo como la textura, la porosidad y la retención de humedad, las cuales son favorecidas por el uso de abonos orgánicos.

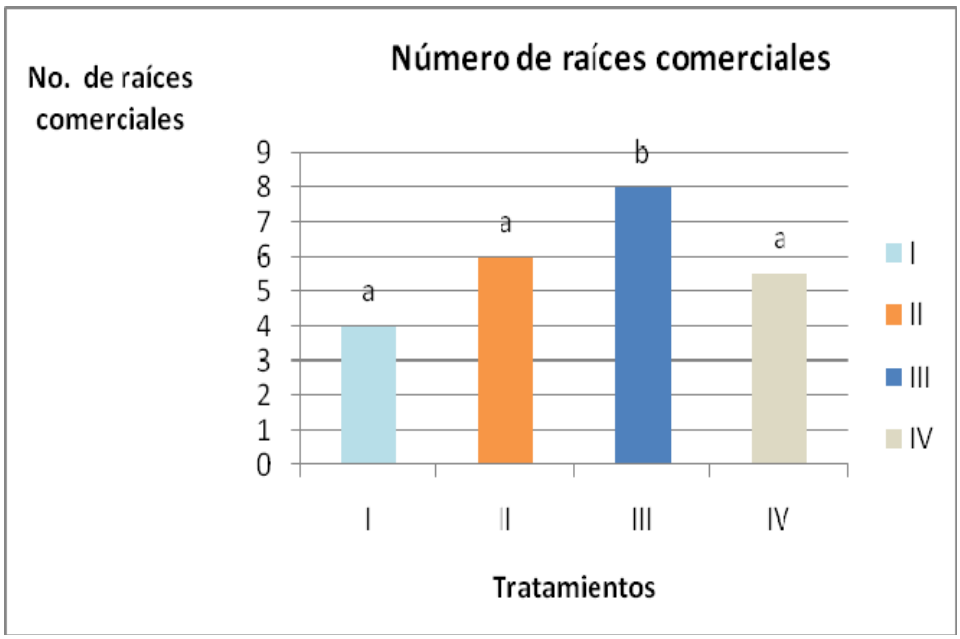


Figura 3. Número de raíces comerciales. C V=11.93% Sx=0.30

Rendimiento agrícola

El rendimiento agrícola tiene proporcionalidad con variables como el número de raíces comerciales y el peso de las mismas. En este estudio resultó (como se muestra en la Figura 4) que hubo un incremento en el rendimiento agrícola en los tratamientos donde se aplicó compost con respecto al testigo sin fertilizar; no obstante según el análisis estadístico no hubo diferencias significativas entre los tratamientos I, II y IV y si con respecto al tratamiento III.

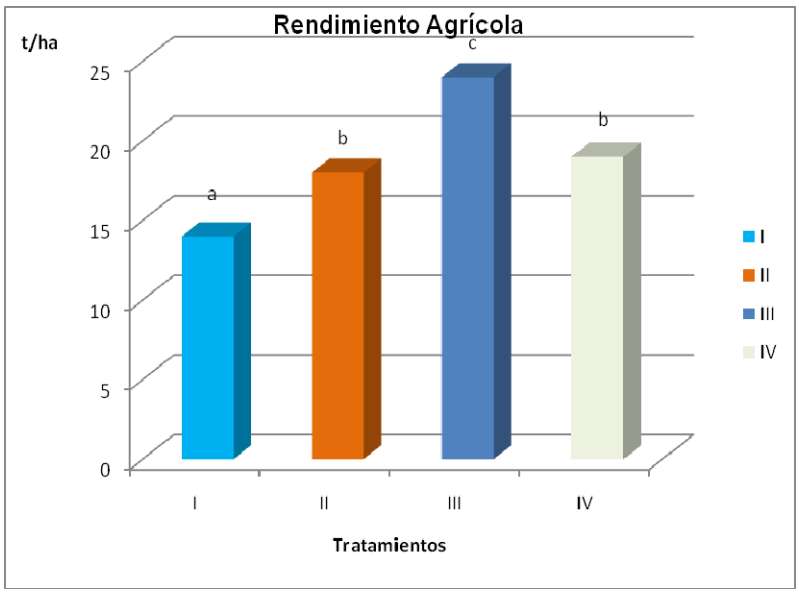


Figura 4. Comportamiento del rendimiento agrícola. CV=5.24% Sx=0.64

Los resultados de rendimiento obtenidos están acorde a lo planteado por Castro (2003), quien afirma que la yuca puede rendir hasta 25 t/ha simplemente con precipitación y fertilización regular, aunque esos rendimientos pueden ser expandidos en condiciones ideales del cultivo.

Se conoce que la yuca extrae grandes cantidades de nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P) y estos macro elementos juntos con el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) son los que determinan mayormente el rendimiento del cultivo, es decir, la cantidad producida de raíces comerciales cosechadas en tonelada estará en dependencia de la disponibilidad de estos nutrientes que tenga la planta; pero también influyen otros factores como el agua y la radiación solar.

Desafortunadamente no existen muchos estudios específicos referente al efecto de los abonos orgánicos sobre el cultivo de la yuca, es por eso que se hace difícil establecer una comparación analítica de nuestros resultados con otros obtenidos anteriormente. Sin embargo se evidencian (y será mucho más a largo plazo) los beneficios del uso de las variantes de compost empleadas.

A pesar de estos resultados y de las ventajas ecológicas del uso del compost, no se puede negar la realidad de que con los fertilizantes minerales se obtendrían rendimientos más altos que con el mejor de nuestros tratamientos, pero habría que preguntarse a qué costo ambiental.

Se demostró que empleando las variantes de compost obtenidas se logra buenos rendimientos agrícolas de yuca, lo cual tiene un impacto social porque a más tubérculo se beneficia la alimentación de la población, así como la animal, porque tanto en Cuba como en muchos lugares del mundo se ensilan las raíces y este proceso permite almacenar el producto, favoreciéndose fundamentalmente la producción porcina y bovina. La raíz de la yuca también tiene gran importancia industrial en la extracción de almidones.

Evaluación económica de los resultados obtenidos en cada variante

Para facilitar el análisis hemos adoptado dividir los gastos en dos grupos principales de actividades: el proceso de producción de compost y el proceso de producción de yuca.

En la tabla III se relacionan los gastos en la producción de cada variante de compost, teniendo en cuenta los precios del grupo empresarial AZCUBA, los mismos son referenciados para 1 tonelada de compost.

Tabla III. Gastos en la producción de compost (1 tonelada)

Conceptos	U.M	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Materiales	$/t	4.97	4.87	1.92
Salario	$/t	5.20	5.20	5.20
Combustible	$/t	1.65	1.65	1.65
Total	$/t	**11.80**	**11.70**	**8.80**

Los gastos en el proceso de producción de yuca fueron similares en todos los tratamientos, pues se empleó la misma variedad y todas las parcelas tuvieron las mismas atenciones culturales, en la tabla IV se reflejan estos valores para una hectárea.

Tabla IV. Gastos en el proceso de producción de yuca para una hectárea

Conceptos	U.M	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Siembra	$/t	600	700	700	700
Atención a la plantación	$/t	900	900	900	900
Cosecha	$/t	400	400	400	400
Total	$/t	**1900**	**2000**	**2000**	**2000**

Entonces para tener un estimado del efecto económico se emplea la fórmula

E.E. = VP – (CP+Cpcomp)

En la tabla V se muestran los resultados del cálculo económico para cada tratamiento. Teniendo como referencia que la entidad estatal de acopio cotiza la yuca a $ 1650/t.

También se debe tener en cuenta que los costos de producción de compost reflejados en la tabla III son para una tonelada y que en una hectárea de yuca aplicando la dosis de 0.7 kg por planta se necesitan aproximadamente 8 toneladas de compost para una hectárea.

Tabla V. Efecto económico

Indicadores	U.M	Tratamientos			
		I	II	III	IV
Costos (CP+Cpcomp)	$/ha	1900	2094.4	2093.6	2070.4
Rendimiento yuca	t/ha	14	18	24	19
Valor de Producción	$/ha	23100	29700	39600	31350
Efecto Económico (E.E)	**$/ha**	**21200**	**27605.6**	**37506.4**	**29279.6**

Se habla de estimado del efecto económico porque en realidad también se debiera tener en cuenta el efecto de la sustitución de fertilizantes minerales al aplicar compost para lograr una valoración más completa, pero ese aspecto no se valoró en este trabajo.

Al comparar los resultados económicos del tratamiento III (que corresponde con la variante II de compost y que resultó el de mayor rendimiento agrícola) con respecto al testigo se obtiene un incremento económico de $ 16306.40 por hectárea.

Impacto ambiental y social del uso de las nuevas variantes de compost.

Primeramente se debe comenzar analizando que los residuos sólidos agroindustriales azucareros cuando no se les busca una correcta solución de tratamiento, se convierten en una agresiva fuente de contaminación del medio ambiente. Por ejemplo, si los RAC son quemados se desprende a la atmósfera grandes volúmenes de CO_2, uno de los gases del efecto invernadero, y también provoca afectaciones respiratorias a la población en las comunidades circundantes donde se realiza la actividad, así como la descomposición de la cachaza provoca fetidez y desprende metano (CH_4). Por eso, el simple hecho de generalizar la aplicación de la variantes de compost obtenidas a partir de residuos agroindustriales azucareros en el cultivo de la yuca contribuye a mitigar la contaminación ambiental, pero ademas emplear el compost como abono orgánico posee múltiples ventajas en el proceso de mejorar la calidad de los suelos, especialmente por el aporte de materia orgánica, y así contribuir a evitar el proceso de degradación de los suelos.

Al ahorrar fertilizantes químicos por la sustitución de utilización de compost se obtiene un impacto económico, pero también ambiental, porque generalmente el uso excesivo de los fertilizantes minerales provoca problemas ambientales.

Desde el punto de vista social también tiene su impacto la producción de compost porque generaría fuentes de trabajo, de personal que se dedicaría a esta actividad y lograr aumentar los rendimientos en el cultivo de la yuca tiene su efecto en la alimentación de la población; así como convivir en un medio ambiente menos contaminado ofrece mejor calidad de vida.

CONCLUSIONES

- Se produjeron tres nuevas variantes de compost, siendo la variante 2 la de mejores características físico-químicas, aunque las demás también estaban según los parámetros.
- Donde se aplicó la variante 2 de compost se obtuvieron mejores resultados en indicadores como el cierre de campo, número de raíces comerciales y rendimiento agrícola, en el cultivo de la yuca .
- Se obtuvo una ganancia económica de 16306.4 pesos por hectárea donde se aplicó la variante 2 de compost.

RECOMENDACIONES

- Evaluar las variantes de compost obtenidas en otros tipos de cultivos, suelos y condiciones climáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Altiere, M. (1995). Agroecología: creando sinergias para la agricultura sostenible. (Informe Tec. No 2). Managua, Nicaragua: Clades.
2. Arzola, N. Menéndez, A., y León, M. de (2000). Bases para el empleo de fertilizantes y enmiendas en el cultivo de la caña de azúcar. La Habana: Publinica. pp 17-25
3. Braun, J. (1992). The composting process. Canada. Ministry of Agriculture and Food. pp 5-6.
4. Cairo, P. (1993). Efectividad de la utilización del compost como alternativa para la fertilización de los suelos dedicados a caña de azúcar. Ponencia presentada en el VIII Forum de Ciencia y Técnica de la Universidad Central, Santa Clara, Cuba.
5. Cairo, P., y Machado, J. (1995). Mejoramiento y fertilización de los suelos en condiciones de una agricultura sostenible. Ponencia presentada en X Forum Nacional de Ciencia y Técnica, La Habana, Cuba.
6. Castro, J. (2003). Manual práctico para el cultivo de raíces y tubérculos. San José, El Salvador: (s.n)
7. Cock, H. (1999). Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo de la planta de yuca. Cañi, Colombia: CIAT.
8. Funes, F., y Hernández, D. (1996). Algunas consideraciones y resultados sobre la elaboración y aplicación del compost en fincas agroecológicas. Agricultura Orgánica, 2 (1), 6-15.
9. Gómez, S. (1997). Estudio de los niveles de población en los campos de caña de azúcar en Cuba. Revista ATAC, 3, 16-23.
10. Gros, A. (1986). Abonos: Guía práctica de la fertilización. La Habana, Cuba: Editora Revolucionaria.

11. Hernández, A. Pérez, J. Ortega, O. Ávila, L. Cárdenas, A. Marrero, A. (1975). Clasificación genética de los suelos de Cuba. Agricultura, 8 (1), 47-69.

12. ICIDCA, (1985). Manual de Técnicas Analíticas. La Habana: MINAZ.

13. Mayea, S. (1993). Instructivo para la elaboración de compost. La Habana: Minagri.

14. Paneque, V. (1998). Abonos orgánicos: Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación. La Habana: INCA

15. Peña, E. y Companioni, M. (2003). Principales aspectos a considerar para evitar la degradación de los suelos. Ponencia presentada en el V Encuentro de Agricultura Orgánica. La Habana, Cuba.

16. Pratt, P. (1982). La utilización de los estiércoles en la agricultura [Diapositiva]. Coahuila, México: Universidad de Coahuila.

17. Velarde, E., León, M. de, Cuéllar, I., y Villegas R. (2004). Producción y aplicación de compost. La Habana: Publinica. pp 31-42.

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL EN LA EMPRESA AZUCARERA PANCHITO GÓMEZ TORO MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN THE SUGAR COMPANY PANCHITO GÓMEZ TORO THROUGH LIFE CYCLE ANALYSIS.

Dulce María Pérez Martínez.[1]

[1]Empresa de Ingeniería y Servicios Técnicos azucareros .Tecnoazúcar Villa Clara

dulcemaria.perez@tavc.azcuca.cu

RESUMEN

La industria azucarera genera un gran impacto en el medio ambiente. En la actualidad, uno de los métodos novedosos para evaluar cuantitativamente los impactos ambientales generados por productos y procesos es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). En el presente trabajo se aplica dicha metodología para cuantificar el impacto ambiental de la empresa azucarera "Panchito Gómez Toro". Los resultados muestran que la metodología utilizada constituye una herramienta valiosa para evaluar el desempeño ambiental de la producción de azúcar y se comprueba científicamente que la mayor contribución al impacto del proceso está dada por la etapa agrícola y en ésta, por el uso de la tierra y el uso de fertilizantes químicos y combustibles. El mayor impacto en la etapa industrial está dado por la cogeneración de electricidad con bagazo, producto de un incremento considerable en la emisión de material particulado, convirtiéndose en un punto caliente sobre el cual es necesario actuar con rapidez. La contribución del proceso a la categoría de Combustibles Fósiles muestra la alta eficiencia en la generación de energía que se logra en la empresa Panchito Gómez Toro. La combinación del uso del sistema de depuración de gases con otras medidas de P+L permite una reducción en el valor de la mayoría de las categorías de impacto consideradas, destacándose la de efectos respiratorios de compuestos inorgánicos y la de combustibles fósiles. Este trabajo constituye el punto de partida para la elaboración de los inventarios para esta industria y para la región de América Latina.

Palabras clave: *impacto ambiental, análisis de ciclo de vida, cogeneración con bagazo, depuración de gases*, *inventario de ciclo de vida.*

ABSTRACT

Sugar industry produces a great impact on the environment. Currently, one of the novel methods to quantitatively assess the environmental impacts generated by products and processes is the Life Cycle Analysis (LCA). In this paper we apply this methodology to quantify the environmental impact of the sugar

company "Panchito Gómez Toro". The results show that the methodology is a valuable tool for assessing the environmental performance of the production of sugar and verified scientifically that the greatest contribution to the impact of the process is given by the agricultural stage and in this, for the use of land and the use of chemical fertilizers and fuels. The biggest impact on the industrial stage is given by the cogeneration of electricity from bagasse, due to a considerable increase in the emission of particulate matter, becoming a hot spot on which it is necessary to act quickly. The contribution of the process to the Fossil Fuel category shows high efficiency in power generation is achieved in Panchito Gómez Toro Company. Combining the use of gas purification system with other measures of PL allows a reduction in the value of the majority of the impact categories considered, highlighting the respiratory effects of inorganic and fossil fuels. This work constitutes the starting point for the development of inventories for the industry and for the region of Latin America.

Keywords: *environmental impact, life cycle analysis, bagasse cogeneration, gas cleaning, life cycle inventory.*

INTRODUCCIÓN

La intervención del hombre en la naturaleza comenzó hace miles de años y el proceso de daños a causa de la actividad humana fue escaso y lento al inicio, sin embargo, hoy día, el uso de sustancias químicas utilizadas en la agricultura y en la industria, el uso irracional de recursos y la contaminación, entre otros factores, destruyen en minutos lo que la naturaleza construyó en siglos o milenios.

A consecuencia del desequilibrio ecológico, el estudio del ambiente ha venido a ocupar un lugar necesario e importante en los foros nacionales e internacionales en los que se analizan y plantean orientaciones políticas, económicas y comerciales para lograr un desarrollo sustentable, que haga posible el crecimiento económico, sin poner en riesgo los recursos naturales que se han heredado de nuestros antepasados y preservarlos para las generaciones futuras.

En este contexto, la producción más limpia (P+L) adquiere gran relieve, ya que es preciso prevenir las tendencias actuales que ponen en peligro de extinción a recursos invaluables y alteran las condiciones naturales del planeta. La conservación del ambiente configura un nuevo valor social, que exige un renovado compromiso, para identificar soluciones que respondan a las aspiraciones de la sociedad.

Para la nación cubana, la caña y el azúcar forman una parte integral de su historia, cultura y tradición. La base de datos ofrecida por FAO (FAOSTAT, 2006) demuestra cómo el azúcar de caña ha sido el producto principal en la economía cubana durante años. La caña se ha sembrado, históricamente, con el fin básico de producir y comercializar azúcar; es un cultivo con alta capacidad de producción, que en buenas condiciones, produce volúmenes por encima de las 100 *t/ha* de tallos. Si las hojas y topes (cogollos), que no se utilizan en la producción de azúcar, fueran incluidas, el volumen de biomasa ascendería 20 %. Se ha demostrado que el uso de la caña de azúcar como fuente de energía renovable, además, es muy atractivo, ya que el proceso de combustión de la biomasa, como subproducto, es climáticamente neutral, debido al ciclo cerrado de carbón de la planta (Mesa, 2003; Suárez y Morín, 2005).

La industria azucarera utiliza grandes cantidades de agua e insumos en las etapas agrícola e industrial, ya sea para la elaboración de sus productos o para el saneamiento de los equipos de producción. Aunque se ha demostrado el efecto positivo en el ahorro de combustibles fósiles por el uso de la biomasa cañera para la producción de energía, se pueden producir efectos nocivos por la respiración del material particulado generado en los procesos de combustión (Contreras y col., 2009).

En Cuba, por primera vez, se elabora una metodología para evaluar el impacto ambiental mediante el ciclo de vida en el año 2007 (Contreras, 2007), y este estudio es el punto de partida para su aplicación en empresas azucareras con características peculiares.
El Ministerio de la Industria Azucarera se ha manifestado a favor de la protección del medio ambiente y apoya las innovaciones en materia de metodologías de evaluación de impactos ambientales. Por esta razón, ya se habla hoy en la industria azucarera cubana de análisis de ciclo de vida (Pérez, 2009). La importancia de los estudios de ciclo de vida ha llegado a que constituyan la red cubana e, inclusive, la red latinoamericana, para compartir su estudio y discusión, en las que la participación de la industria azucarera nacional es muy limitada.
El propósito del presente trabajo es determinar los procesos que más contribuyen al impacto ambiental considerando 2 etapas: la agrícola y la industrial, ambas muy importantes en la producción de azúcar crudo (producto final), y proponer un plan de medidas que contribuya a mitigar dichos procesos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis del ciclo de vida hace posible calcular los impactos ambientales acumulativos resultantes de todas las etapas en el ciclo de vida del producto. En el presente trabajo se consideran las 2 etapas del proceso de producción de azúcar: la agrícola y la industrial. El estudio se realiza sobre la base de los requisitos establecidos en la Norma NC-ISO 14040 2005.

Los valores estándar de *eco-indicador 99* se clasifican en:

- **Materiales**. Se miden por el contenido en 1 *kg* de material.
- **Proceso de producción**. Tratamiento y procesamiento de varios materiales, expresado en la unidad apropiada al proceso particular.
- **Procesos de transporte**. Se expresan, normalmente, en toneladas por kilómetro.
- **Procesos de generación de energía**. Se determinan en unidades para electricidad y calor.
- **Escenarios de eliminación**. Se expresan en kilogramos o por materiales.

El método de análisis de ciclo de vida se ha desarrollado para incluir coeficientes de ponderación. Esto permite calcular un solo valor para el impacto ambiental total, basado en los efectos calculados. Esta cifra recibe el nombre de ***eco-indicador***.
Las discusiones sobre el medio ambiente son, con frecuencia, muy controvertidas. En el *eco-indicador 99* se ha definido el término “medio ambiente” según 3 tipos de daños:

a) **A la salud humana.** En esta categoría se incluye el número y la duración de las enfermedades y los daños de vida perdida debidos a la muerte prematura por causas ambientales. Los efectos aquí incluidos son: cambio climático, disminución de la capa de ozono, efectos cancerígenos y respiratorios y radiación ionizante (nuclear).
b) **A la calidad del medio ambiente.** En esta categoría se incluye el efecto sobre la diversidad de especies, especialmente en las plantas vasculares y los organismos sencillos. Entre los efectos incluidos están: ecotoxicidad, acidificación, eutrofización y uso del suelo.
c) **A los recursos.** En ésta se incluye la necesidad extra de energía requerida en el futuro para extraer mineral de baja calidad y recursos fósiles. La disminución de los recursos brutos, tales como arena y gravilla, se incluyen en el uso del suelo.

Unidades del eco-indicador

Los valores estándares de los eco-indicadores se pueden considerar como cifras sin dimensión. Como base, se utiliza el "punto eco-indicador" (*Pt*). En las listas de eco-indicadores se emplea, normalmente, la unidad de milipuntos (*mPt*), es decir: 700 *mPt* = 0,7 *Pt*
El valor absoluto de los puntos no es demasiado relevante, ya que el fin principal es comparar las diferencias relativas entre productos o componentes. La escala se ha elegido de tal forma que el valor de 1 *Pt* represente una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano europeo medio.

Unidades utilizadas para la comparación en las categorías de impacto
DALY: Año de vida, ajustado a la discapacidad.
PAF*m2yr: Fracción potencialmente dañada, en metros cuadrados por año.
MJ surplus: Unidad de energía mega joule adicional.

Alcance del estudio

Se definen el o los productos que deben ser analizados. Se describe el sistema que se va a estudiar, su función y se escoge una unidad funcional básica de comparación. También se determinan los requisitos mínimos de calidad de los datos para que puedan ser considerados como válidos en el estudio, así como las reglas de asignación de las cargas ambientales. Partiendo de una muestra representativa diaria de los parámetros fundamentales de la industria y la agricultura, se promediaron las entradas y salidas del proceso en las zafras consecutivas (2006, 2007 y 2008). El sistema de estudio considerado es una fábrica de azúcar crudo de caña, la empresa *Panchito Gómez Toro*, con capacidad diaria de 2731 *t* de caña (promedio de las 3 zafras: 2006, 2007 y 2008), para las condiciones convencionales de producción.
El proceso considerado fue la zafra azucarera, por lo que las entradas y salidas, durante la etapa de reparaciones, cuyo impacto ambiental es considerablemente menor, tendrían que ser objeto de otro estudio y, probablemente, su alcance y necesidad tendrían mucho menos prioridad. De la misma manera, no se tomaron en cuenta algunas entradas al proceso industrial en zafra, cuya magnitud no influye sobre las consideraciones objeto de estudio, como la adición de desinfectantes, floculantes y tensoactivos, por ejemplo, compatibles con productos alimenticios y utilizados en cantidades miles de veces inferiores a las entradas incluidas en el estudio.

Unidad funcional

Es la unidad a la que se refieren todas las entradas (materias primas, energía...) y salidas (productos, emisiones, residuos…) del sistema en estudio. Debe estar claramente definida, ser medible y representativa de todos los flujos del proceso. La unidad más representativa de todas las entradas y salidas del proceso en estudio es la producción diaria de azúcar de la fábrica (282 *t/d*).

Consideraciones y limitaciones

A continuación se especifican las consideraciones hechas en cada etapa, con respecto a las soluciones de los residuos:

- Se consideró el uso de residuos agrícolas de la cosecha (RAC) y mieles finales como alimento animal, refiriéndolos al consumo de cantidades equivalentes de otros alimentos; además, en la literatura se plantea que dichos productos tienen entre sí un valor comparable, desde el punto de vista nutritivo (Valdés, 2005).

- Uso de cachaza y cenizas en organopónicos (compost): se consideró el ahorro de los fertilizantes químicos que, comúnmente, se emplean en la agricultura en Cuba (urea, cloruro de potasio y superfosfato triple), ya que estos resultan de procesos similares a los contenidos en la base de datos Ecoinvent (Ecoinvent Centre, 2003).
- Uso de aguas residuales para fertirriego: se considera el ahorro de agua y fertilizantes equivalente a los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio del agua.
- La generación de electricidad satisface las necesidades en la industria, de acuerdo con el esquema tecnológico de cada alternativa y el resto se envía a la red nacional.

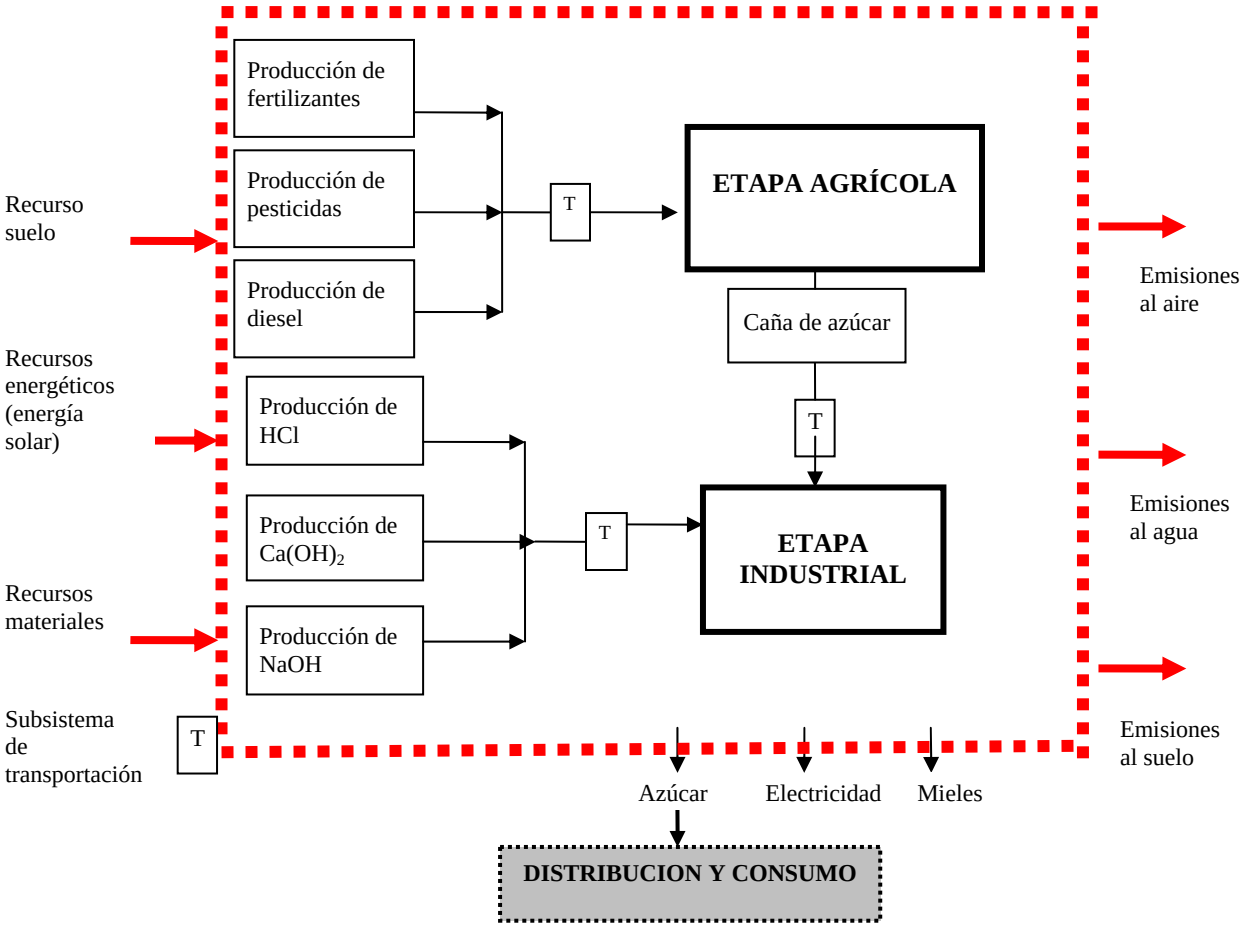


Fig.1. Límites del sistema

Para el análisis del ACV se usará el programa Simapro 7.1 (Goedkoop y Oele, 2004), utilizando la base de datos Ecoinvent (2003) y los procesos creados para las condiciones de Cuba. Se emplea el método del *eco-indicador 99* (PRé Consultans, 2004) que tiene en cuenta 11 categorías de impacto y 3 de daños, para, de esta forma, demostrar cuáles son los productos y operaciones de mayor influencia en el impacto total del proceso.
Una vez propuestas las medidas de mitigación, se realizará la comparación de los impactos ambientales asociados al proceso antes y después de las mejoras, de forma tal que se pueda cuantificar su reducción.

Se realizó, además, un análisis estadístico de los parámetros primarios de la industria y de la etapa agrícola, para los cuales se calculó: la media, la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de variación, así cómo el tipo de distribución, debido a que el análisis de incertidumbre resulta importante para definir la precisión de una evaluación de impacto ambiental. En el caso de estudio, los resultados estadísticos muestran la variabilidad de los datos para todas las variables estudiadas y, por tanto, la incertidumbre en las condiciones de operación de esta industria.
Se utiliza el módulo de comparación de procesos para comparar los resultados de la evaluación ambiental con el uso o no de sistemas de depuración en el proceso de cogeneración de electricidad, considerando el uso de un sistema depurador mecánico (ciclón) con 70 % de eficiencia. Los demás parámetros se mantienen constantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtiene como resultado del proceso de evaluación de impactos la Red del proceso, donde se evidencia que la magnitud del impacto generado por la etapa agrícola es mayor que en la etapa industrial (producción de azúcar), y en esta última, la cogeneración de electricidad con bagazo representa la mayor contribución. Por otra parte, se destaca que el uso de los RAC genera un impacto ambiental beneficioso significativo. Este resultado se puede apreciar en la tabla 1, que resume la contribución total del inventario para las etapas agrícola e industrial, según los procesos considerados en la base de datos Ecoinvent en combinación con los procesos típicos de la industria azucarera creados.

Tabla I

CONTRIBUCIÓN TOTAL DEL PROCESO

Categoría de impacto	Unidad	Total	Etapa agrícola	Etapa industrial
Total	Pt	82 571,603	45 210,372	37 361,232
Carcinogénesis	Pt	-1251,2142	-696,10857	-555,10568
Resp. orgánicos	Pt	2,0647863	1,8099239	0,25486249
Resp. inorgánicos	Pt	42 956,52	703,75199	**42 252,768**
Cambio climático	Pt	424,94153	400,43374	24,507787
Radiación	Pt	7,7148743	11,584495	-3,8696209
Capa de ozono	Pt	0,074764193	0,14387739	-0,069113199
Ecotoxicidad	Pt	-396,14201	-179,58196	-216,56005
Acidificación/eutrofización	Pt	1,1617132	-68,492926	**69,654639**
Uso del terreno	Pt	39 537,257	42 745,067	-3 207,8104
Minerales	Pt	76,338575	87,239276	-10,900701
Combustibles fósiles	Pt	1 212,8864	2 204,5249	-991,63848

Se observa que, en la etapa agrícola, los valores numéricos de la tabla son, en la mayoría de las categorías de impacto, **positivos** (efecto perjudicial sobre el medio ambiente), y no ocurre lo mismo en la etapa industrial, donde solo se presentan impactos perjudiciales (**valores positivos**) en las categorías de efectos **respiratorios por compuestos inorgánicos y acidificación/eutrofización,** dados **fundamentalmente por la emisión indiscriminada de residuos en el proceso.**

Resulta significativo que, en ambas etapas, en la categoría de **carcinogénesis,** se obtienen resultados negativos (favorables) de impacto ambiental, lo cual está asociado con la reducción de emisiones de compuestos orgánicos al aire, al agua y al suelo. Las mayores contribuciones se deben al uso de las mieles finales y los RAC como alimento animal. La cogeneración de electricidad con bagazo contribuye, de forma significativa, a evitar la emisión de compuestos orgánicos que tiene lugar cuando la electricidad es generada a partir de combustibles fósiles. Se obtienen resultados favorables debido al uso de residuos líquidos y sólidos (cachaza, cenizas y agua residual como fertilizantes e irrigación respectivamente), lo que evita el consumo de urea, superfosfato triple y cloruro de potasio.

De igual forma, la **ecotoxicidad** presenta resultados similares a la categoría de la carcinogénesis, y esto está asociado con la emisión al aire, al agua y al suelo de gran cantidad de compuestos orgánicos y de metales pesados, que contribuyen, de manera significativa, al impacto sobre el ecosistema. Ofrece valores favorables, ya que el uso de la electricidad a partir de bagazo, así como el uso de RAC y mieles como alimento animal, reducen el impacto de la industria azucarera en esta categoría.

Los resultados de la comparación de los procesos de cogeneración en esta industria con y sin depuración de gases se muestran en la tabla 2.

Tabla II

COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE COGENERACIÓN

CON Y SIN DEPURACIÓN DE GASES

Categoría de daño	Unidad	Cogeneración de electricidad sin depuración de gases	Cogeneración de electricidad con depuración de gases
Total	Pt	41 131,646	12 043,09
Daño a la salud	Pt	41 931,344	**12 842,78**
Daño a la calidad ecosistema	Pt	87,036808	87,03681
Daño a los recursos	Pt	-886,7344	-886,734

Se observa una disminución del impacto ambiental total generado, siendo el impacto usando sistemas de depuración (12 043 puntos) 3,4 veces menor que antes de usar estos sistemas (41 131 puntos), debido a la reducción de la emisión de material particulado.

Analizando las categorías de daño, se aprecia que el impacto sobre la salud se ve notablemente beneficiado cuando se utilizan los sistemas de depuración de gases; el daño al ecosistema y a los recursos se mantiene en un mismo nivel.

Otras medidas que pueden contribuir a la disminución del impacto ambiental del proceso

Se analiza que el impacto ambiental del proceso puede ser disminuido aún más si se implementa una serie de medidas como las que se relacionan a continuación:

1. Chequear y controlar la efectividad del fertirriego y calidad de las aguas.
2. Planificar y asegurar la aplicación de compost y de otros residuales sólidos que se le incorporan al suelo.
3. Introducir en el plan de labores las actividades agroecológicas no incluidas en el programa de suelos.
4. Independizar los residuos albañales de los del proceso fabril.
5. Construir trampas de grasa para la separación de aceites y lubricantes de las aguas residuales.
6. Establecer un sistema para la extracción de cachaza en forma sólida y eliminar derrames en el área de carga.
7. Introducir un sistema de lagunas que permita desagregar el ácido clorhídrico residuo de las limpiezas.
8. Asegurar la recuperación de la sosa (NaOH) agotada, después de su empleo en la limpieza de los evaporadores y calentadores, y evitar su envío al enfriadero general.
9. Construir circuitos cerrados de enfriamiento y calentamiento en el tándem, máquinas de moler, turbogeneradores, bombas, cristalizadores, compresores.
10. Eliminar las causas que originan los retornos contaminados.
11. Tomar las medidas necesarias para la correcta operación de los sistemas de condensado y control analítico de las aguas condensadas.

Para corroborar el efecto de estas medidas, se realizó la comparación de la etapa industrial del proceso actual con una nueva alternativa donde, además de la instalación del equipo depurador de gases, se cuantificaron los ahorros de sosa cáustica y de agua suavizada (Tabla 3).
En cuanto al resto de las medidas, aunque se conoce que deben producir una reducción del impacto, no se dispone, en estos momentos, de datos para su evaluación.
Los resultados gráficos de la comparación del proceso actual con la alternativa, considerando la introducción de medidas de producción más limpia, se muestran en la figura 2.

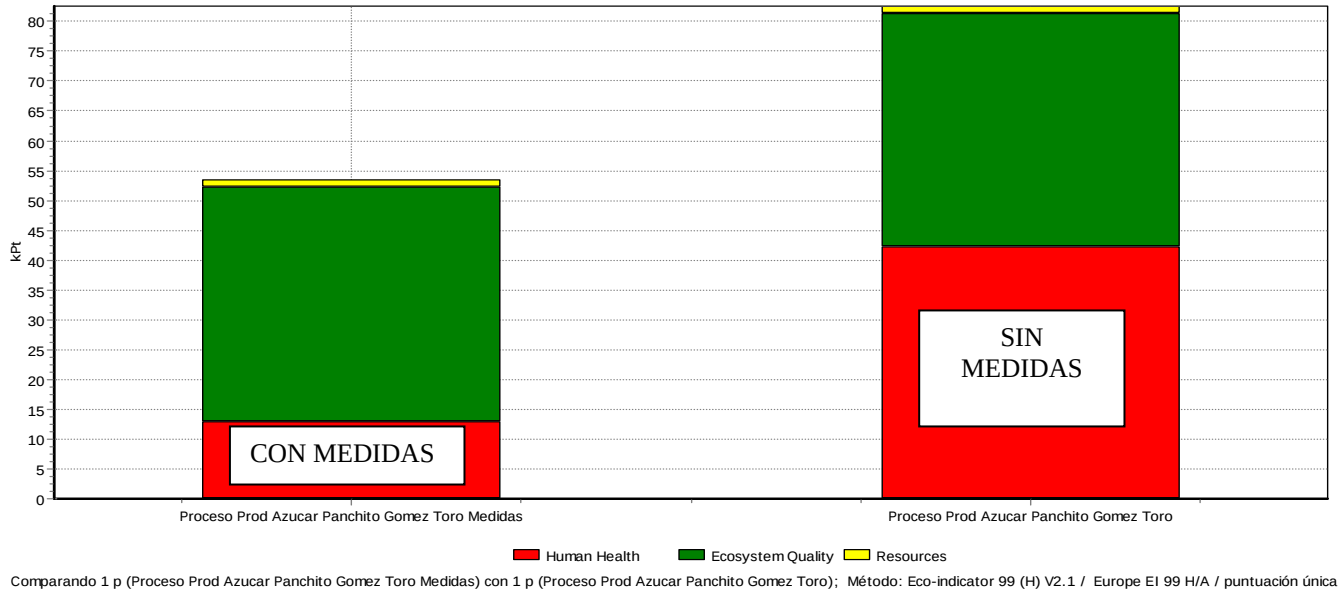


Fig. 2. Comparación del proceso con y sin introducción de medidas de P+L.

Tabla III
COMPARACIÓN DEL PROCESO CON Y SIN MEDIDAS DE P+L. CARACTERIZACIÓN

Categoría de impacto	Unidad	Prod. azúcar Empresa *Panchito Gómez Toro*	Prod. azúcar con medidas de P+L
Carcinogénesis		-0,048049702	-0,048057323
Resp. orgánicos	DALY	7,93E-05	7,93E-05
Resp. inorgánicos	DALY	1,649636	0,52918189
Cambio climático	DALY	0,016318799	0,016304517
Radiación	DALY	0,00029627	0,000295
Capa de ozono	DALY	2,87E-06	2,87E-06
Ecotoxicidad	PAF*m2yr	-50 787,437	-50811,351
Acidificación/eutrofización	PDF*m2yr	14,893759	13,821605
Uso del terreno	PDF*m2yr	506 887,9	506 887,24
Minerales	MJ surplus	3 207,5032	3 203,8633
Combustibles fósiles	MJ surplus	50 961,613	50 908,819

En la tabla 3, por categorías de impacto, se observa la mayor disminución en la de efectos respiratorios por compuestos inorgánicos, debido a la instalación del depurador de gases, seguido por las categorías de acidificación/eutrofización y combustibles fósiles, debido a la reducción de los consumos de sosa cáustica y agua suavizada. Se observan disminuciones menos significativas en las de cambio climático, radiación, ecotoxicidad y minerales. En el caso de estudio, los resultados estadísticos muestran la variabilidad de los datos para todas las variables estudiadas y, por tanto, la incertidumbre en las condiciones de operación de esta industria.

CONCLUSIONES

1. El ACV realizado aporta el inventario de ciclo de vida, que puede contribuir a la elaboración de los inventarios para esta industria y para la región de América Latina.
2. La mayor contribución al impacto del proceso (efecto perjudicial al medio), está dada por la etapa agrícola y en ésta, por el uso de la tierra, la producción y el uso de fertilizantes químicos y combustibles.
3. El mayor impacto en la etapa industrial se debe a la cogeneración de electricidad con bagazo, por la emisión de material particulado, lo que destaca la necesidad de instalación de separadores de partículas en estas instalaciones.
4. La contribución del proceso a la categoría de combustibles fósiles muestra la alta eficiencia en la generación de energía que se logra en la empresa *Panchito Gómez Toro*.
5. El uso de sistemas de tratamiento para la remoción de material particulado disminuye en 70 % el impacto ambiental generado por el proceso de cogeneración.
6. La combinación del uso del sistema de depuración de gases con otras medidas de P+L produce una reducción en el valor de la mayoría de las categorías de impacto consideradas,

destacándose la de efectos respiratorios de compuestos inorgánicos, acidificación/ eutrofización y combustibles fósiles.

7. La metodología utilizada constituye una herramienta útil para la cuantificación de los impactos ambientales de la producción de azúcar de caña en Cuba.
8. Los resultados en materia de ACV han dado la posibilidad de que especialistas del sector formen parte de la Red Cubana de ACV y tengan participación en actividades de la Red Latinoamericana de ACV.

BIBLIOGRAFÍA

-Contreras, A. M.: "Metodología para el análisis del ciclo de vida combinado con análisis exergético en la industria azucarera cubana", tesis presentada en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central de Las Villas, Cuba, 2007.

-Contreras, A. M. *et al.*: "Comparative Life Cycle Assessment of alternative for using by-products of cane sugar production", *Journal of Cleaner Production*, 17:772-779, 2009.

-Ecoinvent Centre: "The Life Cycle Inventory Data Version 1.01" (Ecoinvent data V1.01), December 2003, © Swiss Centre for Life Cycle Inventories/2003.

-FAOSTAT: (www.fao.org) http://faostat.fao.org/faostat/collections. 2006

-Goedkoop, M. and M. D. Oele: Introduction to LCA (Life Cycle Assessment) with SimaPro, PRé Consultants, Sept. 2004. Disponible en: http://www.pre.nl.

-Oficina Nacional de Normalización: "NC ISO14040: 2005: Gestión ambiental, análisis del ciclo de vida, principios y marcos de referencia", La Habana, Cuba, 2005.

-Mesa, J. Y. y L. González: "La agroindustria de la caña de azúcar en un marco de desarrollo sostenible". Disponible en: *revistaciencias.com*, 12 de agosto de 2003.

-Pérez, D. M.: "Inventario de ciclo de vida para la industria azucarera en Cuba", III Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en Latinoamérica, CILCA 2009.

-Suárez R. y R. Morín: "Caña de azúcar y sostenibilidad. Enfoques y experiencias cubanas". Disponible en: http://www.planeta.apc. org/desal/apip/article.php3, 2005.

-Valdés, A.: "Combustibles y energías renovables a partir de la biomasa", Reunión Regional sobre Biomasa para la Producción de Energía, CITMA, 2005.

BAGAZO COMO MEDIO DE ABSORCIÓN EN DERRAMES DE HIDROCARBUROS

Autores: Yaima Izquierdo González[1], José Alberto Pérez Hernández[1], Adolfo Brown Gómez[1].

Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA)[1]
Vía Blanca 804 y Carretera Centra, San Miguel de padrón, La Habana, Código Postal 11 000, La Habana, Cuba
E-mail: yaima.izquierdo@icidca.edu.cu , jose.alberto@icidca.edu.cu, adolfo.brown@icidca.edu.cu

RESUMEN

El grupo empresarial AZCUBA cuenta con múltiples empresas y plantas que utilizan como combustible el fuel oíl, en este caso se encuentran las fabricas de tableros, las destilerías y las refinerías fundamentalmente en periodo de no zafra y otras empresas de producción y servicios.
Una de las sustancias más ampliamente utilizadas en el planeta son los hidrocarburos, que a pesar de las extremas medidas de seguridad y control en su manejo y transportación, desde la extracción hasta su consumo, no está exento de accidentes, que pudieran provocar daños o lesiones medioambientales y alterarían la estabilidad de los ecosistemas, con la consiguiente afectación de la flora y la fauna.
El bagazo integral es capaz de absorber 4,39 g $_{\text{hidrocarburo}}$/g $_{\text{bagazo}}$; valor que puede incrementarse cuando se disminuye el contenido de humedad. Esto demuestra la factibilidad en la utilización y empleo de este subproducto (bagazo) como medio absorbente, en la mitigación de los derrames de hidrocarburo en los suelos y la posterior utilización, como fuente de energía en calderas u otros dispositivos, del medio absorbente impregnado de hidrocarburo, lo que reduciría los efectos negativos al medio ambiente.

Palabras clave: hidrocarburos, medios absorbentes, contaminación, absorción, bagazo.

BAGASSE AS MEANS OF ABSORPTION IN HYDROCARBONS SPILLS

ABSTRACT

The sugar cane enterprise AZCUBA has many companies and industrial plants that use fuel oil as fuel in this case they are the board factories, ethanol distillery and refineries, mainly in non harvest period, and other service and productive enterprises.
One of the substances more broadly used in the planet are the hydrocarbons, which are not exempt of accidents that they could cause damages or environmental lesions, and affect the stability of the ecosystems, including the flora and the fauna, in spite of the extreme measures of security and control in their handling and transportation from the extraction places to their consumption.
The integral bagasse is able to absorb 4, 39g $_{\text{hydrocarbons}}$/g $_{\text{bagasse}}$, value that can be increased when the content of humidity is reduced. This demonstrates the feasibility in the use of this by-product as means of absorption in the mitigation of the hydrocarbon spills in soils, and the later use of the impregnated absorbent means, as energy source in boilers or other devices, that could reduce negative effects to environment.

Keywords: hydrocarbons, absorbent means, contamination, absorption, bagasse.

1. INTRODUCCIÓN

La industria petroquímica constituye una de las industrias más contaminantes del planeta y su principal causa está estrechamente vinculada con los derrames de hidrocarburos. Se conoce que los combustibles fósiles son unas de las materias primas más utilizadas mundialmente, de ahí la probabilidad de producirse derrames a pesar de todas las medidas y cuidados que se tengan. Después de ocurrido el accidente, no existe otra medida que mitigar el impacto que este pueda producir al medio ambiente circundante.

Este trabajo está dirigido a estudiar medios absorbentes renovables, fundamentalmente procedentes de la industria azucarera y que permitan su utilización eficiente en todas las dependencias en las cuales se produzca algún derrame según *Echari(1998);Silo(2008);OMI(2005);LawInfo(2010);Wikipedia(2013).*

Para la evaluación experimental se utilizó bagazo integral del central "Héctor Molina", teniendo en cuenta fundamentalmente la humedad y el grado de molida y a este se le determinó su capacidad de absorción.

Este estudio se ajusta a las líneas de investigación que posee el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), pues dispone de un departamento encargado de los estudios y evaluaciones medioambientales para mitigar los impactos producidos por la agroindustria azucarera en todo el país, con el objetivo de tener procesos productivos amigables con el medio ambiente También se brindan soluciones para el empleo del bagazo como combustible, una vez que haya sido utilizado como medio absorbente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Etapas para la determinación de la capacidad de absorción

El bagazo utilizado para la determinación de la capacidad de absorción fue el procedente del central "Héctor Molina" de la provincia Mayabeque, el cual se extrajo como bagazo integral a la salida del último molino.

Se realiza un estudio de la capacidad de absorción que posee el bagazo. Las propiedades definidas para el estudio son:

1. Bagazo integral según *Suárez(1982);Triana(1990*).
2. Tipo de humedad que presente el mismo, (análisis para diferentes humedades)
3. Grado de molida (se toma en cuenta el grado de molida con que trabaja el central "Héctor Molina")

2.2 Diseño de experimentos

2.2.1 Etapa I. Determinación de la humedad

Para la determinación de la humedad se utilizó una balanza técnica de determinación de humedad, MB 35 Halógeno, con un grado de precisión de 0.001 y una capacidad de 0-150 g, ubicada en el Laboratorio Físico Mecánico (LAFIM), que pertenece al ICIDCA (figura 1).

Fig 1. Balanza técnica de humedad MB 35 Halógeno.

El experimento consistió en la selección y puesta en el equipo de una muestra de bagazo integral de masa entre 80 y 100 g. El proceso de evaporación se realizó a una temperatura de 106 °C. Una vez finalizado el proceso de secado se obtuvo digitalmente el resultado.

2.2.2 Etapa II. Clasificación del bagazo

Se determinó la humedad del bagazo, se realizó el tamizado del mismo utilizando un vibrador mecánico Retsch con mallas de 8; 6,3 y 3,15 mm que se muestra en la figura 2.

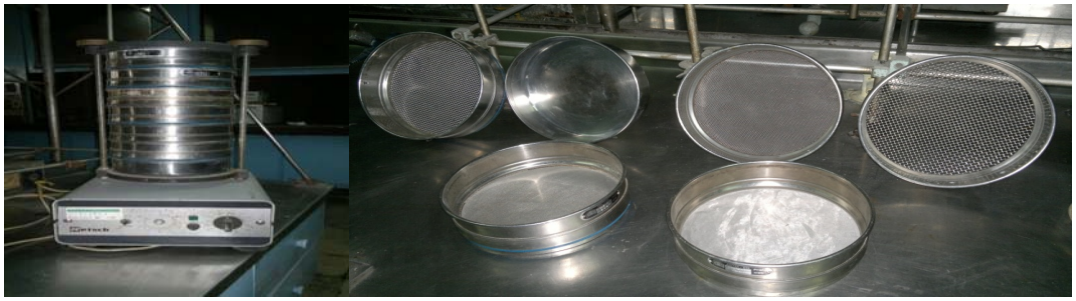


Fig 2. Vibrador mecánico Retsch y tamices.

2.2.3 Etapa III. Capacidad de absorción del bagazo

Posteriormente, se utilizó una balanza digital marca Sartorius de grado de precisión 0,001, para simular la prueba de derrame (figura 3).

Fig 3. Balanza digital Sartorius.

Se añadió el bagazo sobre un medio, creado artificialmente, de derrame de hidrocarburo, combustible utilizado comercialmente por el grupo AZCUBA en todas las calderas de sus plantas de derivados y bioprocesos. Tras fijar una cantidad de bagazo (aproximadamente 30 g), se comenzó a analizar la capacidad de absorción de este como medio filtrante, y se hizo una valoración de los resultados obtenidos durante la prueba de absorción.

2.3 Determinación de la viscosidad del combustible

La viscosidad es uno de los elementos fundamentales que se debe tener en cuenta en el análisis de la capacidad de absorción cuando se utiliza el bagazo como medio.

La viscosidad del hidrocarburo (petróleo) se comprobó en un equipo Rheotec**,** destinado a la determinación de viscosidad en una amplia gama. Se realizaron múltiples verificaciones y se obtuvo que la densidad promedio es de 2820 cp a 28 °C, por lo tanto todos los resultados obtenidos de capacidad de absorción están referidos a esta viscosidad que fue con la que se realizó la corrida experimental (figura 4).

Fig 4. Equipo de determinación de viscosidad

2.4 Modo de aplicación del bagazo para la mitigación y/o control de los derrames

La aplicación del bagazo como medio absorbente será directamente sobre el derrame, dejándolo un tiempo adecuado para que absorba el hidrocarburo. Posteriormente, se recoge utilizando métodos manuales que permitan alimentar la caldera.

La propuesta de densificación del bagazo para el control de derrames puede aumentar el contenido de absorción del hidrocarburo, en función de la cantidad de gramos de bagazo que se logre compactar en forma de briquetas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación de la humedad

La tabla I muestra la determinación de la humedad a la salida del tándem, obteniéndose un valor promedio total de 47,63 %.

Tabla I. Determinación de la humedad a las muestras de bagazo integral a 105 °C

Muestra	Humedad (%)	Tiempo (minutos)
1	45,39	12,5
2	41,37	10,8
3	38,87	12,6
4	50,10	17,4
5	54,94	11
6	48,10	12,2
7	54,69	9,4
Humedad promedio (%)	**47,63**	

3.2 Clasificación del bagazo

En la tabla II se muestra la clasificación de las proporciones de bagazo por las distintas fracciones de tamices utilizando bagazo integral y con un peso inicial de 30g.

Tabla II. Clasificación de las proporciones de bagazo por tamices

Muestras	Peso inicial (g)	Peso (g) Retenido Tamices (8mm)	Peso (g) Retenido Tamices (6,3mm)	Peso (g) Retenido Tamices (3,15mm)	Peso (g) Tamizado en (3,15mm)
1	30	4,62	3,23	5,45	16,70
2	30	4,70	3,21	5,47	16,62
3	30	4,35	3,49	5.43	16,73
4	30	4,45	3,26	5,44	16,85
5	30	4,44	3,22	5.45	16,89
6	30	4,52	3,29	5,46	16,73
7	30	4,51	3,28	5,43	16,78
Promedio	**30**	**4,512**	**3,282**	**5,447**	**16,757**
Análisis de las proporciones (%)	**100**	**15,04**	**10,94**	**18,17**	**55,85**

La foto representa la fracción de retención del bagazo en cada tamiz

En la tabla anterior se muestran los resultados (en porciento) de las diferentes fracciones obtenidas en cada tamiz, donde se observa que el valor más representativo es el obtenido en la cacerola, pues el 55,85 % del bagazo pasó por el tamiz de 3,15 mm. Esto demuestra el alto porciento de preparación que recibe la caña al pasar por los molinos o tándem en ese central.

3.3 Capacidad de absorción del bagazo.

El experimento más significativo y que constituye la base de nuestro trabajo es la determinación de la capacidad de absorción del bagazo que aparece en la siguiente tabla:

Tabla III. Resultados de la capacidad de absorción del hidrocarburo en bagazo a una temperatura ambiente de 28°C.

Muestras	Cantidad de bagazo integral total (g)	Peso total del bagazo + Hidrocarburo (g)	Peso del hidrocarburo absorbido (g)	Capacidad de absorción total $g_{hidrocarburo}/g_{bagazo}$	Capacidad de absorción absoluto $g_{hidrocarburo}/g_{bagazo}$
1	30	128,51	98,51	4,28	3,2836
2	30	129,60	99,6	4,32	3,32
3	30	13,80	108,8	4,62	3,6266
4	30	130,35	100,35	4,34	3,345
5	30	129,44	99,44	4,31	3,3146
6	30	134,22	104,22	4,47	3,474
7	30	133,69	103,69	4,45	3,4563
Promedio	**30**	**132,08**	**102,08**	**4,39**	**3,40**

La tabla anterior, muestra la capacidad real de absorción del bagazo integral que es de 4,39 g $_{hidrocarburo}$/g $_{bagazo}$. Estos valores son obtenidos para bagazo a la salida del tándem con una humedad de 47,63 % y una preparación como aparece en la tabla II.

3.4 Análisis experimentales de la capacidad de absorción del bagazo a diferentes contenidos de humedades

El bagazo de la misma procedencia, se somete a un proceso de secado natural en las áreas aledañas al ICIDCA, hasta alcanzar una humedad entre 30-35 % y 10-15 %, respectivamente que fueron los puntos seleccionados para realizar las corridas experimentales y poder determinar la capacidad de absorción del medio filtrante (bagazo).

La tabla IV recoge los resultados de la absorción *vs* humedad del bagazo para muestras comprendidas en el primer rango de humedad de 30-35 %, en muestras de bagazo integral de peso 30 g.

Tabla IV. Resultados de la capacidad de absorción del hidrocarburo en bagazo vs humedad en el rango 30–35 %.

Muestras	Cantidad de bagazo integral total (g)	Humedad (%)	Peso total del bagazo + Hidrocarburo (g)	Peso del hidrocarburo absorbido (g)	Capacidad de absorción total g_{hidro}/g_{bagazo}	Capacidad de absorción absoluto $g_{hidrocarburo}/g_{bagazo}$
1	30	33	143.93	113.93	4.79	3.79
2	30	31	145.15	115.15	4.84	3.8383
3	30	32	156.26	126.26	4.89	4.2086
4	30	30	146.92	116.92	4.89	3.8973
5	30	32	145.24	115.24	4.84	3.8413
6	30	32	150.32	120.32	5.01	4.0106
7	30	31	149.73	119.73	4.99	3.991
Promedio	**30**	**31.57**	**148.22**	**118.22**	**4.94**	**3.9406**

Los resultados de la tabla IV muestran que para humedades que oscilaron entre 30-33 % y como promedio 31,57 %, se alcanzó una capacidad de absorción total del bagazo de 4,94g $_{hidrocarburo}$/g $_{bagazo}$.

La tabla V recoge los resultados de la absorción *vs* humedad del bagazo para muestras de bagazo con una humedad inferior, entre 10-15 %, en muestras de bagazo integral de peso 30 g.

Tabla V. Resultados de la capacidad de absorción del hidrocarburo en bagazo *vs* humedad en rango entre 10-15 %

Muestras	Cantidad de bagazo integral total (g)	Humedad (%)	Peso total del bagazo + Hidrocarburo (g)	Peso del hidrocarburo absorbido (g)	Capacidad de absorción total g_{hidro}/g_{bagazo}	Capacidad de absorción absoluto $g_{hidrocarburo}/g_{bagazo}$
1	30	11	165,52	135,52	5,52	4,5173
2	30	12	166,92	136,92	5,56	4,564
3	30	10	179,70	149,70	5,99	4,99
4	30	13	168,96	138,96	5,63	4,632
5	30	11	167,03	137,03	5,56	4,5676
6	30	11	172,87	142,87	5,76	4,7623
7	30	12	172,19	142,19	5,74	4,7396
Promedio	**30**	**11.48**	**170,45**	**140,45**	**5,68**	**4,6816**

Los resultados de la tabla V muestran que para humedades que oscilaron entre 10-13 % y como promedio 11,.48 % se alcanzó una capacidad de absorción total del bagazo de 5.68 g $_{hidrocarburo}$/g $_{bagazo}$. Se demuestra que con la reducción de la humedad se produce un ligero aumento de la capacidad de absorción del bagazo.

La determinación del poder calórico total del bagazo después de ser utilizado como medio absorbente, se realiza teniendo en cuenta la relación del porciento del peso del bagazo y su valor calórico a la humedad

de uso, más la fracción de peso del combustible por el valor calórico del combustible. De este análisis se concluye, que el valor calórico del bagazo a 50 % de humedad, cuando se utiliza como medio absorbente, en tratamientos de derrames de hidrocarburos, oscila alrededor de las 7 842,25 kcal/kg_{mezcla} a partir de la siguiente ecuación:

VCI_{mezcla}= VCcombustible x % de peso en la mezcla + VCbagazox % de peso en la mezcla.
VCI_{mezcla}= 9 550 kcal/$kg_{combustible}$x0.77+ 2 125 kcal/kg bagazo x 0.23
VCI_{mezcla}=7353.5 kcal/$kg_{combustible}$ + 488.75 kcal/kg_{bagazo}
VCI_{mezcla}=7 842.25 kcal/kg_{mezcla}

La producción de vapor en las calderas convencionales oscila en alrededor de 2,10 kg vapor/kg de bagazo. Este bagazo una vez utilizado como medio absorbente es capaz de incrementar su poder calorífico hasta 7842,25 kcal/kg de bagazo con hidrocarburo. Esto representa un incremento en el índice de generación de la caldera desde 2,10 hasta 7,84 kg vapor/kg de bagazo con hidrocarburo, que representa un incremento de 3,73 veces el índice de generación del bagazo.

En las tablas III, IV y V se muestra que la disminución de la humedad del bagazo produce un incremento de la capacidad de absorción del mismo cuando se utiliza como medio de absorción.

La tabla VI, muestra los porcientos de incremento en la capacidad de absorción del bagazo cuando disminuye la humedad. Se puede observar que los porcientos de incremento de absorción no son proporcionales a la reducción de la humedad.

Tabla VI. Influencia de la humedad en la capacidad de absorción del bagazo.

Análisis de cada grupo de estudio	Humedad (%)	Capacidad de absorción	% reducción de humedad	% de incremento de capacidad de absorción
1	47,63	4,39	-	-
2	31,57	4,94	33,72	11,13
3	11,48	5,68	75,90	22,71

Después de analizar los resultados de la tabla anterior, se observa que es atractivo el empleo del bagazo integral a la salida del tándem a la humedad aproximada de 47,63 %, en la mitigación de los derrames de hidrocarburos en suelos, pues el proceso de secado involucra un manejo adicional del bagazo que elevaría los costos. Esto resulta válido durante todo el proceso de zafra donde se dispondrá de bagazo fresco para su utilización como medio filtrante.

En el gráfico I, se muestra el análisis del comportamiento (porciento) de humedad vs capacidad de absorción, donde se les aplicó un modelo cuadrático para representar su tendencia en el rango permisible que se encuentra la fibra natural bagazo, permitiendo mostrar la influencia del contenido de humedad con respecto a la capacidad de absorción del bagazo.

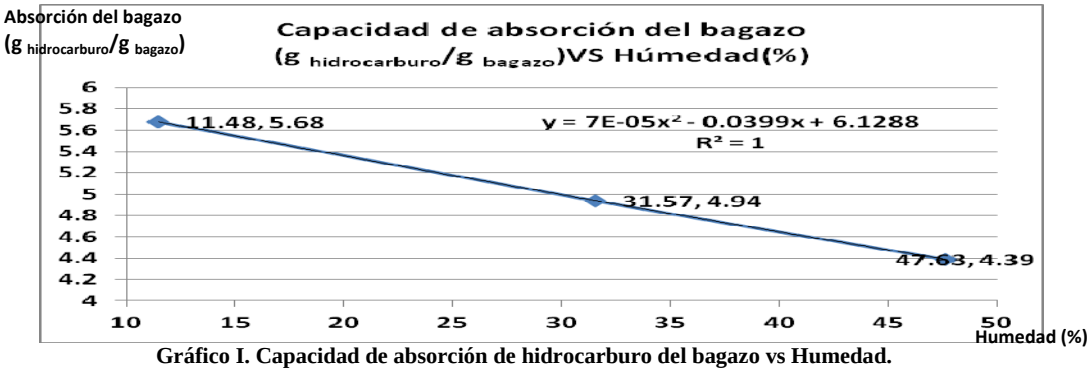


Gráfico I. Capacidad de absorción de hidrocarburo del bagazo vs Humedad.

En el gráfico anterior se observa la capacidad de absorción del hidrocarburo bagazo *vs* humedad, ajustándose a un modelo cuadrático con una R^2=1.

3.5 Alternativas del bagazo una vez empleado como medio absorbente

Una vez que el hidrocarburo es absorbido por el material absorbente (bagazo), es necesario darle un tratamiento para ser utilizado en el proceso productivo, las propuestas o variantes son:

1. Utilización inmediata de la corriente de bagazo de alimentación a la caldera. Esto permitirá que la mezcla del material absorbente que contiene el hidrocarburo se queme o combustione en el interior de la caldera, aportando un incremento del valor calórico y una mayor capacidad de generación en el hogar de combustión.

2. Compactar el bagazo en bloques de dimensiones previamente concebidas, en las que el hidrocarburo servirá como medio de aglutinación, facilitará su almacenamiento y trasporte hacía otros suministradores. En caso de emplearse pacas se necesitaría de algún equipamiento (rompe paca) para poder desintegrarla y dosificar a la caldera, por los conductores de que dispone.

3.6 Incremento del valor calórico del bagazo utilizado como medio absorbente

Quedó demostrado que el bagazo evaluado posee una capacidad de absorción de 4,39g $_{hidrocarburo}$/g $_{bagazo}$ a 47,63 % de humedad. Bajo ese comportamiento podemos calcular el valor calórico de la mezcla del bagazo con el hidrocarburo, como aparece en la tabla siguiente:

Tabla VII. Valor calórico del bagazo en las diferentes etapas.

Material	Peso (g)	Valor calórico total (kcal/g bagazo)
Bagazo	1	1,825
Hidrocarburo	3,39	33,391
Peso total del medio absorbente(bagazo + hidrocarburo)	4,39	**35,216**

Como se observa, el medio absorbente permitió un incremento de energía desde 1,825 kcal/g de bagazo hasta 35,216 kcal/g bagazo, esto permite un incremento en la producción de vapor de la caldera.

4. VALORACIÓN ECONÓMICA

En el análisis se muestra que el bagazo a la salida del tándem, posee una capacidad de absorción de 4,39 g $_{hidrocarburo}$/g $_{bagazo}$. Para aumentar la capacidad de absorción hasta 5,08g $_{hidrocarburo}$/g $_{bagazo}$, el incremento de los costos será de aproximadamente un 30 %, que corresponde a una reducción de la humedad desde 50 hasta 25 %, estos datos son los calculados para el proceso de secado de bagazo para la industria del tablero. Lo anterior justifica que no se recomienda un incremento del costo por concepto de secado para tan bajo incremento de la capacidad de absorción de solo 0,7g hidrocarburo/g bagazo según *Hugott (1964).*

5. CONCLUSIONES

1. Es factible el empleo del bagazo integral en la mitigación de los derrames de hidrocarburo en cuerpos de tierra.

2. El bagazo integral con una humedad promedio de 47,63 % y con una caracterización según el grado de molida, como aparece en la tabla II (muestra de las retenciones en los diferentes tamices), se puede retener o retirar 4,39 $g_{hidrocarburo}/g_{bagazo}$.
3. Los porcentajes de incremento de absorción no son directamente proporcional a la reducción de humedad, es decir, no hay proporcionalidad, este aspecto pudiera estar fundamentado en la alta viscosidad del hidrocarburo que reduce la capacidad de absorción en la estructura del bagazo.
4. El valor calórico total del medio absorbente fue de 35,216 kcal/g bagazo.

6. RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar el mismo estudio con bagazo desmedulado para determinar la capacidad de absorción en estas condiciones.

2. Se recomienda realizar los ensayos para determinar la capacidad de absorción de las diferentes fracciones de los tamices, es decir, conocer la relación de capacidad de absorción *vs* tamaño de partícula.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Echarri, L. (1998). Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Madrid: Teide.
2. Silos, J. (2008). Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos.
3. Organización Marítima Internacional., ed (2005). Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos.
4. LawInfo. (2010). Legislación ambiental y los derrames de hidrocarburos, septiembre.
5. Wikipedía (2013). Derrame de petróleo.
6. Triana, O. (1990). El bagazo de la caña de azúcar. En: Atlas del bagazo de la caña de azúcar. Única ed. México DF: Impreso en talleres de IMPRENTEI.
7. Suárez, R.; Lois, J.; Bambanaste, R.; Carvajal, O, monografía (1982). El almacenamiento de bagazo para la industria de derivados.
8. Hugott, E. (1964). Manual para ingenieros azucareros.

VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LAS VINAZAS DE DESTILERÍAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

ADVANTAGES OF THE UTILIZATION OF VINASSE FROM ALCOHOL DISTILLERIES FOR ENERGY PRODUCTION

Autores: MSc. Indira Pérez Bermúdez, Ing. Norge Garrido Carralero, MSc. Odalys Capote Peña; Ing. Héctor Navarro, Ing. Francisco Diez Torres

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

La concentración y combustión de las vinazas es una tecnología que ha sido aplicada solo en algunos países, pero trae múltiples ventajas, principalmente la reducción a cero de los efluentes, la generación de energía para la destilería, así como la recuperación de sales ricas en potasio y por consiguiente, la cualidad de ser una tecnología limpia e inocua al medio ambiente. En el presente trabajo se realiza un análisis de las ventajas de la implementación de este sistema en Cuba y se toma como referencia para los cálculos una destilería de 50 000 l/d. Los resultados obtenidos corroboran que esta propuesta permite garantizar la mayoría de la demanda de vapor a la destilería y a la planta concentradora obteniéndose una disminución del consumo de combustible en un 72% y se entrega 22,6 MW-h/d de electricidad a la red nacional. Además se obtienen sales ricas en potasio que equivalen a 20,15 t/d de cloruro de potasio que no será necesario importar como fertilizante. Desde el punto de vista económico se obtienen ingresos de 4 357 735,84 USD/año por la venta de los productos generados, por el ahorro de combustible y la reducción en la importación de fertilizantes.

Palabras clave: concentración de vinazas, combustión, incineración, tratamiento de residuales

ABSTRACT

The high pollutant value of vinasse has been a problem to the alcohol producer for a long time, due to it is very important to search more efficient treatments for this waste, with the objective to decrease the negative impact that they cause to the environment when poured, as much as possible. The concentration and combustion of vinasse is a technology that has been applied in some countries, but it brings many advantages, mainly the reduction to zero effluent, the energy generation for the distillery as well as the recovery of potassium rich salts and consequently, the quality to be an innocuous and clean technology for the environment.

In this paper, an analysis for the implementation of this system advantages in Cuba is carried out, taking as references a distillery of 50 000 l/d. The results corroborates that this proposal allows guaranteeing most of the steam demand for distillery and for concentration plant, being obtained a decrease in fuel oil consumption to a 72% and the capacity to generate 22,6 MW-h/d of electricity for National Net. Also, potassium-rich salts are obtained which are equal to 20,15 t/d of potassium chloride that will not be

necessary to import as fertilizer. From the economic point of view, revenues of 4 357 735,84 USD/year are obtained by the sales of generated products from the saving of fuel and the import of fertilizers.

Key words: concentration of vinasse, combustion, burning, waste treatment

INTRODUCCIÓN

El cuidado del medio ambiente es de vital importancia para todos los países del mundo, principalmente para aquellos de gran desarrollo industrial y por consiguiente los de mayor vertimiento de residuales contaminantes. El desarrollo de los programas de Producciones más Limpias ha propiciado la reutilización de los residuales industriales en otros procesos y para múltiples usos, dirigiéndose los esfuerzos en los últimos años a la alimentación y a la producción de energía.

Un residual de gran potencialidad es el 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 siguen siendo en la mayoría de los países productores de este producto, ya que es un residuo que genera efectos secundarios tales como: contaminación de ríos, fuentes de aguas subterráneas y mares cercanos a este tipo de industrias *Pérez (2006)*.

Las actuales perspectivas a nivel mundial y en nuestro país de incrementar la producción de alcohol a partir de jugos y melazas para su empleo como combustible automotor y para otros usos incrementa grandemente el peligro de una mayor contaminación, si no se aplican tecnologías que disminuyan la carga contaminante de este residual o lo eliminen totalmente.

Nuestro país cuenta con 11 destilerías cuyas vinazas poseen un alto poder de contaminación, encontrándose en el orden de 1os 70 g/l de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el volumen diario total es superior a 8 000 m^3/d. Los métodos de tratamiento más utilizados han sido el fertirriego, la producción de levadura Torula y la producción de biogás, pero estos métodos no están aplicados en la totalidad de las destilerías existentes, quedando 7 de ellas que no poseen ningún tipo de tratamiento para este residual.

Uno de los tratamientos que se ha comenzado a poner en práctica en algunos países como Colombia, Argentina e India es la concentración y posterior combustión de las vinazas para la obtención de energía. Esta tecnología tiene como ventaja la obtención de cenizas potásicas comercializables como fertilizante, la generación de energía y la eliminación de los residuales, aspecto que la convierte en una tecnología limpia *Perera (2009)*. Este tratamiento constituye la mejor estrategia de aprovechamiento, pues implica además de una gestión ambiental ejemplar, de utilización de materia y energía, la obtención de beneficios económicos.

En el presente trabajo se realiza el análisis de las ventajas económicas de la implementación de esta tecnología en una destilería de 50 000 l/d con el objetivo de demostrar que la vinaza puede devenir en una materia prima susceptible de ser utilizada con beneficios.

MATERIALES Y MÉTODOS

La vinaza es un líquido de color oscuro, que puede variar desde carmelita hasta casi negro, de olor fuerte, pH medianamente ácido y una DQO (demanda química de oxígeno) que oscila entre 35 y 80 g/l en dependencia de la materia prima utilizada en la fermentación. Está compuesta por un 93% de agua, 2% de compuestos inorgánicos (potasio, calcio, sulfatos, cloruros, nitrógeno, fósforo, etc) y un 5% de compuestos orgánicos que volatilizan al ser calentadas a 650 ºC *Luna N y otros (1989)*.

Como se mencionó anteriormente los principales tratamientos aplicados en nuestro país son el fertirriego, la producción de levadura Torula y de biogás. Como puede observarse en la Tabla I estas tienen como principales limitaciones que siempre generan algún residual adicional, que aunque es menos agresivo necesita de tratamientos secundarios y además se debe mencionar que en las destilerías cubanas donde se han aplicado solo dan solución a una parte del volumen de vinazas producida y el resto se vierte sin ningún tipo de tratamiento.

Tabla I. Principales limitaciones de los tratamientos aplicados

Tratamiento	Limitaciones	
Fertirriego	• Necesidad de grandes hectáreas de tierra • No todos los suelos responden favorablemente al producto • Requiere de altos costos de transportación y distribución en el campo	
Producción de levadura Torula	• Genera un residual que necesita un tratamiento secundario • Grandes consumos de portadores energéticos • Elevados costos de inversión y de producción	
Producción de biogás	• No hay reducción de volumen de líquido • Genera un residual que necesita un tratamiento secundario • Es necesario realizar la desulfuración del biogás antes de su uso	

La tecnología que se propone consiste en la concentración de las vinazas hasta 60 ºBx mediante un sistema de evaporación múltiple efecto, lo que permite la disminución de los grandes volúmenes de vinazas generados y los condensados producto de la evaporación son reutilizados, el del primer vaso como agua caliente para la caldera y los de los vasos restantes pasan a la destilería para ser empleados como agente calefactor. Posteriormente la vinaza concentrada se combustiona en calderas con quemadores especiales, llamados quemadores torsionales, diseñados para residuales líquidos de bajo poder calórico donde el vapor generado pasa a una turbina que genera electricidad y el vapor de contrapresión se envía al proceso de destilación en la destilería y al sistema de concentración. Las cenizas ricas en potasio obtenidas en este proceso son empleadas para la formulación de un fertilizante orgánico. En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloque de este proceso.

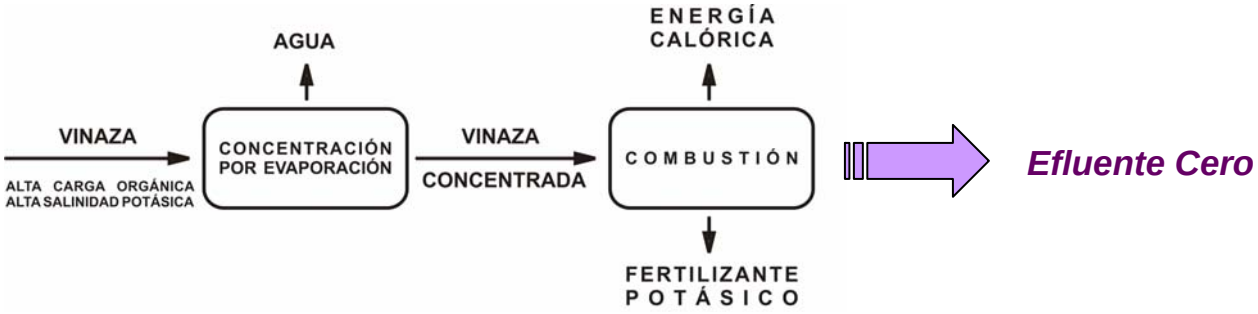


Figura 1. Diagrama de bloque del proceso de concentración y combustión de las vinazas

Como ventajas de esta tecnología podemos mencionar:

- Eliminación total del impacto ambiental por el vertimiento de las vinazas (**Producción Limpia),** pues no quedan residuales líquidos después de su tratamiento
- El vapor generado permite el autoabastecimiento de la destilería y la planta de concentración.
- La destilería y la planta de concentración se autoabastecen de energía eléctrica y la energía sobrante puede entregarse al Sistema Electroenergético Nacional (SEN)
- Las cenizas pueden utilizarse como fertilizantes o venderse en el mercado
- Se obtienen ahorros en el consumo de combustible fósil y por consiguiente una reducción en las emisiones de CO_2

Aunque las ventajas de esta tecnología son interesantes no podemos dejar de mencionar que este es un sistema que tiene un alto costo de inversión debido fundamentalmente a que el equipamiento y las tuberías deben ser de acero inoxidable o con recubrimientos especiales dado el carácter ácido de la vinaza. Además los gases producto de la combustión tienen un alto contenido de SO_2 por lo que se requiere de complejos sistemas de desulfurización. Otro inconveniente que presenta es que se han encontrado problemas de incrustaciones en los evaporadores y de corrosión en las partes metálicas, así como erosión en el recubrimiento refractario de las calderas por la presencia del potasio y el carácter ácido de la vinaza, aunque los suministradores han estado trabajando en el diseño de evaporadores con bajos tiempos de residencia.

Premisas técnicas y económicas

Para realizar el análisis se tomaron como referencia las siguientes premisas:

- Destilería de 50 000 l/d de capacidad
- Días de operación: 150
- Índice de generación de vinaza de 15 l/l alcohol
- Concentración de sólidos totales en la vinaza: 10%. De ellos el 1,42% corresponde al potasio
- Densidad de las vinazas: 1049 kg/m^3
- Concentración en un quíntuple efecto con un 85% de eficiencia
- Concentración de sólidos en vinaza concentrada: 60%
- Valor calórico de la vinaza concentrada: 1650 kcal/kg
- Valor calórico del fuel oil: 10 000 kcal/kg
- Índice de generación de vapor: 10 kg /kg de fuel oil
- Índice de consumo de vapor en destilería: 350 kg/Hl
- Presión vapor entrada a la turbina: 28 bar
- Temperatura vapor entrada: 300 ºC
- Presión vapor escape: 1,5 bar
- Temperatura vapor escape: 112 ºC
- Eficiencia de generación: 75%
- Índice de generación de electricidad: 0,125 kW-h/kg vapor
- Eficiencia de recuperación de potasio: 95%
- Índice de conversión en cloruro de potasio: 1,92
- Índice de generación de dióxido de carbono: 3,3 t/t fuel oil
- Precio del fuel oil: 1400 USD/t
- Precio del cloruro de potasio: 500 USD/t
- Precio de la electricidad al SEN: 0,05 USD/kW-h.
- Precio de Bonos de Carbono: 0,8 USD/t CO_2 (www.eleconomista.net, 2012)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Impacto por ahorro de combustible

En la Figura 2 se muestra el balance de energía correspondiente al esquema integral destilería – sistema de concentración-combustión. Como puede observarse la demanda de vapor para el proceso de destilación y para la concentración de la vinaza es de aproximadamente 325 t/d y el vapor generado es de 276 t/d que aunque no satisface toda la demanda permite una reducción del 72% en el consumo de combustible. Como un aspecto adicional podemos mencionar la disminución de las emisiones de dióxido de carbono debido a la reducción del consumo de combustible con valores de 42 t/d que pueden ser vendidos como crédito de carbono.

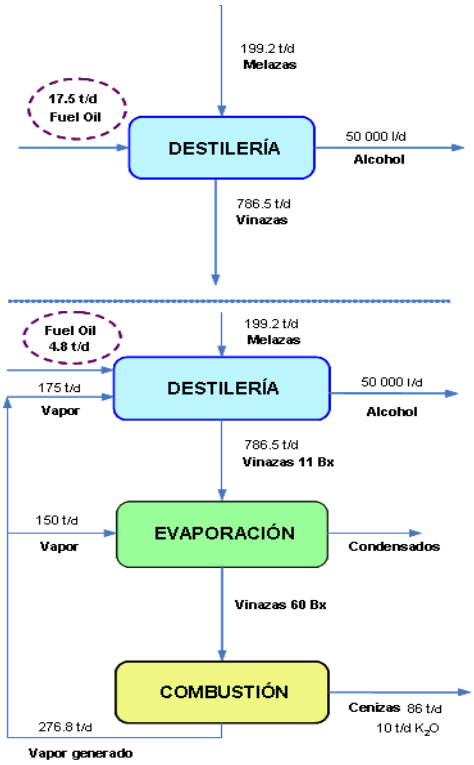


Figura 2. Análisis del consumo de fuel oil para la tecnología propuesta

Impacto por venta de electricidad

Como puede apreciarse en la Figura 3 la generación de electricidad en una turbina a partir del vapor obtenido en la combustión de la vinaza concentrada a 60 ºBx permite el autoabastecimiento de energía eléctrica tanto a la destilería como al proceso de concentración y se obtiene un sobrante de 22 609 kW-h/d que puede ser entregado al SEN.

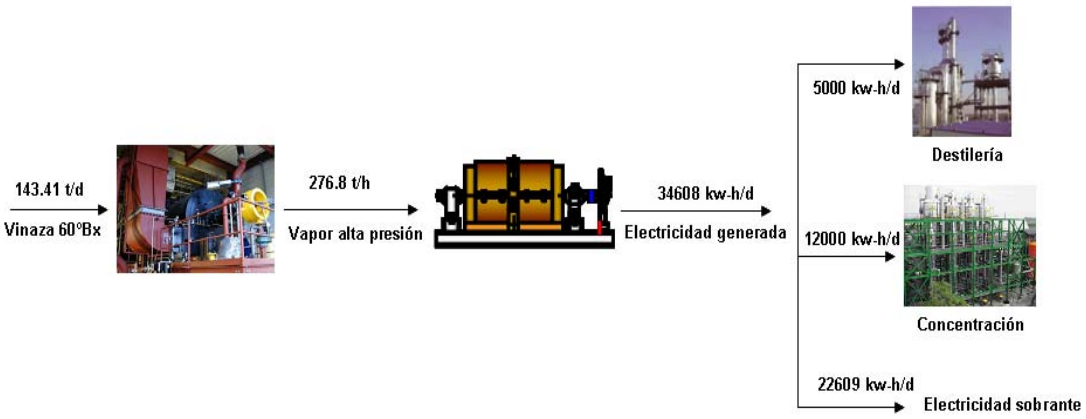


Figura 3. Balance del consumo de electricidad

Impacto por ahorro en importación de fertilizantes

Las cenizas ricas en potasio obtenidas para una destilería de esta capacidad representan 10,55 t/d de potasio que equivale a 20,15 t/d de cloruro de potasio que dejan de importarse en la compra de fertilizantes.

Desde el punto de vista económico la implementación de esta tecnología es ventajosa. Como puede apreciarse en la Figura 4 se obtienen ganancias por la venta de la electricidad y de créditos de carbono, valor total que asciende a 137 104,6 USD/año pero el mayor impacto está dado por el ahorro de combustible y la sustitución de importación de cloruro de potasio con un total de 4 169 291,35 USD/año.

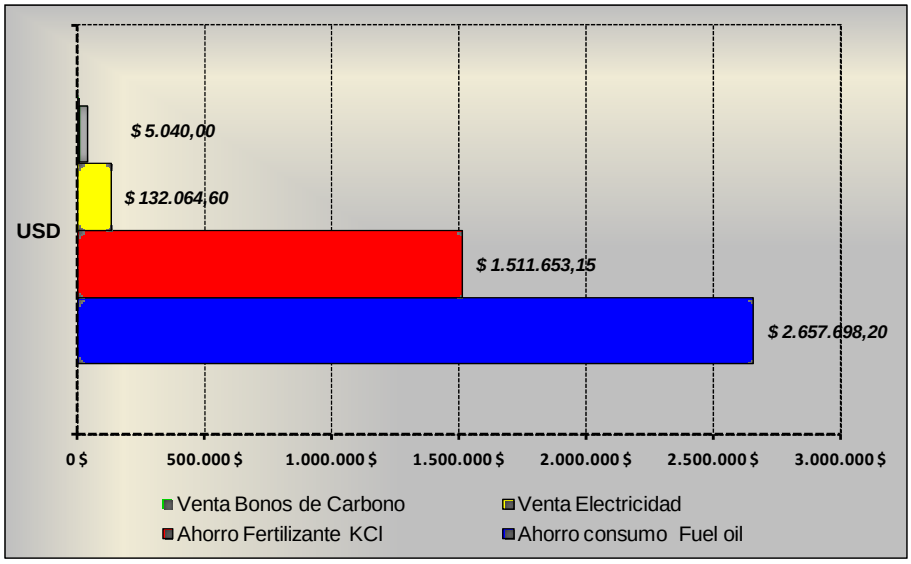


Figura 4. Valor económico obtenido en la tecnología propuesta

Por todo lo anteriormente expuesto podemos decir que la opción de concentración por evaporación para producir vinazas de 60 ºBx, susceptible a ser quemada como un fluido líquido de bajo poder calórico, generando vapor vivo, electricidad y cenizas, constituye una estrategia para el desarrollo económico y social de nuestro país pues los productos de esta tecnología tienen alto valor agregado (beneficios económicos) y se produce una contribución adicional de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

- La concentración y combustión de las vinazas de destilerías es una tecnología limpia ya que se logra un aprovechamiento integral de este efluente y no se obtienen residuales.
- La tecnología propuesta permite garantizar la mayoría de la demanda de vapor a la destilería y a la planta concentradora obteniéndose una disminución del consumo de combustible de 17,2 t/d a 4,8 t/d y se entrega al SEN 22,6 MW-h/d.
- Las sales ricas en potasio obtenidas del proceso de combustión de las vinazas concentradas equivalen a 20,15 t/d de cloruro de potasio que no será necesario importar como fertilizante.
- La implementación de esta tecnología es ventajosa desde el punto de vista económico ya que se obtienen ingresos de 4 306 455,95 USD/año por la venta de los productos generados y por el ahorro de combustible y de importación de fertilizantes.

REFERENCIAS

Cortez, L.A.B, Pérez, B, (1997), Experiences on Vinasse Disposal Part III: combustion of Vinasse - # 6 Fuel Oil emulsions, Universidad del estado de Campinas, Facultad de Ingeniería Agrícola, Brasil.

Gnecco, J (2003), Recopilación acerca de caracterización, concentración e incineración de Vinaza, Jefatura de la sección de Coproducíos, Sucromiles S.A, Palmira.

Medina, C; Rivera, C (2003), Evaluación de un sistema de evaporación de Vinaza mediante contacto directo con gases de combustión de caldera". Facultad de Ingenierías. Universidad del Valle. Santiago de Cali.

Obregón, JJ (2007), Vinazas de sustratos fermentados y destilados de caña de azúcar: estado del arte de utilizaciones, www.monografias.com, pp 16.

Perera, JG (2008), Destilerías de alcohol de melaza con efluente cero y ganancia energética, mediante la concentración y combustión de vinazas, Premio MERCOSUR de Ciencia y Tecnología 2008, Salamanca, España, pp 26.

Perera, JG (2009), Concentración y combustión de vinazas, Ministerio de Gobierno y Justicia de la provincia de Tucumán, San Miguel de Tucumán, República de Argentina. Mayo, pp 43.

Perera, JG, (2009), Propuesta metodológica para evaluar técnica y económicamente la alternativa de concentrar y quemar, la vinaza generada por las destilerías de alcohol de melaza y jugo de caña de azúcar de la provincia de Tucumán, en una localización única. Concentración y combustión de vinazas empleando un proceso centralizado, San Miguel de Tucumán, República de Argentina, Enero, pp 10.

Pérez , I; Garrido, N. (2006), Aprovechamiento integral de las vinazas de destilerías. Una revisión actual, Ingeniería Química, No 435, Vol XXXVIII, 129-133.

Praj Industries (2005), Composting Technology for Distillery Effluent, Training Program For Colombian People, India, February 14th – April 08th.

Shield, Carl (1980). Calderas tipos, características y sus funciones. Novena edición. Compañía Editorial Continental S.A., México, pp 235.

Sprugtenburg, G. P. (1982), Vinasse Pollution Elimination and Energy Recovery.” International Sugar Journal, 84 (999), 73 - 74.

Tadeo, MC; Hernández M (1987), Estudio de la operación de concentración de mostos, Proyecto de Grado, Instituto Politécnico de Química “Mártires de Girón”, Junio.
www.eleconomista.net/component/content/article/139671preciodebonosdecarbonocaen.htlm, 2012.

AVANCES EN EL MANEJO DE EFLUENTES DE DESTILERIAS Y PLANTAS DE DERIVADOS MEDIANTE TECNOLOGIAS DE MEMBRANAS

ADVANCES IN THE DISTILLERY AND BY-PRODUCTS INDUSTRIES WASTE WATER MANAGMENT BY MEMBRANES TECHNOLOGIES

Manuel Díaz de los Ríos y Yaniris Lorenzo Acosta.

ICIDCA, Vía Blanca 804, Esq. C. Central, Ciudad Habana, Cuba. manuel.diaz@icidca.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo muestra el estado del arte internacional sobre las posibilidades de las técnicas de microfiltración, ultrafiltración y osmosis inversa como alternativa para el manejo de las vinazas de destilerías, así como otros residuos líquidos provenientes de la agroindustria azucarera. Dichas técnicas han sido ensayadas con resultados promisorios como alternativa para la concentración de vinazas de destilerías y residuos de la producción de etanol a partir de granos, en sustitución de los tradicionales evaporadores. Para el caso de las vinazas se reportan valores de 75-99% de reducción de color, 70-99% de la materia orgánica y entre un 60-99% de remoción de sólidos, en dependencia del tipo de membranas o combinaciones de estas que se empleen. También han sido ensayadas con éxito en el fraccionamiento de las vinazas y otros residuales para la remoción de colorantes y la separación de productos de alto valor agregado, así como para la remoción de productos orgánicos que inhiben procesos biológicos como la producción de biogás. La combinación de técnicas de osmosis inversa/ ultrafiltración y de microfiltración/ ultrafiltración es reportada por varios autores como estrategia operacional. Los problemas inherentes a la incrustación de las membranas se consideran los factores adversos más importantes que enfrentan estas tecnologías.

ABSTRACT

The estate of art of microfiltration, ultrafiltration and reverse osmosis techniques as alternative for both vinasses and sugar agroindustry wastewater management it is showed in this paper. These techniques have been tested satisfactory in the vinasse concentration in factories which produces ethanol from grains, in substitution of conventional evaporators systems.

The experiences with vinasses showed values of 75-99% for color retention, 70-99% for organic matter retention and between 60-99% of solid retention, depending of both membranes and membranes combination selected. Also has been successfully tested the vinasse and other wastewater fractionation for both colorants retention and high value products, as well as for the retention of bioprocess inhibitors in process such as biogas. The combination of techniques of reverse osmosis / ultrafiltration and microfiltration / ultrafiltration have been reported for several

authors as operational procedure. The problems related with membrane fouling are considered the most important factors which affect these technologies.

Palabras claves: vinaza, membranas, ultrafiltración , microfiltración, osmosis inversa

Key words: vinasse, membranes, ultrafiltration, microfiltration, reverse osmosis

INTRODUCCION

Los procesos de separación y purificación de productos mediante tecnologías de membranas han tenido un gran éxito en el campo de la biotecnología, donde están involucrados relativamente bajos volúmenes de productos de alto valor agregado. En un inicio estas técnicas resultaban en extremo costosas, dado el alto valor de las membranas, el limitado tiempo de vida para las mismas y la operación con altas presiones. Sin embargo, el ulterior desarrollo de estas tecnologías y la aparición de las membranas de cerámica, cuya durabilidad puede alcanzar hasta tres años, ha permitido extender estos procesos al manejo de efluentes industriales, donde los volúmenes manejados son significativamente superiores.

Internacionalmente hoy se reportan estudios y aplicaciones de las tecnologías de membranas para el manejo de una gran diversidad de efluentes industriales, entre los que se destacan el tratamiento de residuales urbanos ***Nguyen and col. (2007*)** y en la industria alimenticia ***Muro y col. (2009)***, entre otros.

ESTADO DEL ARTE SOBRE EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA PRODUCCION DE ETANOL Y PLANTAS DE DERIVADOS MEDIANTE TECNOLOGIAS DE MEMBRANAS.

Las tecnologías de membranas han sido evaluadas con resultados promisorios para el manejo de vinazas y otros efluentes resultantes de la producción de etanol a partir de diversas materias primas. Una excelente revisión sobre el estado del arte en la temática ha sido publicada por ***Shivajirao (2012)***. El tratamiento de los residuos líquidos resultantes de la producción de etanol a partir de maíz mediante membranas ha sido ampliamente estudiados por Arora, A. y colaboradores. La ultrafiltración (UF) del residuo fino, resultado de la centrifugación de la vinaza generada en los procesos de producción de etanol a partir de maíz ha sido evaluada con membranas de 10 y 100 kDa, logrando retener entre el 22 y 27% de los sólidos y hasta un 60% de cenizas, con lo que se reducen los gastos en concentración mediante evaporación ***Arora y otros (2011)***. Otros trabajos de estos autores han sido dirigidos hacia la elaboración de los modelos que caracterizan el sistema, ***Arora y otros (2009, 2010)***. Wu, Y.V en 1988 también había investigado la purificación de aguas residuales resultantes de la producción e etanol de maíz mediante la combinación de ultrafiltración y osmosis inversa (RO) con el propósito de separar fracciones solubles de esta corriente, logrando un permeado final con solo el 0,32-1,3% del nitrógeno y 0,13-0,41% de sólidos totales ***Wu (1988).***

Lapizova, K. and col., estudiaron diversas alternativas de tratamiento de residuos de la destilación de etanol producido a partir de papas. En su estudio emplearon combinación de membranas de

microfiltración (MF) y UF en el rango de 1,4 μm a 5kDa. Los mejores resultados se obtuvieron con métodos combinados de MF de 0,2 μm seguido por membranas de entre 15 y 50 kDa con las que logró hasta un 80% de reducción de la DQO y un 59% de los sólidos totales ***Lapizova (2006)***.

Las vinazas resultantes de la fermentación de mieles y jugos de caña de azúcar han sido también objeto de estudio mediante técnicas de separación con membranas para diversos propósitos. Rennola y col., efectuaron ensayos de UF con membranas de 0,005 μm para el tratamiento de vinazas con la ayuda de coagulantes concluyendo que la eficiencia de los coagulantes empleados es baja; no obstante se reportan resultados de remoción del color de 87-94% y entre un 76-85% de remoción de la turbidez ***Rennola y otros (2007)***. Gutiérrez, C. y otros, evaluaron la concentración de vinazas mediante UF con el empleo de membranas de cerámica de 1 y 15 kDa con variaciones de la presión trans-membrana entre 1-7 bar. Los mejores resultados se obtuvieron con la membrana de 1 kDa , la cual permitió remover el 58% de los sólidos totales, el 70% de la materia orgánica, el 92% de la turbidez y el 82% del color ***Gutiérrez (2009)***.

Las experiencias de Nataraj and col., durante el tratamiento de vinazas con etapas combinadas de nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (RO) con altas presiones (70 bar) permitieron alcanzar remociones del DQO, del contenido de potasio y de los sólidos disueltos de hasta un 99,9% ***Nataraj y otros (2006)***. Otras alternativas de procesos combinados han sido ensayadas por ***Santos Gomes y otros (2012)*** y ***Murthy and Chaudhari (2009)*.** Los primeros seleccionaron combinaciones de MF (0,2 μm) con NF (300, 500 y 1000 Da), siendo esta última (1000 Da) la que reportó los mejores resultados para presiones de 3,5MPa, dados por un mayor flujo de permeado y retención del 80% de los sólidos totales y entre 60-70% de los sólidos disueltos, las cenizas y el contenido de potasio. Murthy and Chadhari optaron por evaluar alternativas de UF con RO logrando retener los sólidos disueltos, DQO, DBO, sulfatos y el potasio en 97,9%, 96,8%, 97,9%, 99,7% y 94,65% respectivamente.

El análisis de todos estos ensayos evidencia que el empleo de métodos combinados reporta mejores resultados que los procesos simples, sobre todo, cuando la última etapa se corresponde con un proceso de RO o una NF con un diámetro de membrana de bajo corte.
El pretratamiento ***Chang (1994)*** y post-tratamiento ***Permionics (2013)*** de los efluentes líquidos vinculados a la producción de biogás constituyen otras experiencias de interés para la agroindustria azucarera; la primera con el propósito de eliminar sustancias inhibidoras del proceso de bioconversión, mientras que la segunda alternativa ha estado dirigida a alcanzar los requerimientos normados para el vertimiento de estos residuos.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Los efluentes líquidos de la agroindustria azucarera son considerados como uno de los más agresivos para el medioambiente en nuestro país, dada su alta carga de materia orgánica y elevado contenido de sólidos. Entre estos se destacan los resultantes de la producción de etanol a partir de mieles de caña, conocidos como vinazas, pues en las mieles se concentran todos los componentes que son rechazados durante el proceso de producción de azúcar. En la tabla 1 se brindan las características más importantes de estos efluentes, donde es posible apreciar la superioridad

agresiva de las vinazas de destilerías frente a los resultantes de las producciones de levadura forrajera y biogás, donde la carga orgánica logra ser disminuida en un 50-70% mediantes su bio-transformación en productos de significativo valor.

Tabla I. Características de los efluentes de la agroindustria azucarera.

Parámetros	Unidad	Vinaza	Res. Biogás	Res. Torula
DQO	g/L	43-70	5-15	11,4-21,5
DBO	g/L	22-35	2,5- 7,5	4,5-11,7
ST	g/L	43,4-50,9	11-27	6,6-18,8
STF	g/L	8,9-13,8	5,9-11	0,86-8,8
STV	g/L	29,6-39,7	5,8 -8	4,7-10,6
SDT	g/L	27-45	8-18	6,0-16,8
SDF	g/L	3,8-12,1	3,8-11	0,8-8,0
SDV	g/L	23,1-32,8	4,2-7,2	4,5-9,3
SST	g/L	5,98-9,7	3,0- 11,1	0,6-2,0
SSF	g/L	1,38-1,5	0,4-5,6	0,02-0,8
SSV	g/L	1,3-8,2	0,7-5,5	0,3-1,3
Sulfatos	g/L	0,1-2,7	0,014-1,7	NE
pH		3,98-4,7	6,7-7,8	4-7
Cloruros	g/L	0,1-2,50	0,01-0,1	NE
Potasio	g/l	2,5-4,3	1,5-2,8	NE
Fósforo	g/l	0,2-0,8	0,1-0,2	0,4-1,0
Nitrógeno	g/L	0,21-1,1	0-0,01	0,14

Aunque el tratamiento de vinazas de destilerías ha sido el objetivo más abordado por investigadores y suministradores de tecnologías de membranas en el contexto de los residuales de la agroindustria azucarera, otros residuos líquidos han sido, y continúan siendo objeto del interés de este sector, ya que las regulaciones nacionales e internacionales para el vertimiento de aguas en ríos y mares son cada día más exigentes, y procesos antes considerados como adecuados, dado los niveles de reducción del DQO logrados, como es el caso de la producción de Biogás, hoy no cumplen los estándares establecidos para el vertimiento ***(NC: 27: 2012).***

De esta forma, las tecnologías de membrana resultan de interés para el manejo de efluentes de las siguientes industrias:

- Vinazas de destilerías que operan con mieles y jugos de caña de azúcar.
- Pre-tratamiento de Biogás para la elevación de su conversión.
- Postratamiento de residuales líquidos provenientes de la producción de Biogás.
- Pre-tratamiento de vinazas para la elevación de su conversión en levadura forrajera.
- Tratamiento de residuales líquidos provenientes de la producción de Levadura Forrajera.

La experiencia internacional evidencia que el empleo exitoso de las tecnologías de membranas exige brindar la mejor solución a aquellos factores que inciden en la economía del proceso. En primera instancia se debe destacar la importancia de la reducción de las incrustaciones en la

membranas, ya que ello incrementa los costos de operación y reduce la vida útil de las mismas, por lo que muchos autores coinciden en la necesidad de algún tipo de pretratamiento previo a la filtracion con membranas; estos pueden considerar etapas de clarificación-sedimentación con o sin la adición de coagulantes, centrifugación y/o filtraciones convencionales. La selección del tipo de membrana y combinaciones de estas constituye un factor determinante en la eficiencia del proceso, el que dada las características de estos residuos depende de una valoración totalmente experimental.

Otro factor de vital importancia consiste en la determinación de las condiciones de operación, por cuanto es deseable lograr el mayor flujo de permeado posible a la par de una mayor retención de sólidos totales, DQO y color. El incremento de la presión trans-membrana favorece el aumento del flujo de permeado y la retención de compuestos indeseables, pero a su vez incrementa las demandas de energía por bombeo y eleva los costos de inversión y operación.

En la Figura 1 se han representado las variaciones del flujo de permeado con la presión para diversos tipos de membranas, según varios autores, donde se aprecia que, en todos los casos, el incremento de la presión favorece la elevación del flujo de permeado. También se evidencian las diferencias de presiones requeridas por los procesos de MF y UF contra las demandadas por las etapas de NF y RO.

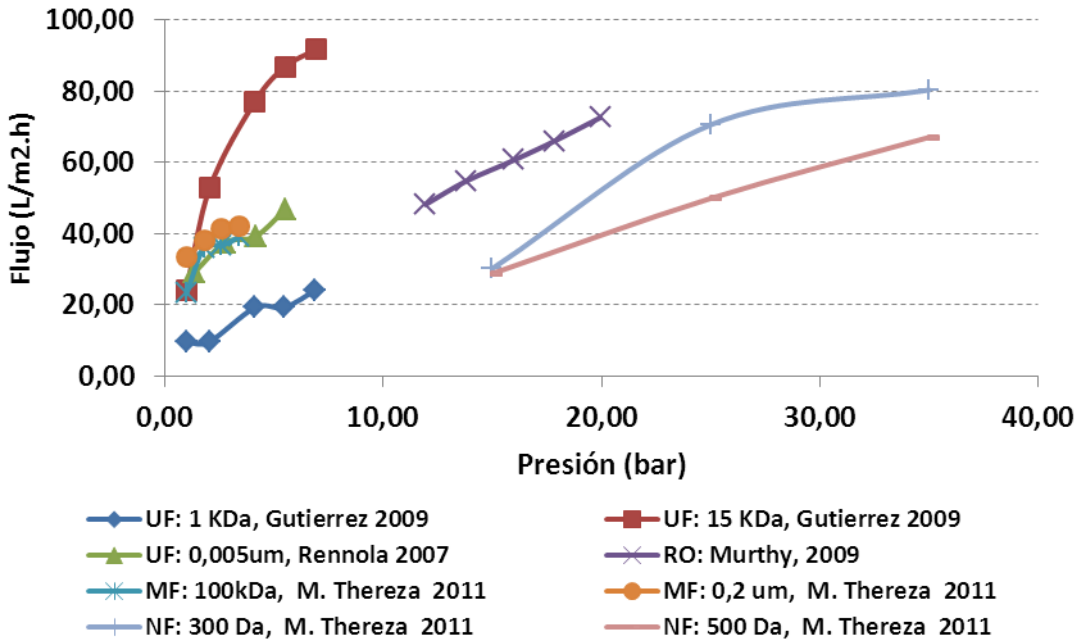


Fig. 1: Variaciones del flujo de permeado según experiencias de diversos autores (valores tomados de gráficos y tablas).

Los niveles de remoción de algunos elementos de la composición de las vinazas aparecen resumidos en la tabla 2. En la misma se reportan los resultados reportados por diversos autores en cuanto a remoción de sólidos totales (ST), sólidos disueltos (SD), sólidos suspendidos (SS), así

como Materia orgánica, cloruros y potasio. Los mejores resultados se reportan para los procesos en dos etapas, particularmente aquellos que cierran con osmosis inversa.

Tabla II. Niveles de remoción de SST, STD, SS, DQO, Cloruros y Potasio según diversos autores.

	Membrana	Proceso	Presión (bar)	ST (%)	DS (%)	SS (%)	DQO (%)	K (%)
Gutierrez y col. 2009	1 kDa	UF	7	58			70	
Gutierrez y col. 2010	15 kDa	UF	7	52			60	
Nataraj and col., 2006		NF + RO	70		99		98,9	99,80
M. Therezaand and col., 2011	100 kDa	MF	3,4	40	36,8	100		13,80
M. Therezaand and col., 2011	0,2 um	MF	3,4	40	32	100		17,80
M. Therezaand and col., 2011	100 kDa + 300 Da	NF	35	81,4		100		54,31
M. Therezaand and col., 2011	100 kDa + 500 Da	NF	35	85		100		62,07
M. Therezaand and col., 2011	100 kDa + 1000 Da	NF	35	83,8		100		65,52
M. Therezaand and col., 2011	0,2 um + 300 Da	MF +NF	35	83,2		100		81,09
M. Therezaand and col., 2011	0,2 um + 500 Da	MF +NF	35	83,8		100		73,70
M. Therezaand and col., 2011	0,2 um + 1000 Da	MF +NF	35	80,8		100		69,59
Murthy and Chaudhari, 2009		UF + RO	20		97,9	95,5	96,8	94,65

De acuerdo con estas experiencias es posible modelar el comportamiento de estos sistemas frente a algunos de los efluentes de nuestra industria para disponer de una orientación sobre el nivel de descontaminación esperado al aplicar las tecnologías de membranas. Por supuesto, los resultados de la simulación constituyen un indicador orientativo y en ningún caso sus resultados pueden ser tomados como absolutos, pues aun cuando se trate de efluentes con propiedades físicas globales semejantes a las nuestras, las membranas de UF, NF y RO remueven los compuestos sobre la base del tamaño de las moléculas y la naturaleza química de los efluentes puede variar significativamente en función de diversos factores, tales como: tipo de suelos, variedad de caña empleada y particularidades de los procesos productivos de etanol, azúcar y/o levadura.

En principio puede ser considerado un proceso de tres etapas, compuesto por una etapa primaria de clarificación, decantador centrífugo o filtración convencional dirigido a la separación de los sólidos suspendidos para reducir los niveles de obstrucción de membranas y los ciclos de limpieza de estas. Posteriormente se requerirán, al menos, dos etapas de separación por membranas; una primera etapa dirigida a retener el mayor nivel de materia orgánica y compuestos de altos pesos moleculares con una mínima reducción del flujo de permeado, la cual puede consistir en una etapa de MF o UF. La segunda etapa de separación por membranas debe garantizar el mayor flujo de permeado con el máximo nivel de retención para garantizar un permeado reutilizable en el proceso o que pueda ser vertido sin restricción, por lo que es posible pensar en una etapa de NF o RO. El esquema propuesto se ilustra en la figura 2.

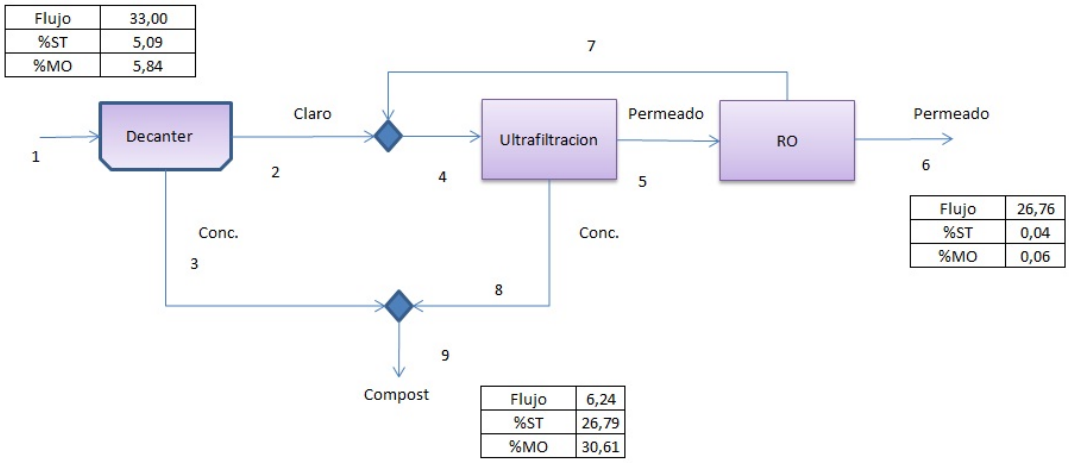


Fig. 2: Posible esquema para el tratamiento de vinazas mediante membranas.

En el ejemplo de la figura 2 se logra remover el 99,1% de la materia orgánica y el 99,4% de los sólidos totales, además de permitir la obtención de un permeado con un 0.04% de ST y un 0.06% de MO.

Para brindar indicaciones sobre la mejor combinación de membranas a evaluar en un posible esquema para clarificación de vinazas se ha formulado un modelo, sobre la base de la experiencia de la literatura, dirigido a minimizar la razón Valor de inversión/ flujo de permeado, ya que se desea una inversión mínima con un flujo de permeado máximo, sujeto a las siguientes restricciones:

- Presiones de operación restringidos por los rangos establecidos para cada tipo de membrana.
- La máxima concentración de ST y MO no debe exceder el 65% en cada etapa.

Las variables respuestas evaluadas fueron porciento de retención de ST (%RST), materia orgánica (%RMO), contenidos porcentuales de ST y MO en el permeado respectivamente (%STp y %MOp), áreas de filtración de cada etapa, valor de inversión y costo de operación.

Los resultados de la simulación del proceso para diversas combinaciones de membranas en las etapas 1 y 2 se muestran en la tabla 3. Como era de esperar, en todos los casos las respuestas indicaron la conveniencia de trabajar a las máximas presiones en cada etapa dentro de los rangos establecidos como permisibles. El porciento de recobrado promedio fue del 82,24% del flujo de alimentación.

Los valores sombreados representan los mejores dentro de cada categoría y se evidencia que los mejores resultados se obtuvieron cuando se trabaja la segunda etapa con las membranas de RO, algunos de los cuales son coincidentes con los menores valores de inversión (menor área) y por consiguiente con menores costos de operación, al depender estos del área filtrante (mayor gasto en bombeo, limpieza y reposición de membranas). La inversión total oscila entre 0,7-1,4 MM de dólares, mientras que los costos de operación están en el entorno de los 4,5-10 ctv/L de etanol producido.

Tabla III. Resultados de la simulación en diversos esquemas donde se han variado**.**

Etapa 1	Etapa 2	% R-ST	% R-MO	% ST p	% Mop	Área 1 (m2)	Área 2 (m2)	Inversión	Costo ($/t)
1 Kda	300 Da	95,06	83,53	1,03	0,35	1094	561	1308242	9,17
1 Kda	500 Da	95,06	89,19	0,68	0,35	1098	688	1395825	9,83
1 Kda	1000 Da	95,06	85,86	0,88	0,35	1094	256	1103273	7,61
1 Kda	RO	99,21	99,55	0,03	0,06	1109	367	1186819	8,25
15 Kda	300 Da	90,57	75,32	1,54	0,67	849	564	1167747	7,95
15 Kda	500 Da	90,57	83,15	1,05	0,67	849	692	1253301	8,60
15 Kda	1000 Da	90,57	78,47	1,34	0,67	849	258	961762	6,38
15 Kda	RO	98,43	99,24	0,05	0,11	864	368	1044180	7,02
50 Kda	300 Da	94,47	79,15	1,30	0,40	511	562	968974	6,23
50 Kda	500 Da	94,47	86,03	0,87	0,40	515	689	1056836	6,90
50 Kda	1000 Da	94,47	81,94	1,13	0,40	512	257	764692	4,68
50 Kda	RO	96,98	96,97	0,04	0,22	523	625	1018715	6,61
0.2 um	300 Da	76,40	65,98	2,08	1,66	598	573	1027382	6,73
0.2 um	500 Da	76,40	75,64	1,49	1,66	598	702	1114264	7,39
0.2 um	1000 Da	76,40	69,74	1,86	1,66	598	261	817901	5,14
0.2 um	RO	95,49	98,80	0,08	0,32	617	369	901059	5,78
100 Kda	300 Da	76,40	68,51	1,93	1,66	563	573	1007083	6,55
100 Kda	500 Da	76,40	77,74	1,36	1,66	563	702	1093963	7,21
100 Kda	1000 Da	76,40	72,14	1,71	1,66	563	262	797896	4,96
100 Kda	RO	95,48	98,92	0,07	0,32	581	369	880054	5,60
150 Kda	300 Da	76,01	67,26	2,00	1,68	476	573	956345	6,11
150 Kda	500 Da	76,01	76,71	1,43	1,68	476	703	1043271	6,77
150 Kda	1000 Da	76,01	70,96	1,78	1,68	476	262	747078	4,52
150 Kda	RO	95,39	98,85	0,07	0,33	491	369	827918	5,15
300 Kda	300 Da	72,66	70,51	1,80	1,91	470	575	954365	6,09
300 Kda	500 Da	72,66	79,37	1,26	1,91	470	705	1041600	6,76
300 Kda	1000 Da	72,66	74,02	1,59	1,91	470	263	744335	4,50
300 Kda	RO	94,55	99,02	0,06	0,39	490	369	827495	5,14

CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Según informaciones recientes, una instalación de este tipo, para el tratamiento de 30-35 t/h de vinazas puede representar una inversión de entre 0,7 – 1,4 MM de dólares. Los elementos más importantes de los costos de operación constituyen los gastos energéticos por bombeo (0,5 kWh/m^2 de área filtrante) ***Arora y otros (2011)***, la reposición de membranas (aprox. 20% del costo de adquisición del sistema) ***Shivajira (2012)*** y los costos de limpieza de estas ***Arora y otros (2011)***.

Los costos de tratamiento se pueden estimar según se refleja en la tabla 4 para una instalación con 677 m^2 de área filtrante total y que procesa 33 t/h de efluente durante 200 días al año.

Tabla IV. Tabla ilustrativa de la estimación de los costos de tratamiento

Costo de operación	Índice	Unidad	Precio unit.	Unidad	Costo ($/t)
Consumo de electricidad	10,25	kWh/t	0,23	$/kWh	2,36
Reposición de membranas					
Etapa de Ultrafiltración	20%				0,15
Etapa de RO	20%				0,09
Limpieza de membranas	10	$/$m^2$. año	6,31E-05	$/$m^2$	0,04
Mano de Obra	8		1000	$ mes/trab	0,61
	Total				**3,24**

El costo total de operación podría estar en el orden de 3,2 pesos/t de vinaza, el que si se considera un índice de aproximadamente 13 L de vinaza por litro de etanol, representa un costo de 42,13 $/$m^3$ de etanol (4,21 ctv/L de etanol). Estos indicadores representan tan solo un ligero incremento a los costos de producción de etanol.

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos por diversos autores en el manejo de vinazas con membranas y su extrapolación a las características de los residuales de la agroindustria azucarera cubana, permite inferir la alta atracción de estas técnicas para el tratamiento de efluentes de este sector y la importancia de disponer de informaciones prácticas precisas sobre las aplicaciones internacionales y su evaluación experimental para las condiciones cubanas.

Los resultados de la simulación expuestos en este trabajo ratifican la necesidad de operar con las máximas presiones dentro de los rangos permisibles para cada tipo de membrana y cerrar con etapas RO para lograr altos niveles de remoción de sólidos y DQO. La estimación de los costos de tratamiento indicó que los mismos son moderados y no constituyen un incremento significativo de los costos de producción de etanol.

REFERENCIAS

Arora, A. ; S. Dien, B. ; L, Belyea, R. ; Singh, V. ; Tumbleson, M.E. and Raush, K.D. (2010), "Heat transfer model characteristics of microfiltered thin stillage from the dry grind process", Bioresource Technology, 101, pp.6521-6527.

Arora, A. ; S. Dien, B. ; L, Belyea, R. ; Wang, P.; Singh, V. ; Tumbleson, M.E. and Raush, K.D. , (2011) "Ultrafiltration of Thin stillage from conventional and E-mill Dry Grind Processes", Appl. Biochem Biotechnol, 164, pp.58-37.

Arora, A. ; S. Dien, B. ; L, Belyea, R. ; Wang, P.; Singh, V. ; Tumbleson, M.E. and Raush, K.D. , (2009) "Thin stillage fractionation using ultrafiltration: resistances in series model", Bioprocess Biosyst Eng., 32, pp.225-233.

Arora, A.; Set, A.; S. Dien, B. ; L, Belyea, R. ; Wang, P.; Singh, V. ; Tumbleson, M.E. and Raush, K.D., (2011) "Microfiltration of thin stillage: Process simulation and economic analysis", Biomass and Bioenergy, 35, pp.113-120.

Chang, I-S.; Choo, K-H.; Lee, C-H.; Pek, U-H.; Koh, U-C.; Kim, S.-W and Koh, J-H., (1994), "Application of ceramic membranes as pretreatment in anaerobic digestion of alcohol distillery waste", Journal of membrane Science, 90, pp. 131-139.

De Moraes Santos, M.T., (2011), Concentração da vinhaça por microfiltração seguida de nanofiltração, Tesis de Maestria, Campinas, SP.

Gutiérrez, C.; Gosso, J.; Bullón, J.; Rennola, L.; Salazar, F. y Cárdenas, A., (2009), "Ultrafiltración de vinazas provenientes de destilerías de etanol", Revista Ciencia e Ingeniería., 30, N0. 2, pp. 121-126.

Lapisova, K.; Vlcek, R.; Klosova, J.; Rychtera, M. y Melzoch, K., (2006), "Separation Techniques for distillery stillage treatment", Czech J. Food Sci., 24,No.6, pp.261-267.

Muro, C.; Escobar,J.; Zavala, R.E.; Esparza, M.; Castellanos, J.; Gómez, R.M y García, M., (2009), "Evaluación del proceso de microfiltración en un efluente residual de una industria alimenticia para su reuso", Rev. Int. Contam. Ambient. 25, No.4, pp. 229-238.

Nataraj, S.K.; Hosamani, K.M. and Aminabhavi, T.M., "Distillery wastewater treatment by the membrane-based nanofiltration and reverse osmosis processes", Water Research, 40, pp 2349-2356, 2006.

NC: 27:2012. (2012), Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Oficina Nacional de Normalización.

Nguyen, T.; Fan, L.; Roddick, F:A and Harris, J.L., (2007), "A comparative study of microfiltration and ultrafiltration of activated slugged-lagoon effluent", Desalination, 236, pp. 208-215.

PERMIONICS, www.permionics.com

Rennola, L.; Yépez, C.; Bullón, J. y Salazar, F. (2007), "Tratamiento de las aguas residuales de una destilería mediante el uso de coagulantes y membranas", Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia, 30, No. Especial Maracaibo.

Santos Gomes, M.T.; Eca, K.S. and Viotto, L.A., " Concentration of vinasse using membrane filtration processes", Journal of Agricultural Science and Technology, B2, pp. 875-886, 2012.

Shivajirao, P.A., "Treatment of distillery wastewater using membrane technologies", International Journal of Advanced Eng. Res. And Studies, I,No.III, pp.275-283, 2012.

Wu, Y.V. "Recovery of stillage soluble solids from corn and dry milled corn fractions by high pressure reverse osmosis and ultrafiltration", Cereal Chem., 65, No.4, pp 345-348, 1988.

CERA CRUDA DE CAÑA DE AZÚCAR COMO ADITIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES.

WAX RAW OF SUGAR CANE AS ADDITIVE FOR THE PRODUCTION OF LUKEWARM ASPHALTIC MIXTURE.

MsC. Ing. Rosa Herrera de la Rosa e Ing. Nelson Villegas Muñoz.

Carretera a Casablanca y Calle 70. Reparto Bahía, Municipio Regla, La Habana, Cuba.

Teléfono: 766.4291 Telefax: 766.36.34

Correos electrónicos: rosita@ctdmc.co.cu y nelson@ctdmc.co.cu

RESUMEN

Para el desarrollo del presente trabajo se evaluaron muestras de cera cruda de caña para emplearla como aditivo en mezclas asfálticas, cuya finalidad es disminuir sus temperaturas de fabricación y colocación, con la consiguiente disminución del impacto que realizan sobre el medio ambiente a temperaturas elevadas. Se evaluaron muestras de asfalto 50-70 procedente de dos plantas de La Habana y se realizaron mediciones posteriores de las viscosidades dinámicas de ambos incorporándoles diferentes concentraciones de cera. Se realizaron gráficos del efecto de la adición de cera sobre las propiedades reológicas de los asfaltos sin modificar y modificados, y después de su envejecimiento por oxidación a altas temperaturas. En el trabajo, se presentan las tablas y gráficos obtenidos y se recogen las conclusiones pertinentes, además se incluye una breve reseña bibliográfica.

ABSTRACT

For the development of the present work samples of wax raw of cane were evaluated to use it as additive in asphaltic mixtures whose purpose is to diminish their temperatures of production and placement, with the rising decrease of the impact that they carry out on the environment to high temperatures. Asphalt samples were evaluated 50-70 coming from two plants of Havana and they were carried out later mensurations of the dynamic viscosities of both incorporating those different concentrations of wax. They were carried out graphics of the effect of the addition of wax about the reologhycal properties of the asphalts without modifying and modified, and after their aging for oxidation to high temperatures In the work, the charts and obtained graphics are presented and the pertinent conclusions are picked up and a brief bibliographical review is also included.

Palabras clave: cera, asfalto, viscosidad, medio ambiente.

Key word: wax, asphalt, viscosity, environment.

1. Introducción

Las principales investigaciones en que están envueltos los profesionales del asfalto en los últimos años están dirigidas a la preparación de mezclas asfálticas a menor temperatura para lograr la reducción del consumo de energía y de las emisiones de polvo y de humos sin afectar las prestaciones de las mezclas en caliente actuales. Una de las líneas de trabajo para lograr estos resultados está referida al empleo de aditivos que actúan sobre la viscosidad del asfalto a altas temperaturas y entre los que se mencionan en la literatura se encuentran las ceras, de las cuales existen diferentes tipos: naturales, parafínicas, no parafínicas, 100 % sintéticas y parcialmente sintéticas, amidas de ácidos grasos, ceras de polietileno y otras, con las cuales se ha logrado disminuir la viscosidad del ligante, lo que a su vez resulta en la disminución de la temperatura del mismo durante los procesos de mezclado y de compactación, manteniendo sus propiedades a la temperatura de servicio o inclusive mejorándolas. Las mezclas bituminosas en caliente (MBC) se producen a temperaturas entre 150ºC y 180ºC según se puede apreciar en la figura 1, las cuales garantizan que los agregados estén secos. El ligante involucra a los agregados, y la mezcla posee una laborabilidad apropiada, de manera que se puede almacenar temporalmente y posteriormente transportarla, aplicarla y compactarla. Según estudios realizados, mediante la introducción de estas adiciones se logra la reducción de gases de efecto invernadero como el CO_2 y el SO_2 entre el 15-40 %, entre el 10-30% de CO y entre el 60-70% de NO_x. D´ Angelo y otros, (2008). La reducción del consumo de combustible se estima esté entre 10-35% de gasoil Jenkins. K, (2010) y la reducción de emisión de humos entre 30-50%., Gil. S, (2009). La siguiente figura muestra la clasificación de las mezclas asfálticas según la temperatura de fabricación Prowell. B, (2007) y los procesos que se efectúan, el consumo de combustible y la emisión de humos.

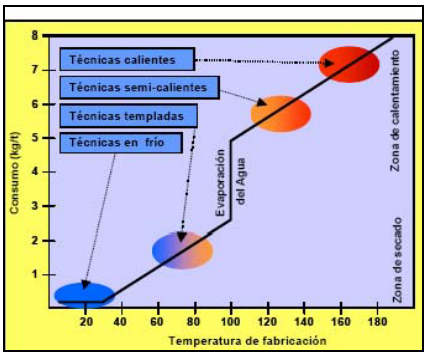


Fig. 1. Clasificación de las mezclas asfálticas según la temperatura de fabricación.

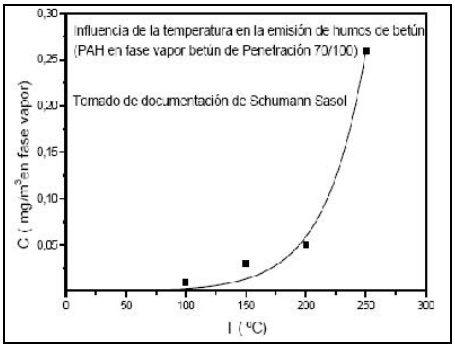


Fig. 2. Influencia de la temperatura en la emisión de humos según la temperatura.

Las ceras sintéticas que se están usando actualmente en el mundo para la producción de mezclas semicalientes son la Fischer-Trops, Montana, Slack, de Polietileno y Amidas de Ácidos Grasos, Gil. S, (2009). Un resumen de diferentes tecnologías de mezclas semicalientes y templadas que se están empleando

en diferentes países Prowell, B., (2008) y algunos resultados obtenidos en uno de los diferentes proyectos que se han estudiado Logarraj. S, (2009), se exponen en las tablas siguientes:

Tabla. I: Procesos de obtención de mezclas semicalientes y templadas en varios países.

Proceso	Entidad	Cantidad añadida	Temperatura de producción en planta	Reportado en	Toneladas producidas
SASOBIT (Cera Fischer-Tropsch)	SASOL	En Alemania se añade el 2.5% en peso del asfalto. En EE.UU se añade entre 1.0 % y 1.5 %	Alemania recomienda temperaturas entre 130 y 170 °C, dependiendo de la rigidez del asfalto. Reducción de 20-30°C.	Alemania y otros 20 países en el mundo	**Más de 10 millones de toneladas** en el mundo
ASPHALTAN -B (Cera Montana)	ROMONTA	En Alemania se añade el 2.5 %	Alemania recomienda temperaturas entre 130 y 170 °C, dependiendo de la rigidez del asfalto Reducción de 20-30°C.	Alemania	No conocida
LICOMONT BS 100 o SÜBIT (Amida de ácido graso)	CLARIANT	En Alemania se añade 3%	Alemania recomienda temperaturas entre 130 y 170°C dependiendo de la rigidez del asfalto. Reducción de 20-30°C.	Alemania	>322,500 m^2 desde 1994
3E LT o ECOFLEX (PE + Adípico)	COLAS	Se desconoce el por ciento	No se conoce cual es la recomendación. Reducción de 30-40°C	Francia	No conocida

Tabla II. Reducción de las temperaturas de mezcla y pavimentación en diferentes proyectos.

Localización	Reducción de la temperatura de mezcla (°C)	Reducción de la temperatura de pavimentación (°C)
Dallas, Texas - 2008	20-30	Aprox. 33
Lufkin, Texas - 2008	20-30	39-48
Beaumont, Texas - 2008	31-36	31-36
Jasper, Texas - 2009	31-36	31-36
Noruega - 2008	Aprox. 30	Aprox. 30
Irlanda - 2008	Aprox. 20	Aprox. 30
Dinamarca - 2009	Aprox. 30	Aprox. 30
Suecia (sin fecha)	Aprox. 30	Aprox. 30
Chico, California (sin fecha)	28-33	28-33

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

2.1.1 Cera cruda de caña.

Está constituida por cadenas con un número de carbonos total que varía entre 14 y 60, debido a que en ella se encuentra además, una mezcla de triglicéridos, aldehídos, cetonas, ésteres, terpenos y material resinoso de alto peso molecular. Se estima que presenta un peso molecular medio ya que en su composición se encuentran compuestos de bajo y alto peso molecular. Es una cera no parafínica inicialmente pero los compuestos parafínicos se forman con el tiempo. García. A, (2010).

La cera de caña se comercializa en Cuba fundamentalmente para la producción de PPG en la Industria Farmacéutica. En el país existen 8 plantas extractoras que requieren mantenimiento y reparación intensivos, y que pudieran aportar de 4 000 ton. a 5 000 ton. de cera cruda en zafra es decir, de 40 a 50 veces la cantidad de cera que se requiere refinar para producir el PPG, lo cual posibilitaría un excedente para su aplicación en la industria de la construcción cubana para desarrollar investigaciones de probada aplicabilidad como las mezclas semicalientes que, además de disminuir el impacto medioambiental y la demanda de energía en la industria del asfalto en Cuba, sustituirían posibles importaciones, pudiéndose generalizar otros productos para nuestra industria como el cemento hidrófugo IMPERCEL y el desmoldante para la industria del prefabricado CERAMOLD.

De acuerdo a resultados de una inspección realizada a las plantas de cera, se dispone de por lo menos 200 toneladas de cera refinada apta y no menos de 1 200 toneladas de cera cruda, por lo que actualmente se encuentra paralizada la producción de cera de caña pues los lotes almacenados permiten una reserva de 20 años para la producción del PPG. Como parte del programa de cera se realizó una evaluación de las plantas productoras, recomendándose mantener en activo solamente 3 de las plantas existentes, utilizando los recursos de las que se desactiven para la reparación y recuperación de las mismas, MINAZ, (2005).

2.1.2 Asfalto

La definición de los asfaltos, dada por la ASTM D 8, define como asfaltos aquellos materiales sólidos o semisólidos de color negro a pardo oscuro, que se licuan gradualmente al calentarse y cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida o semisólida, o se obtienen de la destilación del petróleo, o combinaciones de estos entre si o con el petróleo, o mediante productos derivados de todas estas combinaciones. Los asfaltos por destilación suelen llamarse asfaltos de penetración, por ser la penetración de una aguja normalizada a 25^0C la que sirve para clasificarlos de manera elemental. Estos productos se obtienen en las refinerías como residuos de la destilación de los crudos de petróleo. La calidad de los asfaltos de destilación depende en gran medida de la naturaleza del crudo que le dio origen.

Los crudos de petróleo se dividen fundamentalmente en dos grupos: crudos parafínicos y crudos asfálticos. Los parafínicos no contienen asfalto en cantidades apreciables y la calidad del poco que contienen no suele permitir su aprovechamiento directamente. Así, los crudos asfálticos son los más adecuados para obtener el asfalto. El asfalto que se emplea para la producción de mezcla asfáltica para la pavimentación de los viales en La Habana es producido únicamente en la Refinería Ñico López, la cual solo entrega un solo tipo de asfalto actualmente clasificado como asfalto de penetración 50/70.
El comportamiento reológico de los asfaltos depende de la temperatura del mismo y la duración de la carga. Así por ejemplo:

- A altas temperaturas y/o cargas lentas el asfalto se comporta como un líquido viscoso, cuya viscosidad varía con las condiciones específicas de carga y temperatura.
- A bajas temperaturas y/o cargas rápidas, el asfalto se comporta como un sólido elástico, cuya rigidez depende de las condiciones específicas de temperatura y carga.

- A temperaturas intermedias el asfalto se comporta como un material viscoelástico. Este comportamiento se caracteriza por una respuesta combinada ante cargas, con una componente viscosa y una componente elástica.

2.2 Método

La primera parte del trabajo consistió en la caracterización de la cera y el asfalto a emplear, mediante los ensayos convencionales, mediante las normas que se muestran en la referencia, y en la segunda parte se determinó el comportamiento de las propiedades de los asfaltos ya modificados con diferentes concentraciones de cera. Esta segunda parte se dividió en dos etapas:

1. Determinación del porcentaje óptimo de cera a adicionar al asfalto según el comportamiento de la viscosidad rotacional Brookfield.
2. Estudio del comportamiento reológico de los asfaltos modificados.

La primera etapa consistió en ir adicionando diferentes concentraciones de cera a las dos muestras de hormigón asfáltico caliente que se emplean habitualmente en la producción, y después medir su comportamiento reológico con el fin de establecer la concentración óptima de cera, así como establecer las temperaturas de mezclado y compactación de manera adecuada, considerando las recomendaciones de viscosidad establecidas en el método SUPERPAVE. La segunda etapa consistió en evaluar el comportamiento reológico de ambos asfaltos ya modificados con la concentración óptima de cera adicionada, antes y después de someter las mezclas a envejecimiento bajo la acción del aire y la temperatura para simular los fenómenos que ocurren durante su proceso de producción

2.2.1 Preparación de las mezclas asfalto/cera.

Considerando los rangos de adiciones de ceras encontrados en la literatura, se realizaron mediciones con diferentes por cientos de adición, abarcando desde el 1% hasta el 4%. Se pesaron 500 gramos de cada tipo de asfalto y se elevó su temperatura entre 90°C y 100°C para que la temperatura del asfalto fuera algo superior a la temperatura de fusión de la cera (78-80)^{o}C, la cual fue previamente pesada. Los por ciento de cera se fueron agregando en cada recipiente a los dos tipos de asfalto, manteniéndose la mezcla sobre la plancha de calentamiento por 5 minutos. Durante la preparación de las muestras se apreció para el 4% de adición un ligero aumento de volumen en forma de espuma y un cambio en la coloración del asfalto.

2.2.2 Medición de la viscosidad rotacional Brookfield.

Se determinó la viscosidad de ambos asfaltos modificados a los diferentes por cientos, obteniéndose la influencia que ejercía el aditivo sobre la temperatura y la viscosidad. Se conformaron las curvas temperatura-viscosidad de los asfaltos modificados, lo que propició además elaborar dichas cartas para cada adición considerada para cada tipo de asfalto.

Las temperaturas medias establecidas fueron señalizadas en la carta por el método de diseño SUPERPAVE: para el mezclado (0.17 ± 0.02 Pa.s) y para la compactación (0.28 ± 0.03 Pa.s).

3. Resultados y Discusión

3.1 Cera cruda de caña.

Las muestras fueron localizadas y obtenidas de los almacenes del Centro de Investigaciones de la caña de azúcar, y fueron caracterizadas con los ensayos básicos de identificación en el ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar) los cuales se detallan en la tabla No. 2; el resto de los ensayos fueron realizados en el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción (CTDMC), donde se realizaron ensayos cualitativos y cuantitativos. En el ICIDCA se realizaron los ensayos cuantitativos siguientes:

Tabla III. Resultados de los ensayos en ICIDCA.

Índice	**U.M**	**Resultado**
Contenido de aceites	%	33,0
Contenido de resinas	%	15,0
Contenido de cera	%	55,0
Índice de yodo	cg I_2 /g	28,0
Contenido de ácidos grasos libres	%	11,6
Contenido de alcoholes	%	16,4
Punto de fusión	(^{o}C)	78,5

Los resultados de algunos ensayos cualitativos realizados en el CTDMC, efectuados a modo de orientación, se relacionan seguidamente:

Tabla IV. Resultados de los ensayos cualitativos en CTDMC.

Ensayo	**Resultado**
Agregado de estearina	No hay presencia
Agregado de parafina	No hay presencia

Los resultados de los ensayos cuantitativos fueron los siguientes:

Tabla V. Resultados de los ensayos cuantitativos en CTDMC.

Índice	**UM**	**Resultado**
Densidad	g/cm^3	1,10
Punto de goteo	^{o}C	77,5
Punto de fusión	^{o}C	78,5
Índice de acidez	mg KOH/g	56,28
Índice de saponificación	mg KOH/g	193,54
Índice de éster	mg KOH/g	137,26

Hay que destacar que la cera presenta solo un 55 % de este componente en su composición química y que el 45 % restante lo constituyen aceites y resinas que probablemente pudieran llegar a aumentar los contenidos existentes de estos productos en el asfalto modificado. El punto de fusión se encuentra por debajo de las temperaturas de trabajo del asfalto, por lo cual no deben existir dificultades para su disolución en el mismo. La variación obtenida en los índices de acidez y saponificación en relación a valores obtenidos en el ICIDCA, 32,0 y 98,0 respectivamente, pudo haberse producido quizás por el largo tiempo de almacenamiento de la cera (unos 10 años) y a la interacción con el medio ambiente. En principio se considera que los cambios en estas propiedades por tiempo de almacenamiento no debe influir en el uso para el que se ha previsto aunque, pudiera evaluarse, de ser posible, la adición de cera al asfalto con diferentes contenidos de acidez y saponificación para corroborar si se produce o no afectación sobre los resultados de viscosidad en el mismo. El resto de las propiedades medidas solo constituyen índices de identificación, pues en la literatura consultada sobre mezclas semicalientes, no existe referencia de que alguna de estas propiedades interfiera en la modificación del asfalto.

3.2 Asfalto

Para el desarrollo del trabajo se muestreó dicho asfalto en dos de las plantas que producen mezcla para la pavimentación de la ciudad, la Planta Móvil Bernardi (PMB) y la Planta Bernardi de la Empresa de Vías Urbanas del Poder Popular (PPP). Ambas muestras fueron caracterizadas con los ensayos básicos y los resultados de la evaluación se muestran en la tabla siguiente, así como las cartas viscosidad-temperatura obtenidas:

Tabla VI. Ensayos de caracterización de los asfaltos.

Índice	**U.M.**	**Tipo**	
		PMB	**PPP**
Penetración	dmm.	74,1	65.9
Índice de penetración	-	-1.3	-0.8
Punto de ablandamiento	^{O}C	49	46
Ductilidad	cm.	150	150

Tabla VII. Cambios de la consistencia del asfalto por envejecimiento en horno de película delgada en movimiento.

MUESTRA	**Penetración**		**% p.o**	**Valores admisibles PG-3 Articulo 211**
	Virgen 60/70	**Envejecido**		(%Penetración original)
PMB	74,1	35,1	47,4	50 mínimo
PPP	65,9	32,7	49,6	
	Ablandamiento		**Δ T^{o} A y B**	**Valores admisibles PG-3 Articulo 211**
	Virgen 60/70	**Envejecido**		ΔT ^{o}C A y B
PMB	46	57	11	9 máximo
PPP	49	51,5	2,5	
	Ductilidad			**Valores admisibles PG-3 Articulo 211**
	Virgen 60/70	**Envejecido**		Después de envejecido
PMB	150	129		50 mínimo

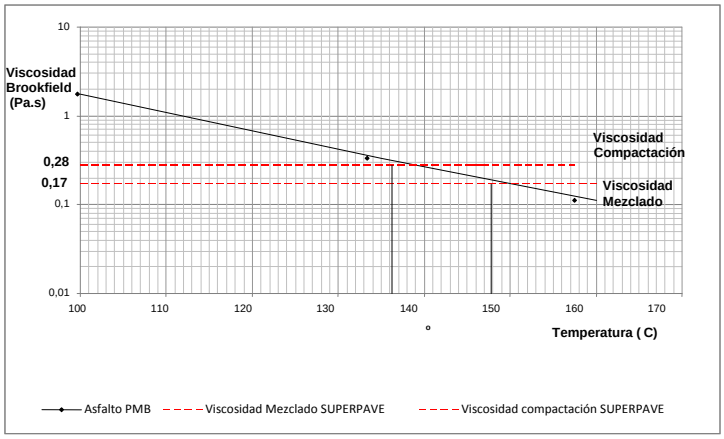


Fig. 3. Carta viscosidad-temperatura para la muestra de asfalto PMB sin adición.

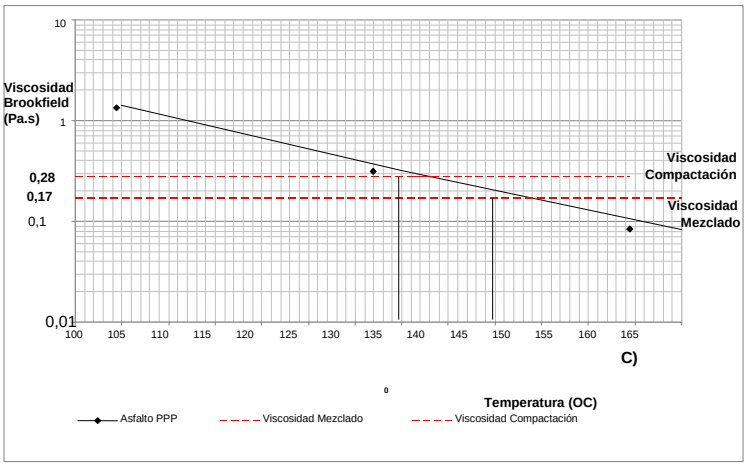


Fig. 4. Carta viscosidad-temperatura para la muestra de asfalto PPP sin adición.

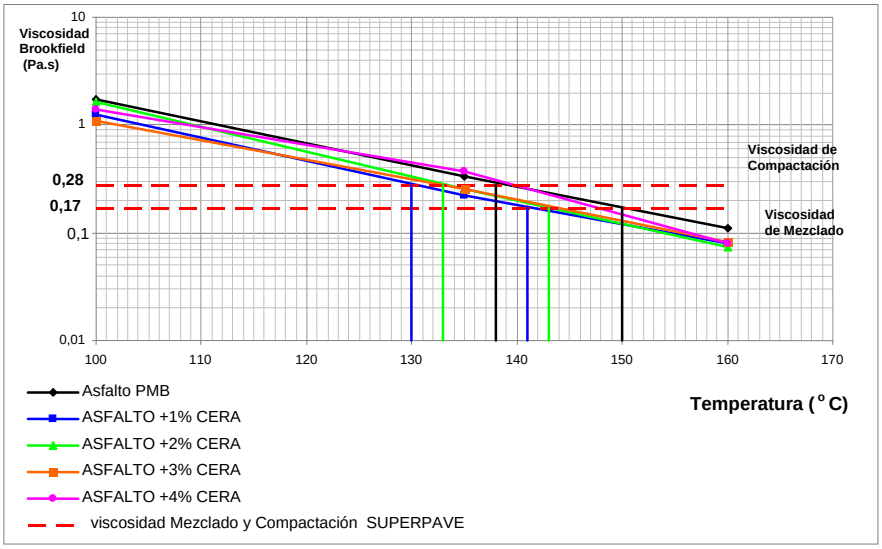


Fig. 5. Carta Viscosidad-Temperatura para el asfalto PMB con diferentes contenidos de cera.

De la modificación del asfalto procedente de la planta móvil Bernardi (PMB) representada en la figura 4, se puede apreciar que los contenidos de 1%, 2% y 3 % de adición de cera reducen la viscosidad respecto al asfalto virgen a las temperaturas de mezclado y compactación (135°C y 160°C), no así la de 4 %. Los contenidos del 2 % y 3 % incrementan ligeramente la viscosidad a la temperatura de compactación (135°C) en relación al 1%, aunque la adición del 2 % disminuye la viscosidad a la temperatura de mezclado (160°C). La adición del 4% incrementa la viscosidad por encima del asfalto virgen PMB a la temperatura de compactación pero disminuye la viscosidad a la temperatura de mezclado.

De los resultados de estos ensayos se puede establecer que el óptimo de adición se encuentra entre 1 % y 2 % de adición. Por otra parte, si determinamos la intercepción marcada por la línea horizontal de las viscosidades recomendadas por el método SUPERPAVE, las temperaturas de mezclado del asfalto virgen disminuyen desde 150°C hasta 141°C y 143°C para los asfaltos modificados con dichos porcentajes de adición, produciendo una reducción entre 9°C y 7°C, respectivamente. Como dato adicional, las viscosidades medidas a 100°C mostraron variaciones aleatorias en relación al por ciento de adición, lo que pudiera deberse

a que a esta temperatura el asfalto comienza a presentar un comportamiento semejante a un liquido muy viscoso.

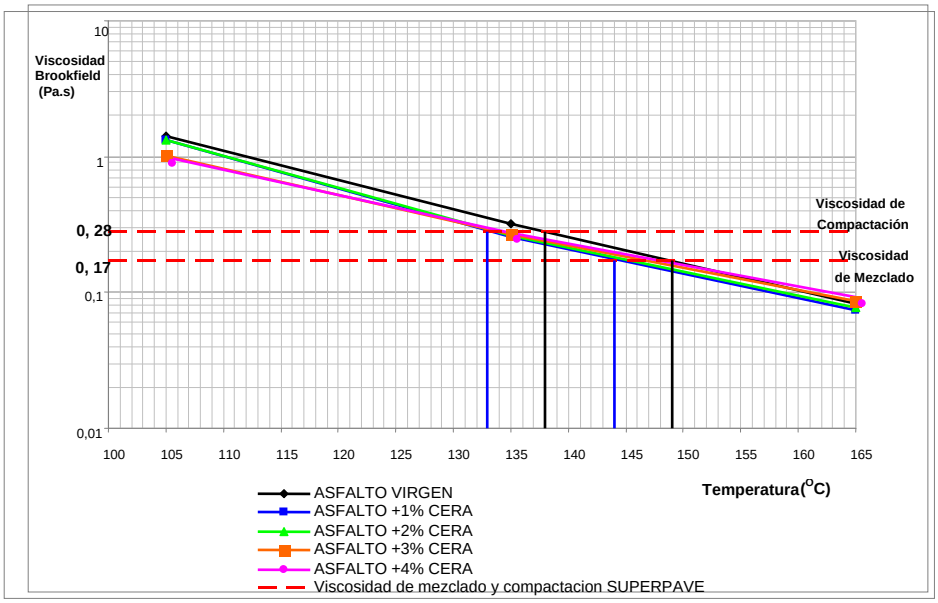


Fig. 6. Carta Viscosidad/Temperatura para el asfalto PPP con diferentes contenidos de cera.

La carta viscosidad temperatura de la segunda muestra de asfalto, tomada de la planta del Poder Popular (PPP) se representa en la figura 7. En este caso se decidió desplazar el rango de temperaturas en 5°C para la medición de la viscosidad. Se aprecia un comportamiento muy semejante entre las adiciones del 1 % y 2 % de cera y de igual manera entre las correspondientes al 3 % y 4 %.

Similarmente a la muestra anteriormente ensayada, las adiciones del 1% y 2 % reducen las viscosidades en relación a la del asfalto virgen en los puntos de temperatura medidos y en las del 3 % y 4 %, a pesar de que para la temperatura de compactación (135°C) la viscosidad sigue siendo menor que la del asfalto virgen, se manifiesta un incremento de la misma en relación con la adición del 2 %, obteniéndose para la temperatura de mezclado (165°C) una viscosidad superior a la del asfalto virgen y por ello las mediciones realizadas en esta segunda muestra corroboran que el óptimo de adición de cera se encuentra entre el 1 % y el 2 %. Las variaciones en las temperaturas, de acuerdo a las viscosidades recomendadas por el método de diseño SUPERPAVE, disminuyeron para la temperatura de mezclado desde 149°C del asfalto virgen hasta 144°C para el 1 % y 2 % de cera adicionado y para la temperatura de compactación desde 138°C para el asfalto virgen hasta 133°C para el asfalto con las adiciones, lo que significa una reducción de 5°C. Para las dos muestras ensayadas, las reducciones en las temperaturas de trabajo de las mezclas oscilan entre unos 5°C hasta unos 9°C.

En una revisión detallada de la literatura consultada se plantea en líneas generales que la adición de ceras para las mezclas semicalientes produce una reducción de temperatura entre 20°C y 30°C pero trabajos de diferentes autores en distintos países muestran resultados similares al aquí obtenido. Se pueden mencionar entre otros, los trabajos desarrollados en España dentro del proyecto FENIX donde la medición de las viscosidades en el asfalto modificado con ceras disminuye muy poco en relación al asfalto patrón 60/70 utilizado para temperaturas superiores a 130 °C, pero no exponen el tipo de cera empleado en el estudio. Con resultados parecidos se encuentran trabajos desarrollados en Portugal con adiciones de 4 % de SASOBIT (Cera Fischer-Tropsch) que logran reducciones de la temperatura entre los 7°C y 9°C, así como también

trabajos experimentales desarrollados en Argentina con Cera Fischer-Tropsch, en que las reducciones de viscosidad respecto al asfalto normal son mínimas, obteniéndose una reducción de temperatura de 5°C. Todos estos trabajos reportan reducciones de temperatura alrededor de 20°C al continuar los estudios de mezclas elaboradas con el ligante modificado con ceras y en pruebas de compactibilidad a diferentes temperaturas de trabajo. Los resultados de la evaluación de las propiedades reológicas de los asfaltos modificados con cera a partir de medición de las propiedades que afectan la consistencia de los asfaltos se representan en la figura 8 para su mejor visualización.

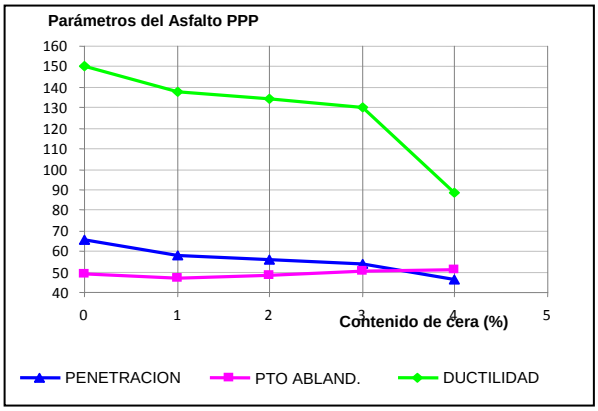
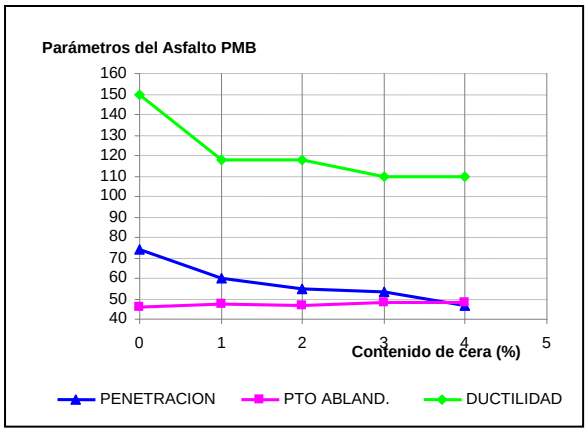


Fig. 7. Propiedades reológicas asfalto PPP modificado.



Figs. 8. Propiedades reológicas asfalto PMB modificado.

Se aprecia que la ductilidad decrece con el contenido de cera, aunque mantiene valores por encima de 100 cm. y no llegan a la rotura, sufriendo una acentuada deformación solamente, excepto para la adición del 4 % en el asfalto procedente de la planta del Poder Popular (PPP) en que a 88 cm. de ductilidad, la muestra rompió. Los valores de penetración disminuyen y los de la temperatura de ablandamiento se incrementan, indicando un endurecimiento del asfalto con el incremento de los contenidos de cera, lo cual resulta favorable en relación al tipo de asfalto empleado, el cual presenta valores altos de penetración, por encima del rango de clasificación, y temperaturas de ablandamiento por debajo de las esperadas para pavimentos en específico. Sin embargo, a pesar de estas variaciones favorables en los parámetros de penetración y temperatura de ablandamiento, los índices de penetración calculados (tabla 7) para los asfaltos modificados con esta cera se mantienen en el orden de -1, por lo que sigue siendo un asfalto de gran susceptibilidad a la temperatura.

Tabla VII. Índice de penetración de los asfaltos con diferentes contenido de ceras.

Contenido de	Índice Penetración (IP)	Índice Penetración (IP)

cera (%)	Muestra PMB	Muestra PPP
0	-1,3	-0,8
1	-1,4	-1,6
2	-1,7	-1,4
3	-1,4	-0,9
4	-1,7	-1,1

Los asfaltos modificados con cera para el 1 y 2 % de adición fueron sometidos al envejecimiento por acción del aire y la temperatura en el horno de película delgada y posteriormente fueron medidas sus consistencias. Los resultados se graficaron de forma comparativa por cada ensayo, antes y después del envejecimiento.

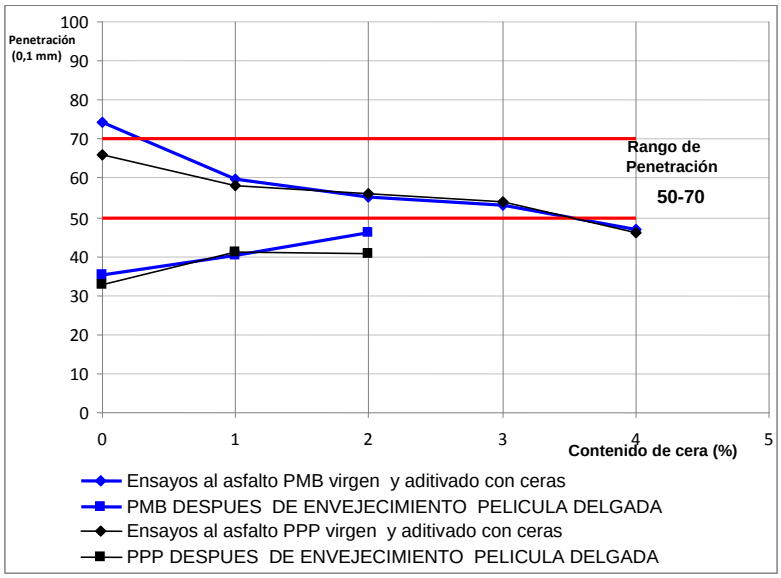


Fig. 9. Resultados de la penetración de los asfaltos aditivados antes y después del envejecimiento.

En relación a la determinación de la penetración por efecto del envejecimiento, el asfalto cambia de rango de penetración desde un 50-70 hasta un 40-50 en las adiciones del 1% y 2 %. El por ciento de la penetración original en los asfaltos aditivados se mantiene por encima del 50 % especificado. El mejor comportamiento de la penetración se obtiene para el 2 % de adición (83,7 %).

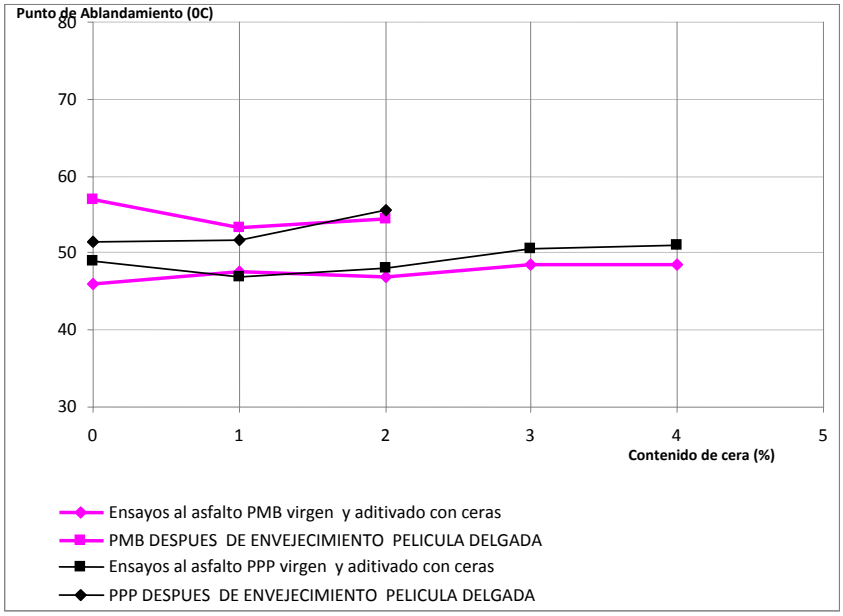


Fig.10. Resultados del Punto de Ablandamiento (Anillo y Bola) de los asfaltos aditivados antes y después del envejecimiento.

El punto de ablandamiento después del envejecimiento se incrementa a temperaturas mayores a 50°C, tomando el mayor valor de 55,5^{o}C para el 2 % de adición.

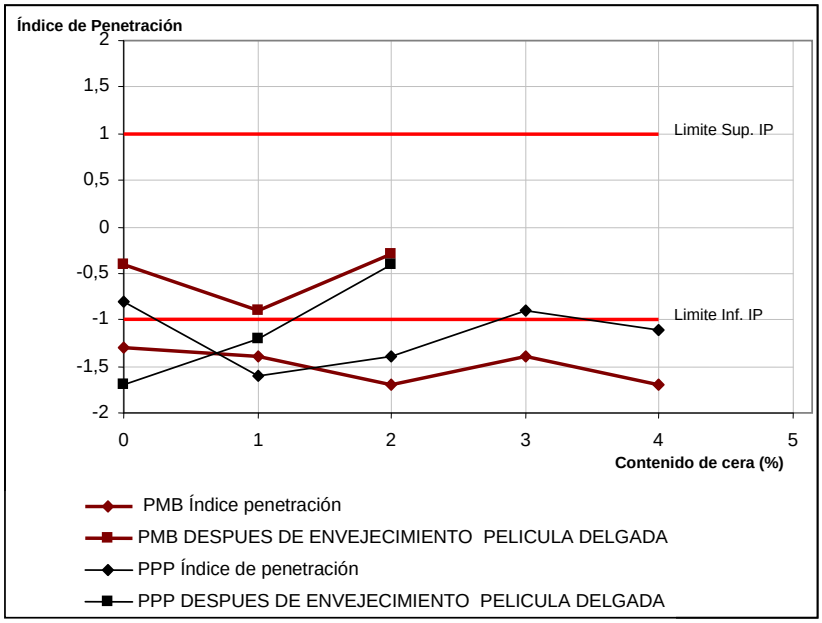


Fig. 11. Resultados del Índice de Penetración de los asfaltos aditivados antes y después del envejecimiento.

De la representación de los valores del Índice de Penetración se puede apreciar que aun en los asfaltos envejecidos, este índice mantiene los valores negativos, aunque mejoran un poco, alcanzando valores

mayores de -0,5 que es el limite mínimo establecido en las especificaciones para el caso de regiones o climas calidos. Los mejores valores de IP después de envejecido se obtienen para el 2 % de adición de cera.

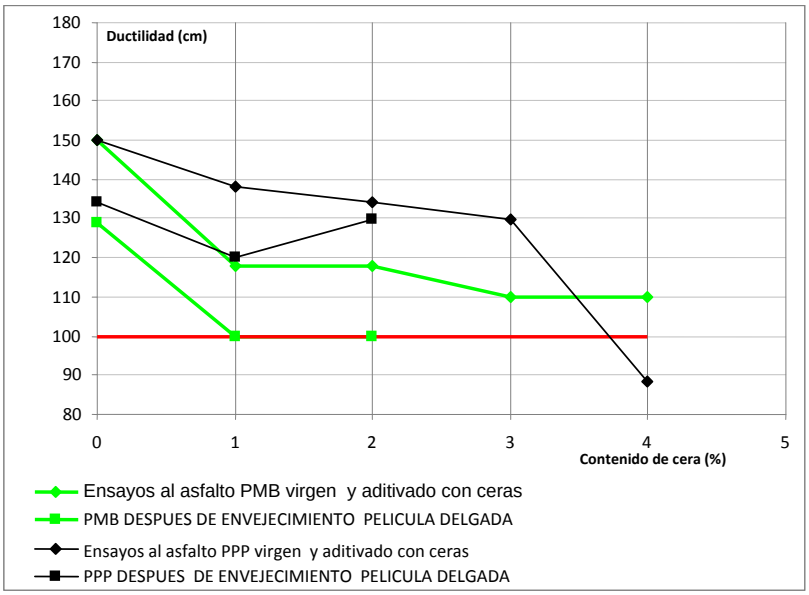


Fig.12. Resultados de la Ductilidad de los asfaltos aditivados antes y después del envejecimiento.

Los valores de Ductilidad de los asfaltos con adición después de envejecidos se mantienen por encima de los 100 cm. según se establece en la especificación, aunque se aprecia una diferencia notable en este índice entre ambas muestras.

3. Conclusiones

1. Con la adición de la cera cruda de caña fue posible disminuir la viscosidad de los ligantes, lo que dio como resultado la disminución de la temperatura de los mismos durante el proceso de mezclado. Se esperan resultados similares en las temperaturas de mezclado y compactación cuando se realice el escalado de estas pruebas, manteniendo las propiedades del asfalto a la temperatura de servicio o las mejore. Estos resultados redundarían en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero como el CO_2, SO_2, CO y NO_x. hacia la atmósfera entre (60-70) % en total, la reducción de la emisión de humos entre (30-50) % y del consumo energético entre (10-35) %.
2. Las reducciones de las temperaturas de trabajo de las mezclas con adiciones entre el 1 % y el 2 %, de acuerdo a las viscosidades recomendadas por el método de diseño SUPERPAVE, se encuentran en el orden de los 5 a 9°C de temperatura, concluyéndose que el contenido óptimo de adición de cera es 2 %. Estos resultados están acorde con lo expresado en la literatura internacional donde se emplean ceras sintéticas, esperándose que las reducciones finales de temperatura alcancen igualmente los 20°C cuando se realicen las pruebas a mayor escala con este contenido de cera adicionada a los asfaltos.
3. Fue posible conformar las curvas Temperatura-Viscosidad de los asfaltos vírgenes y de los modificados con cera empleando el viscosímetro rotacional Brookfield, ensayo mediante el cual se puede obtener la influencia que aporta el aditivo sobre los asfaltos.

4. Referencia Bibliográfica

1. Anderson, R.M and Mc Gennis R. B. (2007). SUPERPAVE Asphalt Mixture Design Illustrated Level 1 Lab Method S. Report No. FH WA-SA-94-004. Manual.
2. ASTM D 8 (2007). Standard Terminology Relating to Materials for Road and Paviments. Vol. 5.01. Manual.
3. ASTM D 87 (2007). Standard test method for melting point of petroleum wax (Cooling curve). Vol. 5.01. Manual.
4. ASTM D 94 (2007). Standard test methods for saponification number of petroleum products. Vol. 5.01. Manual.
5. ASTM D 113 (2007). Standard test method for ductility of bituminous materials. Vol. 4.03. Manual.
6. ASTM D 127 (2007). Standard test method for drop melting point of petroleum wax including petrolatum. Vol. 5.01. Manual.
7. ASTM D 974 (2007). Standard test method for acid and base number by colour-indicator titration. Vol. 5.01. Manual.
8. ASTM D 2493 (2007). Standard Viscosity-Temperature chart for asphalts. Vol 4.03. Manual.
9. ASTM D 4402 (2007). Standard test method for viscosity determinations of unfilled asphalts using the Brookfield Thermosel Apparatus. Vol 4.03. Manual.
10. Cera: control de calidad (parte 1). En**:** http://www.cronicarural.com.ar/index .asp?Ver=2&id= 5901& Orden=Desc.
11. CNIC. (2010). Informe sobre la visita efectuada a las plantas de ceras de las Tunas. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. MINAZ.
12. Colombo, G; M. Balige; A. Bisio y M. Devoto. (2009). Pavimentación con mezclas asfálticas de bajas emisiones. Buenos Aires, Argentina. 10 p.
13. D´ Angelo. J., E. Harm, J. Bartoszek, G. Baumgardner, M. Corrigan, J. Cowsert, et al. (2008). Warm-Mix Asphalt: European Practice. International Technology Scanning Program. Report No. FHWA-PL-08-007. Washington. 72 p.
14. Del Cerro. J. (2007). Mezclas semicalientes, Experiencias realizadas. Ministerio del Fomento, España, Memorias del XIV CILA. La Habana. 18 p.
15. Diefender, S; A. Hearon. (2008). Laboratory evaluation of a warm asphalt technology for use in Virginia. Report No. FHWA/VTRC 09-R11. Virginia. 42 p.
16. Diefenderfer, S; K, Mc Ghee; B. Donaldson. (2007). Installation of warm mix asphalt projects in Virginia, Report No. FHWA/VTRC 07-R25, Virginia. 34 p.
17. FHWA 2008 (2010). Warm Mix Asphalt Technologies and Research. En: http://www.fhwa.dot.gov /pavement/ asphalt/wma.cfm.
18. García, A. (2007). Uso de Cera Cruda en la producción de Cementos Impermeables.
19. García, A. (2010). Información verbal aportada por jefe del programa de cera de caña del ICIDCA. La Habana.
20. Gil, S. (2009). Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas. Memorias del XV CILA. Portugal.
21. Graham, C. H. (2005). Evaluation of Sasobit® for Use in Warm Mix Asphalt NCAT Report 05-06. Auburn University.
22. Gutiérrez, M. Á. (2009). Desarrollo de mezclas asfálticas tibias en México. Memorias del XV CILA. Portugal.
23. http://www.culturaapicola.com.ar/wiki/index.php/Parafina. (2010).
24. INV E-721: 2007. Ensayo al horno de lámina asfáltica delgada. Manual de Especificaciones del Instituto Nacional de Vías.
25. INV E-724: 2007. Índice de penetración de cementos asfálticos Manual de Especificaciones del Instituto Nacional de Vías.

26. Jenkins, K. (2010). Mix Design Considerations for Cold and Half-Warm Bituminous Mixes with Emphasis on Foamed Bitumen. Doctoral Dissertation, Stellenbosch University.
27. Logarraj. S; A. Almeida. (2009). Aditivo surfactante para asfalto usado en mezclas asfálticas tibias con propiedades de adhesión. Chicago. Estados Unidos. Itupeva, Brasil. Memorias XV CILA. Portugal. 37-46.
28. Métodos de muestreo y prueba de materiales (MMP-4-05-005/02). (2002). Viscosidad rotacional Brookfield de cementos asfálticos. México. 3 p.
29. NC 401: 2005. Carreteras - Consistencia de materiales bituminosos - Ensayo de penetración. ONN. La Habana. 11p.
30. NC 402: 2005. Materiales bituminosos y bituminosos modificados - Pinturas y adhesivos - Métodos de ensayo - Determinación de la viscosidad aparente por el método de Brookfield [EN-ISO 2555:1989, MODIF.]. ONN. La Habana. 18 p.
31. NC 515: 2007. Ductilidad de materiales bituminosos - Método de ensayo. ONN. La Habana. 5p.
32. NC 516: 2007. Carreteras - Materiales bituminosos- Determinación del punto de ablandamiento mediante el método de anillo y bola. ONN, La Habana. 9 p.
33. Newcomb, D. (2002). An Introduction to Warm-mix Asphalt.National Asphalt Pavement Association.
34. Prowell, B. (2007). Warm-Mix asphalt. The International Technology scanning program summary report. Federal Highway Administration. US. 21p.
35. Redondo, S y otros. (2010). Estudio de aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas. 10 p.
36. Reyes, O. (2009). El Proyecto FENIX en la UPC. Mezclas semicalientes. Memorias del XV CILA. Portugal.
37. Silva, H. (2009). Avaliação do desempenho de misturas betuminosas temperadas. Memorias del XV CILA. Portugal.
38. Soto; J.A. (2009). Sostenibilidad en pavimentos de carreteras. Mezclas a bajas temperaturas. Memorias del XV CILA. Portugal.
39. Subyaga, A. (2009). Aditivos para mezclas asfálticas templadas (WAM): Influencia en las propiedades reológicas del ligante asfáltico. Memorias del XV CILA. Portugal.
40. Tejas, H G. (2008). Effects of warm asphalt additives on asphalt binder and mixture properties. Clemson University.

ARQUEAS TERMOFÍLICAS, IDENTIFICACIÓN Y UTILIDAD. ESTUDIO DE CASO: VINAZAS DE LA FERMENTACIÓN Y DESTILACIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO SUSTRATO

THERMOPHILIC ARCHAEA, IDENTIFICATION AND USEFULNESS. CASE STUDY: VINASSES FROM SUGARCANE JUICE FERMENTATION AND DISTILLATION AS SUBSTRATE

Marisela BERNAL-GONZÁLEZ [1*], Sandra VERGARA-SALGADO[1], Diana TOSCANO-PÉREZ[1], Carmen DURÁN-DOMÍNGUEZ-de-BAZÚA[1]

[1*] Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. Laboratorios 301, 302, 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, LIQAyQA. Circuito de la Investigación Científica S/N. Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 México D. F., México. Tel: (+52 55) 56 22 53 01, 02. Fax. (+52 55) 56 22 53 03. Correos-e (e-mail): marisela_bernal2000@yahoo.com.mx; cabage_patchsan@hotmail.com; diana_toscano1@hotmail.com; mcduran@unam.mx

Abstract

Energy production from environmentally friendly sources is an important issue, particularly with the climate change provoked by greenhouse gases such as methane and carbon dioxide. When plant biomass is used for energy production, it is important to consider its full use. Cane sugar is produced in Mexico in more than 600,000 ha supplying cane to more than 50 sugar producing plants giving to the more than 150,000 cane producers earnings of about 1 to 2,000 million US dollars per year. Molasses from the sugar production have traditionally been a carbon source for a variety of microorganisms, being the most conspicuous *Saccharomyces cerevisiae* to produce in anaerobic conditions ethyl alcohol, presently an interesting energy source. After fermentation, the distillation process renders a presently low value liquid by-product, vinasses, that still contain considerable amounts of carbon compounds. If these compounds can be transformed by anaerobic methanogenic archaea to methane, an additional energy source may become available. This is not new. However, some kinetic data indicate that the use of thermophilic archaea might be an interesting approach to obtain higher yields of methane. ***Methanobacterium*** were identified and quantified from samples taken from upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB reactors), operating at three different temperatures (45,55,65°C), receiving tap water diluted vinasses (50:50) from the production of ethanol using sugarcane molasses. A higher abundance of ***Methanobacterium*** populations with respect to ***Desulfotomaculum*** ones was found depending upon the temperature. In a previous research, three ***Methanobacterium*** were isolated: ***M. ivanovii***, present in the reactor operating at 45ºC, ***M. formicicum***, that grew at the two lower temperatures studied, 45 and 55°C, and ***M. wolfei***, that was ubicuous at the three temperatures. ***Desulfotomaculum*** species ***D. nigrificans*** was present in the two higher temperatures studied (55 and 65°C), with no development at 45ºC. These results indicate that ***Methanobacterium*** has a better proliferation at temperatures lower than 65ºC, whereas ***Desulfotomaculum*** can grow better at temperatures around 65ºC. In the following phase of the research biogas will be measured to corroborate its methane production efficiency.

Key Words: Microorganisms, *Methanobacteria*, *Desulfotomaculum*, UASB reactors, sugarcane vinasses

Resumen

La producción de energía a partir de fuentes amigables con el ambiente es un tema importante, sobre todo con el cambio climático provocado por los gases de efecto invernadero como el metano y el dióxido de carbono. Cuando la biomasa vegetal se utiliza para la producción de energía, es importante tener en cuenta su uso completo. El azúcar de caña es producida en México en más de 600,000 ha de caña para el suministro de más de 50 plantas productoras de azúcar que dan a los más de 150,000 productores de caña de ingresos de alrededor de 1 a 2,000 millones de dólares de EEUU al año. La melaza de la producción de azúcar han sido tradicionalmente una fuente de carbono para una variedad de microorganismos, siendo el más notable *Saccharomyces cerevisiae* para producir en condiciones anaeróbicas alcohol etílico, actualmente una fuente de energía interesante. Después de la fermentación, el proceso de destilación hace que un líquido de bajo valor por producto, vinazas, que todavía contienen cantidades considerables de compuestos de carbono. Si estos compuestos pueden ser transformados por las arqueas anaerobias metanogénicas en metano, se tendrá una fuente de energía adicional disponible. Esto no es nuevo. Sin embargo, algunos datos cinéticos indican que el uso de arqueas termófilas podría ser un enfoque interesante para obtener mayores rendimientos de metano. Se identificaron y cuantificaron organismos como *Methanobacterium* a partir de muestras tomadas de reactores anaerobios de lecho de lodos de flujo ascendente, RALLFA (reactores *UASB* en inglés), que operan a tres temperaturas diferentes (45,55,65°C), recibiendo vinazas a partir de la producción de etanol utilizando melaza de caña de azúcar diluidas con agua del grifo (50:50) o llave como se llama en México. Se encontró una mayor abundancia de poblaciones *Methanobacterium* con respecto a los *Desulfotomaculum* dependiendo de la temperatura. En una investigación previa, se lograron aislar tres *Methanobacteria* que fueron: *M. ivanovii*, presente en el reactor que opera a 45ºC, *M. formicicum*, que proliferó a las dos temperaturas inferiores estudiadas, 45 y 55°C, y *M. wolfei*, que era en ubicuo a las tres temperaturas. La especie *D. nigrificans* de Desulfotomaculum estaba presente en las dos temperaturas más altas estudiadas (55 y 65°C), sin mostrar desarrollo a 45ºC. Estos resultados indican que *Methanobacterium* tiene una proliferación mejor a temperaturas inferiores a 65ºC, mientras *Desulfotomaculum* pueden crecer mejor a temperaturas alrededor de 65ºC. En la siguiente fase de la investigación el biogás se medirá para corroborar su eficiencia de producción de metano.

Palabras clave: Microorganismos, *Methanobacteria*, *Desulfotomaculum*, reactores tipo UASB o RALLFA, vinazas de caña de azúcar

Introduction

Vinasses from etanol production using sugarcane molasses may be positively treated using upflow anaerobic sludge blanket reactores (*UASB reactors*). In them, disolved organic matter is converted by microbial communities to methane rich biogas. Globally, four main degrading reactions are studied: hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, and methanogenesis. The most important product from this conversion is methane (Bailey and Ollis, 1986; Castro-González and Durán-de-Bazúa, 2002; Hulshoff Pol *et al*., 1998). Normally, the reactors operate in the mesophilic range, 25 to 35ºC, with conversion efficiencies around 60 to 70% (Fang *et al.*, 1996; Rivera *et al.*, 1993). However, they may work in thermophilic conditions, although no many studies have been found at temperatures higher than 65ºC (Bello-Cabrera *et al*., 2008; Duncan *et al*., 2009; Minami *et al*., 1991; Miroshnichenko, 2004; Rincón-Acelas *et al*., 2008; Rintala *et al.*, 1991, Tang *et al*., 2008). Very few studies have been done to identify the microbial groups present at these high temperatures (45 to 65°C). For these reasons, this research dealt with the identification of three species of the ***Methanobacterium*** genus and one of the ***Desulfotomaculum*** genus that were isolated from three lab UASB reactors fed with vinasses from an ethanol producing plant that uses sugarcane molasses

as yeasts substrate diluted to 50% with tap water operating at 45, 55, and 65ºC. Thus, UASB reactors at 55°C may process vinasses to enhance the presence of methanoarchaea that will increase methane production, giving an added value of the process, and reducing the generation of H_2S. Considering molecular biology "*on the basis of homologous sequence analysis of 16S rRNAs, methanogens have been classified into one of the three primary kingdoms of living organisms: the Archaea (Archaebacteria). The Archaea also include major groups of organisms such as thermophiles and halophiles. Although Archaea possess a prokaryotic cell structure and organization, they share common feature with eukaryotes: homologous sequences in rRNA and tRNA, the presence of inn-ones in their genomes, similar RNA polymerase subunit organization, immunological homologies, and translation systems. Recombinant DNA technology is one of the most powerful techniques for characterizing the biochemical and genetic regulation of methanogenesis. This necessitates the selection of genetic markers, an efficient genetic transformation system, and a vector system for genetic recombination as prerequisites.*" (taken from a FAO-UNO document).

Materials and methods

Culture media: Bryant *et al*. (1971) general culture media (Table IA) was prepared. For the genera ***Methanobacterium*** and ***Desulfotomaculum*** Table IB presents the composition of the media used (Balch *et al.*, 1979; Flaherty *et al.*, 1998; Soto *et al.*, 1993). Finally, selective culture media for each species were the one proposed by Balch *et al.* (1979) for ***Methanobacterium formicicum***, the one suggested by Belyaev *et al*. (1983) for ***Methanobacterium ivanov***, the culture medium cited by Winter *et al*. (1985) for ***Methanobacterium wolfeii***, and the employed by Klemps *et al*. (1985) for ***Desulfotomaculum nigrificans*** (Table IC).

Selection of the optimum working dilution: 9 mL general culture media were placed in sterile tubes in anaerobic conditions, and inoculated with 1 mL of UASB reactor bottom sludge from the three temperatures (45, 55, 65ºC). Serial dilutions from 10^{-1} to 10^{-8}, were taken from them, and incubated during 5 days at the corresponding temperatures. They were removed after five days. A sample of the liquid media from each dilution tube was streaked into a glass slide and fixed in Bunsen flame. A Gram tinction was made for each fixed sample, adding a drop of crystal violet (dissolving 0.5 g crystal violet or gentian violet in 100 mL deionized water, forming a homogeneous solution). After 1 to 2 minutes excess dye is washed out with deionized sterile water. A drop of lugol (dissolving 0.3 g iodine and 0.6 g KI in 100 mL deionized sterile water), is added, and after 1 min is washed again. Ethanol at 95% is added, leaving 20 seconds before washing, before adding safranin (0.25 g de safranin in 100 mL deionized sterile water). After 1 minute, dry in the open air in a clean environment. To select the optimum dilution, the nine samples corresponding to each dilution and temperature are observed in an optical microscope Olympus BH-2 (clear field, objective 100x).

General culture medium incubation: From the selected dilutions for each temperature, inocula were taken from the three reactors and added to 200 mL of general culture media, incubating during 5 days at the corresponding UASB reactors temperatures.

Specific culture medium incubation: 60 culture tubes were divided into 30 where 9 mL of specific culture media for the methanogenic archaea MA, and other 30 with 9 mL of specific culture media for sulfato-reducing bacteria SRB (Table IB). They were inoculated with 1 mL of the pre-seeded inoculum in general culture media for the three studied temperatures closing the tubes hermetically. The procedure should be performed in an anaerobic chamber.

Table I. Culture media

Table IA. General culture media, incubation (T_i= 5 d) (Bryant *et al.,* 1971)			**Table IB. Specific culture media for methanogenic and sulfato-reducing activity (T_i=30 d) (Balch *et al.,* 1979; Flaherty *et al*., 1998; Soto *et al.,* 1993)**				**Table IC. Selective media (T_i=15 d) (Balch et al., 1979; Widdel, 1998)**
Solutions to be added to 1L of final volume	**(mL)**	**Contents in g/L added to distilled sterile water**	**General culture media for MB**	**(mL)**	**General culture media for SRB**	**(mL)**	
Mineral solution 1	50 mL	6 g K_2HPO_4	Mineral solution 1	10 mL	Mineral solution 1	50 mL	
Mineral solution 2	50 mL	6 g KH_2PO_4	Mineral solution 2	50 mL	Mineral solution 2	50 mL	
		6 g $(NH_4)_2SO_4$					
		12 g NaCl					
		2.6 g $MgSO_4$ $7H_2O$					
		0.16 g $CaCl_2.2H_2O$					
Mineral solution 3	500 mL	0.67 g KCl	Oligo-elements solution	10 mL	Resarzurine (0.1%)	1 mL	
		5.5 g $MgCl_2$ $2H_2O$					
		6.9 g $MgSO_4$ $7H_2O$					
		0.5 g NH_4Cl					
		0.28 g $CaCl_2$ $2H_2O$					
		0.28 g K_2HPO_4					
NaCl NH_4Cl	18 g 1.25 g		Vitamins solution	10 mL			
Mineral traces	10 mL	1.5 g nitrilotriacetic acid	$FeSO_4$. $7H_2O$ (2% solution)	1 mL	$FeSO_4$. $7H_2O$ (2% solution)	0.5 mLL^{-1}	
		3 g $MgSO_4.7H_2O$					
		0.5g $MnSO_4.2H_2O$					
		0.1 g NaCl					
		0.1 g $FeSO_4.7H_2O$	$NiCl_2$ solution (5 mg 100 mL^{-1})	50 mL			
		0.1 g $CoSO_4$ o $CoCl_2$					
		0.1 g $CaCl_2$ $2H_2O$					
		0.1 g $ZnSO_4$					
		0.001 g $CuSO_4.5H_2O$	Resarzurine (0.1%)	1 mL			
		0.01 g $AlK(SO_4)_2$					
		0.01 g H_3BO_3					
		0.01 g $Na_2MoO_4.2H_2O$					
Oligo-elements solution	10 mL	0.002 g Biotin	Yeast extract	1 g L^{-1}	Cysteine	0.5 g L^{-1}	
		0.002 g folic acid					
		0.010 g pyridoxine					
		0.005 g tiamine					
		0.005 g riboflavin					
		0.005 g nicotinic acid					
		0.005 g calcium pantotenate					
		0.00001 g B12 vitamin					
		0.005g para-aminobenzoic acid					
		0.005 g lipoic acid					
$FeSO_4.7H_2O$	0.002 g		Sodium bicarbonate	3 g L^{-1}	Bromo-ethanol sulfuric acid	75 mM	
$Fe(NH_4)_2(SO_4)_27H_2$	0.02 g						
$NaHCO_3$	7.5 g						
Sodium acetate	2.5 g		Caseine-Peptone	1g L^{-1}	Neutralized lactic acid solution	8.5 mL L^{-1}	
Sodium formate	2.5 g						
Yeast extract	2.0 g						
Tripticase	2.0 g						
Cysteine	0.6 g						
$Na_2S.9H_2O$	0.6 g						

They are left to incubate during 30 days at the corresponding temperatures. Daily, a tube of each temperature and specific culture media is removed, a sample is taken, fixed in a glass slide and a Gram tinction is applied to observe it in the Olympus BH-2 a 100x microscope.

Selective culture medium incubation: 0.1 mL of the last culture tube using specific culture media for methanogenic and sulfato-reducing bacteria at each temperature (45, 55, 65ºC), are restreaked by triplicate in Petri dishes containing the selective culture media for each species (Table IC), maintaining the incubation during 15 days. Daily, a Petri dish for each temperature and medium is removed, observing the development of the colonies directly in the stereoscope BH2-RFC, quantifying them during the experiment. At the end of the experiment (day 15), two colonies from each Petri dish per species and temperature are selected. A colony is isolated and fixed using a 3% glutaraldehyde solution, to observe its morphology in a scanning electronic microscope JEOL Mod. JSM-5800 Microanalysis System OXFORD Mod. ISIS 486el (SEM procedure). The other colony is isolated in a saline phosphates buffered solution to verify if they have external structures (cilia and/or flagella) in an OLYMPUS FLUOVIEW ver. 17c viewer.

Inocula from UASB reactors: Laboratory reactors description is presented elsewhere (Rincón-Acelas, 2008). From the bottom of the three reactors, operating at 45, 55, 65°C, a sample of sludge was obtained avoiding contact of the microbial communities with ambient air.

Quantification using the Most Probable Number Technique (MPN): MB and SRB were quantified using the Most Probable Number Technique (MPN) described by Girard and Rougieux (1964). A specific culture media for methanogenic and sulfato-reducing bacteria was prepared as indicated in Table IB. 1 mL of the general culture media seeding was inoculated in the general culture media for each temperature studied (45, 55 y 65ºC) and reseeded in the specific culture media, with 15 dilutions: 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-7}, 10^{-8}, 10^{-9}, 10^{-10}, 10^{-11}, 10^{-12}, 10^{-13}, $10^{-14,}$ 10^{-15},10^{-15}, by triplicate. The whole procedure was carried out in an anaerobic chamber. A Durham bell was placed to each tube. They were hermetically closed and incubated during 30 days at the three temperaturas. After the day 30, the positive tubes were counted for each dilution and temperature obtaining an MPN index, that was multiplied by the sample volume and divided by the corresponding dilution of the first positive tube, obtaining the cells number per mL of sample.

Plate direct counting: Species *Methanobacterium formicicum, Methanobacterium wolfeii, Methanobacterium ivanov, Desulfotomaculum nigrificans* quantification was performed utilizing the technique of plate direct counting, described by Arias *et al*. (2005). Selective culture media were prepared and mixed using general agar BD BIOXON in proportions 50:50. The mixture was set in sterile Petri dishes (60 x 15 mm). 1 mL sludge from each reactor was inoculates in the specific culture media to obtain an optimum dilution (previously selected). 0.1 mL of this dilution were reseeded by triplicate in the Petri dishes with the selected culture media, and incubated during 15 days at the working temperatures. Daily, a Petri dish for each temperature and media was removed and observed in the stereoscope BH2-RFC, to count the developed colonies in each dish.

Growth kinetics for each selective culture media: An equation for the growth kinetics was obtained from the colonies plate counting, daily quantifying the number of colonies. These data were used to obtain the organisms number with respect to time (Brock and Madigan, 1993; Peral, 1993). To calculate the generation time of a species (***G***) the inicial (***x)*** and final (***y)*** population after a time (***t)***, must be known, reaching (***y***) from (***x)*** divided by the number of generations ***n:***

$$G = t/n \qquad (1)$$

Results and discussion

General culture media results at the three temperatures

The general culture media proposed by Bryant (1974) was adequate to grow MB and SRB, at the three selected temperatures, 45, 55, and 65ºC, during 5 days. On the other side, the optimum dilution selected was 10^2, permitting to clearly appreciate the well defined morphological structures, and the existence of an adequate development of the microorganisms, with separated, isolated colonies without any agglomeration.

Specific culture media for the methanogenic and sulfato-reducing activity

The Balch *et al.* (1979) general culture media favored the development and proliferation of MB, according to the authors characteristics description, such as typical morphology of elongated bacilli Gram positive and rod bacilli, whereas the temperature does have an influence in the population reflecting a higher development at 45ºC, with Gram positive cocci accumulations.

At 55 and 65ºC, the population is scarce. On the other side, the specific culture media for SRB present bacilli that have their internal structure dyed as Gram positive, whereas the reddish cocci are present in higher quantities as Gram negative. The morphology of the SRB follows the Flaherty *et al.* (1998) reports. This indicates that the specific culture media for its development and proliferation was the adequate one for SRB at the three studied temperatures.

Selective culture media

Methanobacterium formicicum

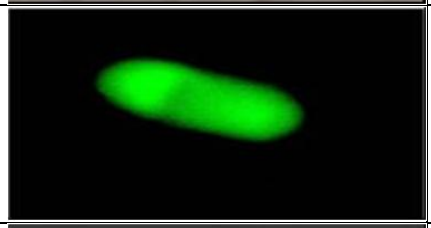
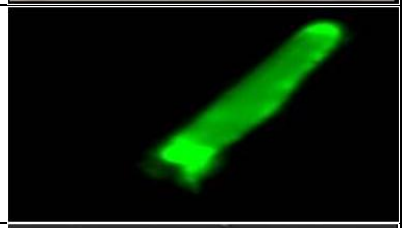
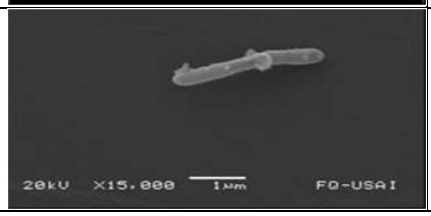
According to Belyaev *et al*. (1983), Boone *et al*. (1986, 1989), Bryant and Wolin 1975, and Bryant *et al*. (1967, 1971), the optimum temperature for proliferation of this species is found between 35 and 45ºC. The morphology they present is of long rod bacilli of 0.4 to 0.8 µm wide and 2 to 15 µm long. They do not possess external structures, indicating that no movement is performed. The observations found in this study indicate that, at 45 and 55ºC, there are rod bacilli without aggregation, dyed as Gram positive. This means that their cell wall possesses a thick layer of peptidoglucan murein defining the species.

Thus, only the first dye can cause a tinction, and the layer is not decolorated by the other solutions utilized in this procedure. A fluorescein dye and the use of SEM allowed the observation of the micro-morphological characteristics: shape, size, grouping, presence or absence of surface structures, but not the internal structure, corroborating that no motility exists. The species at 45ºC has an approximate size of 3 µm long and 0.3 µm wide (Table II).

Due to the morphological characteristics obtained in this study, and compared with the cited authors, it was corroborated that the species in study is *Methanobacterium formicicum.* It was also corroborated that these archaea tolerate temperatures up to 55ºC, with a higher growth than at 45ºC. Their approximate size is 7 µm long.

These results do not agree with those reported by Belyaev *et al.* (1983), Boone (1986, 1989), Bryant and Wolin (1975), and Bryant *et al. (*1967, 1971), who indicate that *Methanobacterium formicicum* does no proliferate at 55ºC. It is an interesting finding and will be further studied.

Table II. Species of ***Methanobacterium formicicum*** at 45 and 55ºC

Microscopic observations	***Methanobacterium formicicum* 45ºC**	***Methanobacterium formicicum* 55ºC**
Optical microscopy with clear field Gram tinction 100x		
Confocal microscope Fluorescein dye 600x		
SEM 15,000x		

Methanobacterium ivanov

The species *Methanobacterium ivanov* is described in literature in a very detailed by authors Jain *et al*. (1987), Kneifel *et al*. (1986), and König (1984), who mentioned that its optimum temperature is 45ºC. Morphology is short rod bacilli, Gram positive, measuring approximately 0.2 µm to 0.5 µm wide and 1 to 15 µm long, without motility. For this research the organisms were also rod bacilli, Gram positive, without external structures, meaning no motility, and measuring 4 µm long and 0.2 µm wide (Table III). They were only present at 45ºC, whereas at 55 and 65ºC no presence was detected. Thus, this organism is present in the UASB reactors at temperature of 45°C.

Table III. ***Methanobacterium ivanov*** species at 45ºC

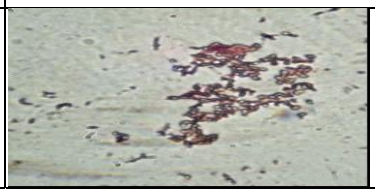
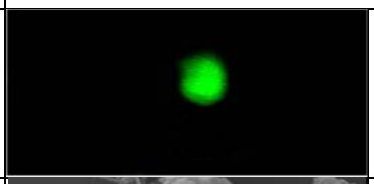
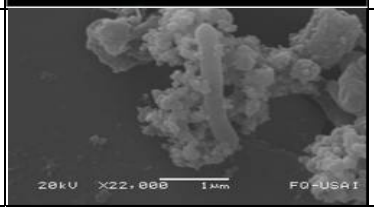
Microscopic observations	***Methanobacterium ivanov***	**Characteristics**
Optical microscopy with clear field Gram dye 100x		Short rod-type bacilli, Gram positive, grouped in great quantities

Table III. ***Methanobacterium ivanov*** species at 45ºC (Cont.)

Microscopic observations	***Methanobacterium ivanov***	**Characteristics**
Confocal microscope Fluorescein dye 600x		Short rod-type bacilli, no internal structure
SEM 15,000x		Short rod-type bacilli, curved, with rounded edges, grouped clustered themselves, size 4 µm long, 0.2µm wide

Methanobacterium wolfeii

Species *Methanobacterium wolfeii* is thoroughly described by Winter and Zellner (1987), Winter *et al*. (1985), and Zellner *et al*. (1989): long rod bacilli, Gram positive, with a length of 2.4 to 2.7 µm and a width of 0.4 to 1 µm, without external structures, and thus, no motility. Its optimum temperature is 55 and 65ºC. In this study besides these temperatures it was also found at 45ºC, with morphological characteristics of short and long rod bacilli, with some with curving or rounded ends, dyed as Gram positive, with no external structures, and measuring approximately 0.9 µm long and 0.3 µm wide. At 55ºC, the species had a better growth, and its morphology was of long rod bacilli, 1.5 µm long and 0.5 µm wide. For 65ºC, the species formed straight short bacilli, 7 µm long and 0.3 µm wide. Table IV shows its detailed morphology. It was the only species proliferating at the three studied temperatures. According to its morphology it can be confirmed that it is *Methanobacterium wolfeii*.

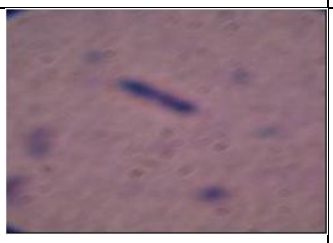
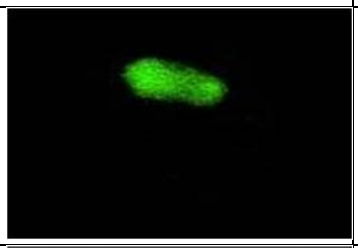
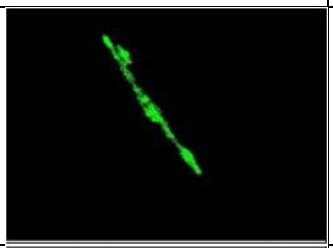
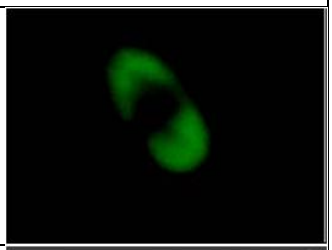
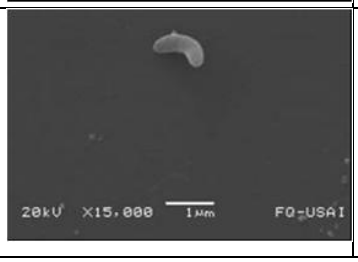
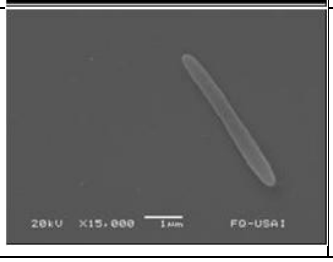
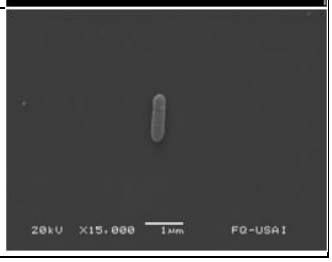
Desulfotomaculum nigrificans

The sulfato-reducing species *Desulfotomaculum nigrificans* is characterized by the morphology described by Flaherty *et al.* (1998), as irregular cocci Gram negative, with motility, aproxímate dimensions of 0.3 to 0.5 μm wide and 3 to 6 μm long. Optimum temperature is 65ºC. Comparing these characteristics with the ones found in this study, some organisms showed, at 55ºC, cocci, Gram negative, with a thin layer of peptidoglucan murein, easily dyed and and easy to decolorate, that took the safranin final color, confirming to be Gram negative, with a size slightly smaller that the reported characteristics, 1 µm long and 0.4 µm wide, with motility due to external structures, peritrichous flagella. Such structure is observed in a limited manner, since it was not adequately dyed. Table V shows the results. At a temperature of 65ºC the same characteristics as for 55ºC were found, but the organisms are slightly bigger, 3 µm long and 0.4 µm wide. It may be said that these organisms grow better at temperatures higher than 55°C, that is at 65ºC, as reported by Flaherty *et al.* (1998).

As mentioned before, quantification of MB and SRB was done with the Girard and Rougieux (1964) technique, using MPN with specific culture media at the three temperatures studied, during 30 days. Data found for MB were 150000 MPN/mL at 45ºC, whereas SRB, were only 200 MPN/mL. At 55ºC, MB were 15000000 MPN/mL, compared with 12000 SRB MPN/mL. At 65ºC, 4600 MB MPN/mL and 11000 SRB MPN/mL were found. These results indicate that, at 65ºC, MB descended considerably whereas SRB maintain their growth as at 55ºC. These findings are interesting from the biotechnological point of view, since vinasses come out of the distillation

towers at temperatures higher than 65°C, but if diluted its temperature may be reduced down to 55°C so that MB are the preferred organisms growing in order to produce methane and to inhibit the production of H_2S, corroborating the results previously obtained (Castro-González *et al*., 2005).

Table IV. ***Methanobacterium wolfeii a*** species at 45, 55, and 65ºC

Microscopic observations	***Methanobacterium wolfeii 45ºC***	***Methanobacterium wolfeii 55ºC***	***Methanobacterium wolfeii 65ºC***
Optical microscopy with clear field Gram dye 100x			
Confocal microscope Fluorescein dye 600x			
SEM 15,000x			

MA and SRB quantification using the MPN technique

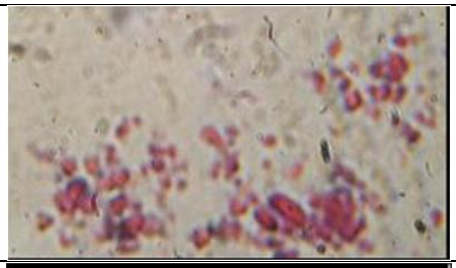
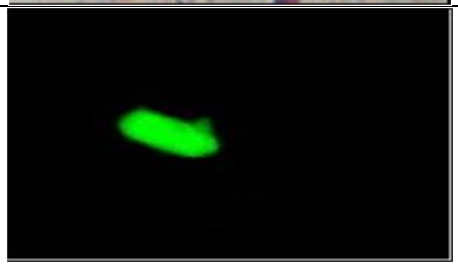
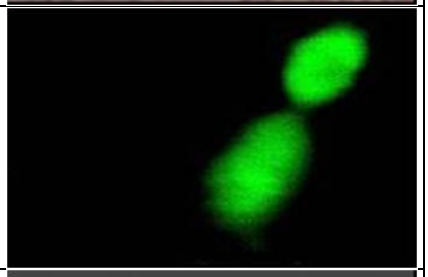
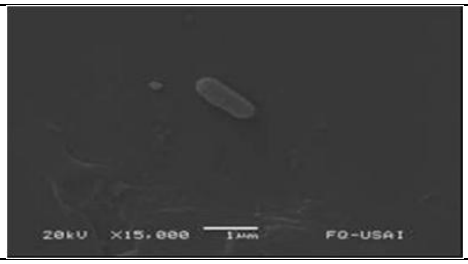
<u>Growth kinetics</u>

Results obtained for growth kinetics of each of th especies studied are presented in Figures 1 to 4. Comparing these results it can be seen that *Methanobacterium formicicum* that its maximum value was **21100** organisms/mL at 55°C (Fig. 1), whereas *Methanobacterium ivanov* only appears at 45°C with **37800** organisms /mL (Fig. 2), and *Methanobacterium wolfeii* can grow at the three temperatures presenting the highest growth at 55°C with **20800** organisms /mL (Fig. 3).

The SRB species *Desulfotomaculum nigrificans*, proliferates at 55°C with **11300** organisms/mL, and a higher abundance, **15900** organisms/mL, at 65°C (Fig. 4).

Definitely, with these results, to promote methane production from vinasses, the maximum operating temperature in the UASB reactors should be 55°C.

Table V. ***Desulfotomaculum nigrificans*** species at 55 and 65ºC

Microscopic observations	***Desulfotomaculum nigrificans*, 55ºC**	***Desulfotomaculum nigrificans*, 65ºC**
Optical microscopy with clear field Gram dye 100x		
Confocal microscope Fluorescein dye 600x		
SEM 15,000x		

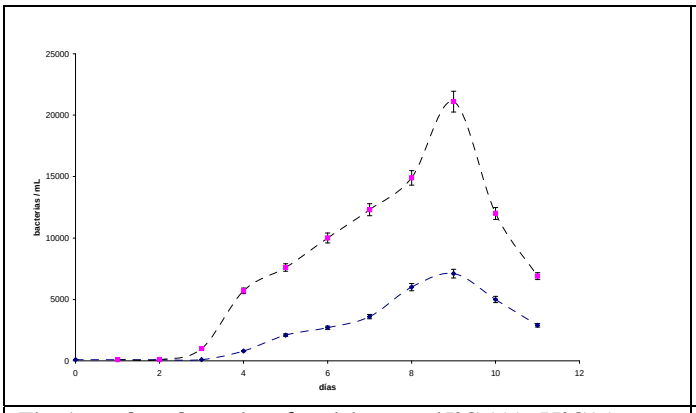


Fig. 1. *Methanobacterium formicicum* at 45ºC (▲), 55ºC(■)

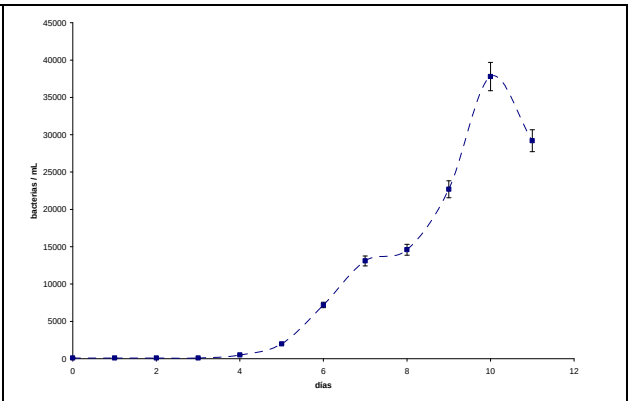


Fig. 2. *Methanobacterium ivanov* a 45ºC (■)

Final discussion

Table VI presents the overall data obtained that the isolations from the inocula obtained from the three UASB reactors operating at 45, 55, and 65°C. According to them, and the comparison of the information previously fund in these reactor operating at 45 and 55°C, ethanol producers may use as substrate for archaea the carbonaceous compounds found in vinasses, enhancing the methane producing organisms that grow at 55°C.

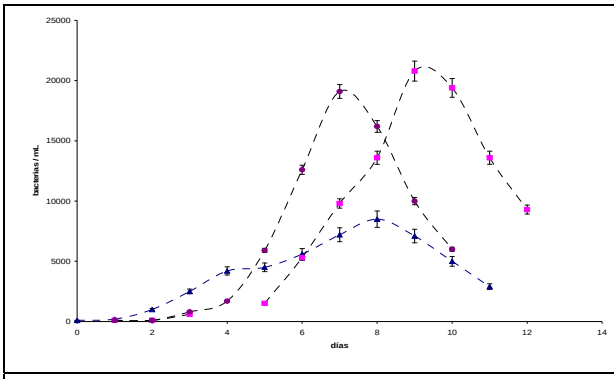


Fig. 3. ***Methanobacterium wolfeii*****, at 45ºC (▲), 55ºC(■), 65ºC (●)**

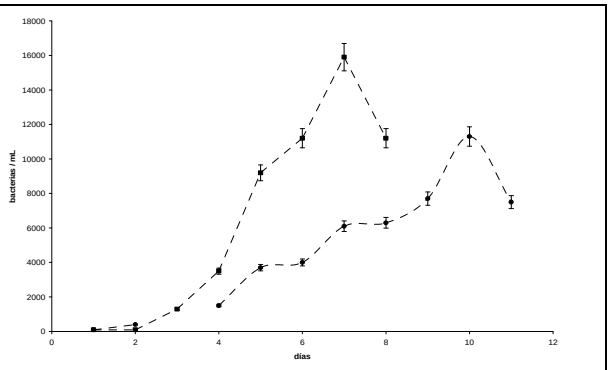


Fig.4. ***Desulfotomaculum nigrificans*** **at 55ºC(●), 65ºC (■)**

Table VI. Comparison of the data obtained in this study* with methane production reported in the literature** (Castro-González, 2004)

Data	Inoculum from UASB reactor at 45°C	Inoculum from UASB reactor at 55°C	Inoculum from UASB reactor at 65°C
Methanobacterium formicicum	√ **7100***	√ **21100***	X
Methanobacterium ivanov	√ **37800***	X	X
Methanobacterium wolfeii	√ **8500***	√ **20800***	√ **19100***
Desulfotomaculum nigrificans	X	√ **11300***	√ **15900***
Most probable number/mL	150000 MB 200 SRB	15000000 MB 12000 SRB	4600 MB 11000 SRB
Methane production, milimole/d	45	50	46
***Methane production, milimole/d*	120	165	Not done
***H_2S production, milimole/d*	10	10.7	Not done

*Kinetics, higher value, organisms/mL

Characteristics the genus *Methanobacterium formicicum* (Belyaev *et al.,* 1983; Boone *et al.,* 1986; Bryant, 1978; Bryant *et al.,* 1971; Bryant *et al.,* 1967); *Methanobacterium ivanov* (Jain *et al.,* 1987; Kneifel *et al.,* 1986; Konig, 1984; Patel *et al.,* 1990; Worakit *et al.,* 1986); *Methanobacterium wolfeii* (Winter y Zellner; 1987; Zellner *et al.,* 1989) y la *Desulfotomaculum nigrificans* (Campos, *2001*), are presented in Table VII by which it can be said that are species that share many features phenotypic therefore need to be employed in future molecular biology tools such as 16S rRNA sequencing, which is the macromolecule widely used in studies of organisms phylogeny and taxonomy. 16S rRNA labeled in vivo and purified, treated with the enzyme ribonucleasa T1, the fragments generated are separated, then determining the sequence of all those that include at least six nucleotides (nt). Next, the sequences of the collection of fragments corresponding to various organisms are aligned and compared, using software, to finally calculate the association coefficients.

Therefore, 16S rDNA sequencing is emerging as a fast and accurate identification of organisms as previously recognized as is the case with this research, as well as new species whose identification by phenotypic methods is impossible, difficult or time consuming.

Conclusions

- For the identification of three species of the ***Methanobacterium*** genus and one of the ***Desulfotomaculum*** genus that were isolated from three lab UASB reactors fed with vinasses from an ethanol producing plant that uses sugarcane molasses as yeasts substrate diluted to 50% with tap water operating at 45, 55, and 65ºC, it was found that general culture media (Bryant, 1978), is optimum to obtain a good growth of MB and SRB, using as inoculum 1 mL sludge from each UASB reactor.

- The best dilution to observe the morphology of the isolated colonies was 10^{-2}.

Table VII. MA and SRB characteristics
(Garcia *et al.*, 1995; Campos, 2001)

	Methanobacterium			***Desulfotomaculum***
Properties	***formicicum***	***ivanov***	***wolfeii***	***nigrificans***
Morphology	Bacillus (rod)	Bacillus (rod)	Bacillus (rod)	Cocos and irregular bacilli
Cell width	0.4-0.8	0.5-0.8	0.4	0.3-0.5
Cell length	2-15	1.2	2.4-2.7	3-6
Filaments	+	2-15	+	-
Gram	+	+	+	-
pH, optimal	6.6-7.8	7.0-7.4	7.0-7.5	7.3-7.6
TºC, optimal	35-45	45	55-65	55-80
substratum	H_2	H_2	H_2	Low molecular mass
autotrophic	+	+	+	+
Type strain	DSM1535	DMS2611	DSM2970	ATCC7946

- The media proponed by Balch *et al.* (1979) and Flaherty *et al.* (1998), for MB and SRB, respectively were adequate, particularly using incubation periods of 30 days.

- The isolation of the species that were identified as *Methanobacterium formicicum*, *Methanobacterium ivanov*, *Methanobacterium wolfeii*, *Desulfotomaculum nigrificans* was possible thanks to the selective culture media employed.

- The important aspect is to find out which of these organisms are good methane producers to enhance the energy conversion

Acknowledgements

Authors acknowledge the support of the teaching project “PAPIITIN-118111” for the acquisition of some of the reagents used in this research. They also acknowledge the support from colleagues from the UNAM Institute of Ecology for their support to identify the organisms using 16S rRNA sequencing methods.

References

Arias M.E., González-Pérez J.A., González-Vila F.J., Ball, A.S. 2005. Soil Health - A new challenge for microbiologists and chemists. International Microbiology. 8:13-21.

Bailey J.E., Ollis D.F. 1986. Biochemical Engineering Fundamentals. 2nd ed. McGraw-Hill Intl. Eds. Mexico. Pp. 831-838, 847, 849.

Balch W., Fox L., Magrum C., Wose R., Wolfe R. 1979. Methanogens reevaluation of a unique biological group. Microbiol. Rev. 43:260-296.

Bello-Cabrera A., Cruz-Juárez J.A., Álvarez-Ignacio J.C., Rincón-Acelas I.R., Durán-de-Bazúa C. 2008. Estabilización de tres reactores anaerobios termofílicos que transforman residuos carbonosos en metano / *Stabilization of three anaerobic thermophilic reactors that convert organic pollutants into methane*. Presentado en Fifth International Minisymposium on Removal of Contaminants from Wastewaters, Atmosphere, and Soils. Noviembre 5-8. México D.F. México.

Belyaev S., Wolkin R., Kenealy M., Deniro J., Epstein S., Ziekus G. 1983. Methanogenic bacteria from the Bondyuzhskoe oil field: General characterization and analysis of stable-carbon isotopic fractionation. Appl. Environ. Microbiol. 45:691-697.

Boone D., Whitman W., Rouviere P. 1989. Diversity and taxonomy of methanogens. En methanogenens: Ecology, Biochemistry and Genetics. Ed. Ferry J, Chapman and Hall. New York. Pp. 35-81.

Boone D., Worakit S., Mathrani I., Mah R. 1986. Alkaliphilic methanogens from high-pH lake sediments. Syst. Appl. Microbiol. 7:230-234.

Brock M., Madigan 1993 .Microbiology. Prentice Hall. Baltimore. Pp. 40-72.

Bryant, M. 1978. Methane-producing bacteria. *In* R. E. Buchanan and N. E. Gibbons (Ed.)Bergey's Manual of Determinative Bacteriology,Eighth Ed. Williams and Wilkins Co., Baltimore. Pp. 472

Bryant M., Tzeng S., Robinson I., Joyner A. 1971. Nutrient requirements of methanogenic bacteria. En Advances in Chemistry Series, 105:23-40. American Chemical Society. Washington, D.C.

Bryant M.P., Wolin E.A., Wolin M.J., Wolfe R.S. 1967. *Methanobacillus omelianskii*, a symbiotic association of two species of bacteria. Arch Microbiol. **59**:20-31.

Bryant**,** M**.** P. 1974. Methane**-**producing bacteria**.** In R. E. Buchanan and N. E. Gibbons **(**ed**.).** Bergey's manual of determinative bacteriology**,** 8th ed**.** The Williams & Wilkins Co. Baltimore. Pp. 472-477.

Bryant, M.P., Wolin M.J. 1975. Rumen bacteria and their metabolic interactions. *In* T. Hasegawa (Ed.). Proceedings of the First Intersectional Congress of the International Association of the Microbiol. Soc. Developmental Microbiology, Ecology. Science Council of Japan, Tokyo. Vol. 2, P. 297-306.

Campos P. 2001. Optimización de la “digestión anaerobia” de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. Tesis Doctoral. Facultad de Agronomía, Universidad de Lleida, España.

Castro-González A. 2004. Efecto de la temperatura en la actividad metanogénica y sulfatorreductora de consorcios microbianos en condiciones anaerobias (Effect of the

temperature in the methanogenic and sulfatoreducing activity of microbial consortia in anaerobic conditions). Doctoral thesis. UNAM. Mexico D.F. Mexico.

Castro-González A., Bernal-González M., Durán-de-Bazúa C. 2005. Methanogenic and sulfatoreducing activity of microbial anaerobic communities adapted to different temperatures (35, 45, 55°C). Presented in 5th International Symposium on Industrial Microbiology and Biotechnology. In Honor of Professor Arnold Demain. Shanghai Institute of Pharmaceutical Industry, Committee on Molecular Microbiology & Biotechnology, Chinese Society for Microbiology, Shanghai Society for Microbiology, School of Pharmacy, Shanghai Jiaotong University, East China University of Science & Technology, Fujian Institute of Microbiology. June 27-29. Shanghai, China.

Castro-González A., Durán-de-Bazúa C. 2002. Procesos de separación: Aplicaciones para la cuantificación de biogases producidos en reactores anaerobios. Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ, Mexico). 17(2):84-94.

Duncan K.E., Gieg L.M., Parisi V.A., Tanner R.S., Green Tringe S., Bristow J., Suflita J.M. 2009. Biocorrosive thermophilic microbial communities in Alaskan North Slope oil facilities. Environ. Sci. Technol. 43(20):7977–7984.

Fang H., Chen T., Chui H. 1996. Degradation of phenol in wastewater in an upflow anaerobic sludge blanket reactor. Water Res. 30(6):1353-1360.

Flaherty V., Lens P., Leahy B., Colleran E. 1998. Long term competition between sulphate-reducing and methane-producing bacteria during anaerobic digestion of sulphate-containig wastewater from the industrial production of citric acid. Wat. Res. 32:815-825.

García R. J.A., García S. J.E., Muñoz B. J. L. 1995. *Antimicrobial resistance in anaerobic bacteria: Current situation.* Anaerobe. 1: 69-80.

Girard H., Rougieux R. 1964. Técnicas de microbiología agrícola, Acribia, Zaragoza, Spain. Pp. 267-308.

Hulshoff Pol L., Lens P., Stams A., Lettinga G. 1998. Anaerobic treatment of sulphate-rich waste waters. Biodegradation. 9(3-4):213-224.

Jain M., Conway M., Thiele J., Zeikus J. 1987. Microbial composition and characterization of prevalent methanogens and acetogens isolated from syntrophic methanogenic granules. Appl. Microbiol. Biotechnol. 38:210-232.

Klemps R., Cypionka H., Widdel F., Pfennig N. 1985. Growth with hydrogen and further physiological characteristics of Desulfotomaculum species. Arch. Microbiol., 143:203-208.

Kneifel H., Stetter K., Andreesen J., Wiegel J., Konig H., Schoberth S. 1986. Distribution of polyamines in representative species of archaebacteria. System. Appl. Microbiol. 7:241-245.

König H. 1984. Isolation and characterizacion of *Methanobacterium uliginosum* sp. Nov. from a marshy soil. Can. J. Microbiol. 30:1477-1481.

Minami K., Oamura K., Ogawa S. y Naritomi T. 1991. Continuous anaerobic treatment of wastewater from a kraft pulp mill. J. Ferment. Bioeng., 71:270-274.

Miroshnichenko M.L. 2004. Thermophilic microbial communities of deep-sea hydrothermal vents. Microbiology. 73(1):1-13.

Peral T. 1993. Introducción a la microbiología., Ed. Acribia. Mexico D. F. Mexico. Pp. 21-39.

Patel G., Nash B., Agnew A., Sprott G. 1990. Natural and electroporation-mediated tranformation of *Methanococcus voltae.* Appl. Environ. Microbiol. 60:903-907.

Rincón-Acelas I.R. 2008. Cinética de la degradación anaerobia termofílica de vinazas de caña (Kinetics of the thermophilic anaerobic degradation of sugarcane vinasses). Master's thesis. UNAM. Mexico D.F. Mexico.

Rincón-Acelas I.R., Noyola-Robles A., Mijaylova-Nacheva P., Sánchez-Tovar S.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa M.C. 2008. Estabilización de vinazas de caña usando reactores anaerobios y cálculo de la energía de activación del sistema / *Sugarcane vinasses stabilization using anaerobic reactors and determination of activation energy of system.* In

XXXI Congreso Interamericano de Ingeniera Sanitaria y Ambiental AIDIS. Santiago de Chile, Chile. October 12-15.

Rintala J., Sanz-Martin J., Lettinga G. 1991. Thermophilic anaerobic treatment of sulfate-rich pulp and paper integrated process water. Wat. Sci. Technol. 24:149-160.

Rivera F., Rodríguez S., Warren A., Bonilla P., Ramírez E., Calderón A., Ortiz R. 1993. An investigation of the pathogenic and non-pathogenic free-living amoebae from the root zone method of wastewater treatment. Water, Air & Soil Pollution. 69:93-98.

Soto M., Mendez R and Lerma J. 1993. Methanogenic and non-methanogenic activity tests. Theorectical basic and experimental set up. Wat. Res. 27(8):1361-1376.

Tang Y.Q., Matsui T., Morimura S., Wu X.L., Kida K. 2008. Effect of temperature on microbial community of a glucose-degrading methanogenic consortium under hyperthermophilic chemostat cultivation. J. Biosci. Bioeng. 106(2):180-187.

Widdel F. 1998. Microbiology and ecology of sulphate and sulphur reducing bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 17(4):261-271.

Winter J., Lerp Z., Wildenauer K., Schindler K. 1985. *Methanobacterium wolfei*, sp. nov., a new tungsten-requiring, thermophilic, autotrophic methanogen. Syst. Appl. Microbiol. 5:457-466.

Winter J., Zellner G. 1987**.** Secondary alcohols as hydrogen donors for CO_2-reduction by methanogens. FEMS Microbiol. Lett. 44:323-328.

Worakit S., Boone D., Mah R., Abdel-Samie M. 1986. *Methanobacterium alcaliphilum* sp. nov., an H_2-utilizing methanogen that grows at high pH values. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 36:380-382.

Zellner G., Alten C., Stackebrandt E., Winter J. 1989. Isolation and characterization of *Methanocorpusculum parvum* gen. nov., spec. nov., a new tungsten requiring, cocoid methanogen. Arch. Microbiol. 147:13-20.

CRITERIOS SOBRE EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA INDUSTRIA AZUCARERA MEXICANA

CRITERIA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE MEXICAN SUGAR INDUSTRY

*J. A. Lois Correa, M. A. Merino Treviño

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología de Avanzada, CICATA-IPN, km. 14.5 Carretera Tampico-Puerto Industrial Altamira, Altamira, Tamaulipas, México.

* joralois@yahoo.com, mmerino@ipn.mx

RESUMEN

Se mencionan y analizan las causas que determinan que la producción agroindustrial de la caña de azúcar en México esté aún lejos de ser sostenible a pesar de su carácter estratégico que mantiene productivas a casi 700,000 Ha con una producción anual de cerca de 5.0 millones de t de azúcar. Se expone su situación actual, las funciones económicas importantes que han caracterizado su desarrollo y el hecho de que representa una fuente de ingreso de más de 3.0 millones de mexicanos y la oportunidad de desarrollo económico y social en cerca de 230 municipios y 15 estados. Los factores que con mayor fuerza presionan la falta de sostenibilidad de esta industria son: a) La quema de caña previo a su cosecha, y la falta de reciclaje de los RAC (residuos agrícolas de caña), b) El excesivo consumo de energía y de productos químicos c) Las emisiones contaminantes, d) El deterioro del medio ambiente afectándose las condiciones laborales y de salud de los trabajadores, e) La ausencia de una política de diversificación y conversión de los subproductos en co-productos de valor agregado y f) Los elevados costos de producción. Igualmente, se proponen estrategias que coadyuven a enfrentar con éxito la competencia en el mercado de edulcorantes y bio-energéticos con productos de calidad provenientes de procesos rentables y sustentables.

Palabras Claves: caña de azúcar · sostenibilidad · residuos agrícolas · medio ambiente · diversificación

ABSTRACT

The causes for determining that Mexican sugar cane agro-industrial production is still far from being sustainable despite its strategic character that keeps productive almost 700,000 ha with an annual production of about 5.0 million t of sugar are mentioned and analyzed. Outlining its current situation, as well as the important economic functions that have characterized its development and the fact that it represents a source of income of more than 3.0 million Mexicans and an opportunity for economic and social development in more than 230 municipalities and 15 states. The factors that more forcefully push the lack of sustainability of this industry are: a) the burning of cane prior to harvest, and the lack of recycling of agricultural residues, b) excessive consumption of energy and chemicals, c) the emission of pollutants, d) the deterioration of the environment affecting the working conditions and health of workers, e) the absence of a policy for diversification and conversion of the by-products in co-products of value-added and f) the high costs of production. Also, strategies that contribute to successfully face the competition in the market of sweeteners and bio-energy with products of quality from profitable and sustainable processes are proposed.

Key words: sugar cane· sustainability· agricultural waste· environment · diversification.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar ocupa un área de 20.42 millones de hectáreas en todo el mundo, con una producción total de 1,333 millones de toneladas métricas. El área cultivada con caña de azúcar y la productividad difieren considerablemente de un país a otro. En ese sentido, la industria azucarera mexicana ha sido históricamente una de las más importantes del país debido a la gran fuerza del sector agropecuario. En su desarrollo ha cumplido funciones económicas importantes, tales como producir un producto básico, abastecer de materias primas a otras industrias, generar empleos directos e indirectos, servir de mercado interno y aportar divisas, vía exportaciones, Arguello-Zepeda(2009). Los primeros ingenios eran trapiches de tracción animal y su capacidad de producción era muy limitada. Sin embargo, el posicionamiento político, la invasión del desarrollo urbano, el mayor control del medio ambiente, la competencia por el uso de la tierra de otros cultivos y la silvicultura, así como la diversidad existente entre las regiones productoras de azúcar son factores que han venido afectando la capacidad de esta industria en México para que pueda coincidir con los criterios de sostenibilidad. Desafortunadamente, no se puede afirmar que exista en México una rigurosa aplicación reglamentaria acerca de la gestión del riesgo y la mejora continua de nuevas prácticas agrícolas que realizan los productores azucareros para la sostenibilidad económica, social y ambiental siendo el resultado de una insuficiente reinversión en las instalaciones fabriles, el exceso de empleados en algunos ingenios y de un alto consumo de energía, lo cual elevó los costos de producción del azúcar. Con ello se ha mermado el potencial competitivo de esta rama productiva en el contexto del TLC, a la vez que se han presentado algunos problemas ambientales, debido al ruido excesivo en la fábrica y a emisiones contaminantes de diversa índole que han venido deteriorando las condiciones laborales y de salud de los trabajadores del campo cañero y de la fábrica.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Situación actual. México es uno de los diez países con mayor superficie cosechada y producción de caña de azúcar a nivel mundial. De acuerdo a estadísticas obtenidas del Senado de la República, la industria azucarera emplea alrededor de 3.0 millones de mexicanos y se extiende por cerca de 230 municipios en 15 estados de la República. En todo el país más de 160,000 productores de caña dependen de esta industria, igual que la agroindustria depende de ellos. Lo mismo podemos decir de los más de 20,000 obreros; 175,000 cortadores que laboran en la zafra, 28,000 choferes de camiones y 16,000 empleados de oficinas. Esto sin considerar a las compañías distribuidoras y comercializadoras.

A pesar de su importancia económica, la producción y el procesamiento agroindustrial de la caña en México están aún lejos de ser todavía definitivamente una industria sostenible a pesar de ser una actividad muy importante en el país que impacta el 0.5 % del PIB. Con un rendimiento promedio de 73.15 ton/ha, las 42´547,000 ton de caña que se obtienen anualmente en México producen cerca de 5.0 millones de ton de azúcar Lois-Correa(2010). En la Tabla 1 se muestra el rendimiento agrícola de los principales países productores de caña de azúcar en la región FAO(2002-2006). México elevó sus estimaciones para la producción de azúcar en el actual ciclo a lo que podría ser un nuevo récord de 6.68 millones de toneladas, debido a una mayor superficie sembrada y a un mejor rendimiento, dijo un comité sectorial en su más reciente proyección difundida el lunes.

Anteriormente, México esperaba producir 6.25 millones de toneladas en el ciclo 2012/13, según estimaciones del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), un organismo oficial que reúne a propietarios de ingenios, productores de caña y al Gobierno. De llegar a la meta, la producción sería mayor al récord de 5.8 millones de toneladas alcanzadas en el ciclo 2004/05.

1.2 Rezagos tecnológicos. Insuficientes remodelaciones y reinversiones en las instalaciones agro-industriales de los ingenios, y los excesivos consumos energéticos y de productos químicos, aunados a la

elevación en los costos de producción, han sido las causas principales de los rezagos tecnológicos y del surgimiento de la crisis que ha venido afectando la industria azucarera mexicana en las últimas dos décadas. Adicionalmente, otros factores no menos importantes como son los problemas de impacto ambiental derivados del excesivo ruido de

Tabla I. Rendimiento agrícola de caña de azúcar

País	Ton/ Hectárea
Perú	**109,676.00**
Guatemala	**96,032.00**
Colombia	**91,569.00**
Ecuador	**73,715.00**
Brasil	**73,150.00**
México	**75,640.00**
Venezuela	**70,440.00**
Argentina	**65,212.00**
R. Dominicana	**52,564.00**
Cuba	**30,788.00**

(Fuente: FAO Statistics. Promedios 2002-2006.)

instalaciones en niveles de obsolescencia, las significativas emisiones contaminantes en el ingenio y también en el campo, han venido afectando la salud de los trabajadores del ingenio y los que laboran en el campo, así como a los habitantes de localidades cercanas Arroche-Herrera, (2004). Pese a los modestos avances técnicos alcanzados en México, todavía existe una brecha tecnológica con respecto a otros países, tales como Perú, Guatemala y Colombia en cuanto al rendimiento de campo tal y como se puede apreciar en la Tabla 1 FAO, (2002-2006).

Existe aún un desarrollo heterogéneo de la industria azucarera mexicana, habiendo ingenios de alta, media y baja productividad García y Escalante, (1997). Estas diferencias se originaron desde la fundación arbitraria de algunos ingenios en zonas no aptas para el cultivo de la caña, y también ha influido en ello la deficiente administración de los ingenios. Otros problemas recientes de la industria son la pérdida de empleos que trajo consigo la reconversión de esta industria en los años noventa, así como el deterioro del medio ambiente que ocasionan los ingenios. En las tablas 2 y 3 se muestran los principales indicadores productivos del campo y fábricas de azúcar mexicano en los que se puede apreciar que el total de emisiones de CO_2 solamente por la quema de caña supera las 560 mil ton que sumado al CO_2 excedente emitido a la atmósfera representa un total de 1.29 millones de t de CO_2 emitidos a la atmósfera.

Tabla II. Datos del campo cañero mexicano.	
Superficie Cosechada.	683,598 Ha
CO_2 a la atmósfera por la quema de cañaverales.	561,917 ton
CO_2 recuperado por la Fotosíntesis.	449,534 ton
CO_2 excedente a la Atmosfera.	724,767 ton
	161.22 %
Caña Cosechada Neta.	56,865,067 ton
Caña Perdida por Transportación (17.6%).	8,510,418 ton
Caña Molida.	48,354,649 ton
Residuos Agrícolas de la Caña de Azúcar (RAC).	64,258 ton

Tabla III. Datos promedios de la industria de azúcar de caña en México.	
Rendimiento en Fábrica	11.11 %
Agua utilizada para elaboración de Azúcar.	20,792,499 m^3
Cachaza obtenida.	1,595,703 ton
Azúcar Producida.	5,467,098 ton
CO_2 emitido por la elaboración del Azúcar.	500,000 ton
Excedente de CO_2 emitido por los Ingenios Azucareros.	50,466 ton
Miel Final.	1,257,220 ton
Bagazo.	11,169,923 ton

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Impacto medioambiental de la industria azucarera. Gran cantidad de factores de conjunto dictan la práctica agro-industrial. Por ejemplo, en la mayoría de las zonas azucareras, los incendios son comunes durante la cosecha de la caña esgrimiéndose variadas justificaciones en su aplicación, mientras que en otras regiones,- unas muy pocas,- desde hace años, los incendios de caña han sido reemplazados por la cosecha de caña verde y el encamado de los surcos con los RAC, residuos agrícolas de la caña Aroche-Herrera, (2004). La quema de cerca de 700 mil Ha de superficie de caña cosechada en México, representa una significativa emisión de alrededor de 560 mil t de CO_2 a la atmósfera. Esto genera emisiones a la atmósfera, principalmente de PST y monóxido de carbono que, dependiendo de las condiciones locales y técnicas de quema pueden tener incidencia en la salud humana. Debido a las condiciones climatológicas y las características aerodinámicas de las partículas emitidas por la quema de caña, estas logran viajar largas distancias, por lo que sus concentraciones pueden afectar no solo regiones aledañas a la zona cañera. De acuerdo a modelos de dispersión analizados, las concentraciones pueden permanecen altas hasta distancias de aproximadamente 50 km. Cuando se efectúa la quema de caña en el día se produce una contaminación, la cual puede ser visualizada comúnmente al observar una especie de lluvia de trozos de cenizas sobre toda la ciudad. Estas cenizas van acompañadas de una serie de gases no visibles y humo que agravan los problemas. Así, tenemos que esta combustión produce gases como monóxido de nitrógeno, el cual tiene efectos tóxicos sobre los humanos; anhídrido sulfuroso, que al unirse con el agua de la atmósfera forma las llamadas lluvias ácidas y tiene efectos irritantes a la vista y en concentración de 0,5 ppm elimina la vegetación; el anhídrido carbónico en reacción fotoquímica produce irritación en los ojos y afecta las vías respiratorias. Por otra parte, se producen cenizas que contienen potasio en altas cantidades y en presencia del agua tienen un alto poder corrosivo sobre diversas superficies (autos, casa, estantes, etc.), además de manchar la ropa y crear contaminación de tipo estético (basura) que resulta costoso eliminarla García, R.(1997a).

En un estudio realizado para determinar la incidencia del particulado provocado por la quema de caña sobre el número de pacientes por mes con enfermedades respiratorias y las concentraciones de PM10, se notó que al disminuir PM10 de mayo a junio decrecía también el número de pacientes; sin embargo en los meses más fríos hay otros factores que influyen sobre las enfermedades respiratorias, pareciera ser que la elevación del nivel de PM10 en marzo tuviera relación con este tipo de enfermedades. En la Figura 1 se muestra cómo influye la presencia de PM10 sobre el número de pacientes Ruiz, M. (2008a)

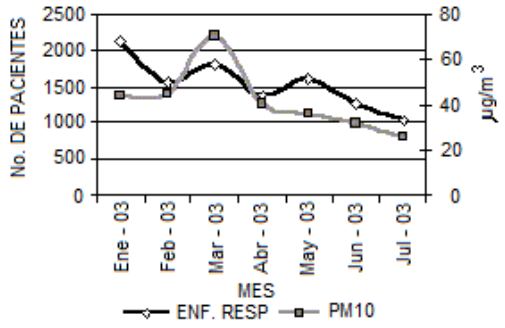


Figura 1. Concentración de PM10 y Frecuencia de afecciones y enfermedades respiratorias (Fuente: Ruiz, 2008).

● **Contaminación por nutrientes y pesticidas.** El uso intensivo de agroquímicos para el cultivo de la caña de azúcar contamina cuerpos acuíferos pudiendo también afectar a organismos de poca importancia económica, pero esenciales para la formación de redes alimenticias complejas que contribuyen a la biodiversidad y estabilidad del ecosistema. Para ello, los organismos de protección del medio ambiente deberían ser más activos y la legislación más completa.

● **Generación de efluentes líquidos.** En la última etapa del proceso de producción de azúcar, en la fábrica se expide agua con una alta carga orgánica, aceites y grasa; sin embargo, no siempre se cuenta con eficientes sistemas de tratamiento de agua industrial.

●**Degradación de suelos.** El incremento de la acidez de los suelos es más frecuente en las plantaciones de caña particularmente debido al uso de fertilizantes nitrogenados como son la urea y el sulfato de amonio. Cuando tienen lugar fuertes lluvias, se originan lixiviados de sulfatos que promueven la acidificación del suelo García, L., (1997a).

La causa básica de muchos de los problemas ambientales de las regiones azucareras de México, radica en que la legislación ambiental no se aplica como corresponde y en la baja capacidad para formular proyectos ambientales Arguello-Zepeda, F.J.,(2009)

2.2 Factores de riesgo. En la industria azucarera mexicana se registra una tasa de accidentes que oscila entre el 9 y 10 %, cuatro veces mayor al promedio nacional en la industria manufacturera así como al de la economía en su conjunto La mayoría de los ingenios del país continúa presentando una situación laboral riesgosa, debido a los siguientes factores Espinosa, G. (2002):

a) Mal estado de las instalaciones, pues a pesar de la supuesta reconversión azucarera, el 39 % del total de ingenios sólo actualizaron sus equipos y parcharon maquinaria obsoleta.

b) Falta de uso del equipo de protección, bien por negligencia del ingenio o por la costumbre de los trabajadores.

c) Tipo de substancias que se impregnan en toda la fábrica, lo cual potencia la ocurrencia de accidentes.

En el campo cañero, la situación no es mejor ya que los cortadores de caña tienen condiciones de vida muy difíciles, su trabajo es temporal, con extenuantes jornadas laborales, su pago es a destajo, y se exponen a quemaduras por el medio en que se desenvuelven. A pesar de la tendencia existente a la mecanización de la cosecha de la caña (en mayor medida el alce que el corte), no ha dejado de presentarse problemas serios de

salud de estos trabajadores agrícolas, que se ven obligados a recurrir a los servicios médicos disponibles. Según datos del IMSS, los cortadores que acuden a las clínicas del IMSS, presentan diversas enfermedades, de tipo nutricional, además de algunos padecimientos relacionados con riesgos físicos vinculados a las operaciones del corte y alce de la caña de azúcar. De aquí se infiere la necesidad de implementar una política ambiental que no sólo maneje la protección a la salud en el discurso, sino que busque los mecanismos reales para lograrla Arguello-Zepeda, (2009)

2.3 Factores presionantes sobre la sostenibilidad. Sostenibilidad es un concepto que debe implicar tres factores esenciales: personas, planeta y beneficios. La caña de azúcar en México puede llegar a convertirse en una industria sostenible al igual que lo han logrado otros países que, como en el caso de Brasil, ha alcanzado avances significativos en su sostenibilidad. Se demuestra que un ingenio típico de hoy día, puede procesar el doble de la caña de azúcar con el mismo equipo y con aproximadamente la misma energía, mantenimiento, mano de obra, agua, etc. de manera que sea factible producir tanto como el doble de producto Fingerut, J., (2010). Los principales problemas medioambientales que se registran son:

•Degradación de los suelos.

•Afectaciones a la cobertura forestal.

•Contaminación.

•Carencia de agua.

•Pérdida de la diversidad biológica.

En términos de impacto sobre el medio ambiente, se reconoce que toda actividad económica tiene un impacto, pero en el caso de México la agroindustria de la caña constantemente demuestra que su producción y procesamiento son viables solamente en el largo plazo. Diferentes análisis económicos realizados han indicado más utilidad con caña verde (197 %) en comparación con una vez quemada (143 %) y dos veces quemada (100 %) presentando la caña verde un 35% mayor cantidad de energía producida por unidad invertida.

Alternativas y acciones dirigidas al logro de la sostenibilidad azucarera. Es justo reconocer que muchas de las investigaciones en la industria del azúcar de caña en México tienen un enfoque de sostenibilidad. Existen enfoques de trabajo acerca de la reducción de las necesidades de fertilizantes, las mejoras en la focalización y la eficacia del uso de plaguicidas, tolerancia a la sequía de nuevas variedades y sistemas de cultivo con insumos más bajos y menores pérdidas, así como el formidable potencial económico y ambiental que brindarían los RAC como materia prima para el desarrollo de co-productos de valor agregado si se cambiara el sistema de cosecha en caña quemada por la de caña verde, son todos ejemplos de la investigación dedicada a mejorar la sostenibilidad expresada en términos de utilización integral de la caña. Sin embargo, no siempre se puede afirmar que la transferencia y aplicación de estos resultados en la práctica social haya sido exitoso ni que contribuyera a la creación de una sólida y verdadera cultura de desarrollo sostenible.

En ese contexto, México debe cesar la nociva quema de caña y aprovechar todos los residuos agrícolas de la caña RAC mediante su reciclaje de nuevo a los campos de caña, así como en su aprovechamiento energético. El uso de energía y productos químicos en el procesamiento industrial también debe reducirse considerablemente.

Por su parte, el uso y conversión de las melazas, el bagazo de la caña de azúcar, y otros subproductos, en un amplio surtido de co-productos, algunos de ellos de alto valor agregado, la producción de bioplásticos y el establecimiento de una sólida base de producción de biocombustibles representan para México nuevos

caminos para una mayor sostenibilidad. La totalidad de la cadena de producción mexicana de caña de azúcar tiene que estar muy bien preparada para un examen más intenso de la sostenibilidad Lois-Correa, J.(2002).

En el campo cañero mexicano se observa el hecho de que la determinación y aplicación de las variedades de caña y de los herbicidas las decide el ingenio, sin considerar los intereses de los campesinos, que en su mayoría son ejidatarios minifundistas. En cuanto al aspecto industrial, se observa la falta de industrialización de muchos subproductos de la caña, que terminan como desechos industriales; existen también problemas de contaminación de ríos por los materiales que utilizan los ingenios azucareros y una falta de seguridad en las fábricas y en la zafra en general. Algunos indicadores básicos que deben tomarse en cuenta para una buena gestión de sostenibilidad ambiental son los siguientes:

1. Adecuado funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de residuales azucareros.

2. Disminución de los riesgos de derrames de hidrocarburos y grasas en las distintas partes de la industria.

3. Aprovechamiento de la cachaza y su conversión en co-productos de valor agregado.

4. Disminución de los consumos de sosa cáustica y ácido clorhídrico en la industria,

5.Segregación de las corrientes residuales de limpieza.

6. Implantación de los sistemas de fertirriego.

7. Control de los puntos críticos del proceso que generan la contaminación.

8. Incluir en el proceso inversionista los indicadores de lucha contra la contaminación.

9. Promoción de los Fórums de Ciencia y Técnica en todos los sectores de la producción.

10. Aplicación de una política de producciones más limpias (PML).

11. Cultivo de la caña de forma intensiva y racional.

12. Mantenimiento preventivo de las calderas.

13. Evaluación del impacto ambiental provocado por el ruido en las instalaciones e implantar medidas tecnológicas para disminuirlas.

14. Inventariar y controlar las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero.

CONCLUSIONES

Los aspectos de sostenibilidad que con urgencia requiere México, y que se pueden destacar, en el procesamiento agroindustrial de azúcar de caña son:

● **Productividad:** lograr producir más con el mismo equipamiento.

● **Eficiencia:**

- Alcanzar mayores niveles de productividad con la misma materia prima.

- Reducción de las pérdidas y emisiones contaminantes.

● **Energía:** producir más con la misma energía instalada actualmente.

● **Agua**: aumentar la producción con la misma cantidad de agua.

● **Productos químicos:**

- Producir más con los mismos productos químicos.

- Menos contaminación-polución.

REFERENCIAS

1. Arguello-Zepeda, F. J. (2009). Desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera mexicana, impactos sociales y formas de gestión ambiental http://www.eumed.net/libros/2009a/476/Desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera mexicana impactos sociales y formas de gestión ambiental.htm.

2. Lois-Correa, J. (2010). Caña de azúcar y medioambiente. Conferencia dictada en la Semana Nacional por la Conservación del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México Nov.23-27.

3. FAO. Statistics 2002-2006. En: Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles. Una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Módulo V: caña de azúcar. Servicio holandés de cooperación al desarrollo SNV, 1ra ed. Tegucigalpa, Honduras.

4. Aroche-Herrera, D. (2004). Problemática y Crisis de la Industria Azucarera Mexicana en el Marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte TLC. Tesis Licenciatura. Relaciones Internacionales. Departamento de Relaciones Internacionales e Historia, Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de las Américas, Puebla. México, Febrero.

5. García, R.; Espinoza, J. y Marcano, J. (1997). La contaminación ambiental causada por la quema de la caña de azúcar, al momento de la cosecha. FONAIAP Divulga, No. 5(1997). 7, Julio-Sept. (1997).

6. Ruiz, M. y O. Arroyo (2006). Estudio de la contribución de partículas suspendidas por la quema de caña en la calidad del aire. Instituto Tecnológico de Puebla, Estado de México..

7. García, L. y R. Escalante (1997). La agroindustria azucarera de México en el marco de la apertura, Comercio exterior, Vol. 47, núm. 12, diciembre, pp. 975-983.

8. Espinosa, G. (2002), "Políticas de privatización: los saldos de una década en la industria azucarera" En Ma. Magdalena Saleme, et al (Comps.), Desarrollo regional, mercado laboral, sociedad rural en México, México: UAM-Xochimilco, División de Ciencias Sociales y Humanidades, pp. 221-240.

9. Finguerut, J. (2010) Sustainability in sugarcane processing in Brazil. *Proceedings XXVII Congress of ISSCT*, marzo, Boca de Río, Veracruz, México, pp.9.

10. Lois-Correa, J. (2002). Advantages of the Production and Use of Gasohol and Biodiesel as a Clean Renewable Energy Resource from Sugar Cane Juice, *Sugar Journal*, Oct., Louisiana, USA.

Pósteres

XII
DIVERSIFICACIÓN 2013
Congreso Internacional sobre
Azúcar y Derivados
Del 14 al 18 de octubre, Hotel Nacional, La Habana, Cuba

Alimento animal

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE DIVERSIFICACIÓN DE ZONAS PRODUCTORAS DE CAÑA DE AZÚCAR POR METODOLOGÍAS EMERGY, CICLO DE VIDA (LCA) Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

ANALYSIS OF DIVERSIFICATION CAPACITY OF SUGARCANE SUPPLY ZONES BY EMERGY, LIFE CYCLE (LCA) AND MULTICRITERIA EVALUATION (MCE) METHODOLOGIES

N. Aguilar-Rivera[1], J. Alejandre R.[1], E. Houbron[2], E. Rustrian P., R.A. López E[1].

Universidad Veracruzana México, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias[1] y Facultad de Ciencias Químicas[2]. Email: naguilar@uv.mx

Resumen

La agroindustria azucarera es una actividad productiva de alto impacto social, económico y espacial sin embargo, los retos de competitividad global requieren la disminución de costos y la diversificación del uso de la caña de azúcar y subproductos de procesamiento, por lo tanto, para su implementación extensiva exitosa requiere ser abordada metodológicamente con técnicas multidisciplinarias para inventariar, evaluar y planificar los recursos, insumos, tecnología, energía, calidad de la materia prima e impactos ambientales que incluya la agricultura diversificada y proyectos de biorefineria. El objetivo del trabajo fue evaluar la aplicación de metodologías eMergy, Ciclo de Vida (LCA) y Evaluación Multicriterio (EMC) para el análisis de la capacidad de diversificación de zonas cañeras. Los resultados establecen que la aptitud agroclimática al cultivo es el factor más importante para el establecimiento de proyectos de diversificación en unidades productivas cañeras al explicar el 38.1 % y determina la capacidad del territorio para producir materia prima, en cantidad y calidad. Para el sistema de producción de etanol el principal contribuyente energético y ambiental es la etapa agrícola, que representa el 83% de todos los flujos, la etapa industrial 15% y el transporte de caña de azúcar 2%. Cuando se considera la cadena completa, los recursos de la economía y materiales (36,7%) y servicios (26,9%) fueron los principales flujos energéticos del sistema. Sin embargo, de forma individual la principal contribución fue de lluvia (28 %), fertilizantes y pesticidas (20%), mientras que los combustibles fósiles (6%), trabajo, ya sea contratado o temporal, contribuyó con 10% de los flujos energéticos.

Palabras clave: Zonas de abasto cañero, metodologías multidisciplinares, sustentabilidad

Abstract

The sugar industry is a productive activity of high impact social, economic and spatial, however, the challenges of global competitiveness require cost reduction, sugarcane diversification and processing of by-products, therefore, for successful and extensive implementation needs to be methodologically addressed with multidisciplinary techniques to inventory, assess and plan the resources, inputs, technology, energy, raw material quality and environmental impacts including diversified sugarcane agriculture and biorefinery projects. The objective was to evaluate the application of methodologies Emergy, Life Cycle Assessment (LCA) and Multi-Criteria Evaluation (MCE) for the analysis of capacities diversification of sugarcane supply areas. The results established that the agroclimatic suitability is the most important factor for diversification projects establishment in sugarcane farms to explain the 38.1% and determines the capacity of land to produce quantity and quality raw material. In ethanol production the major energetic an environmental impacts is by the agricultural stage which represents 83% of all flows, 15% industrial stage and transporting 2% sugar. When is considering the entire chain of economic resources and materials (36.7%) and services (26.9%) were the main energy flows in the system. However, the individually main contribution were rain (28%),

fertilizers and pesticides (20%), while fossil fuels (6%), labor, whether hired or temporary, contributed 10% of the flows energy.

Keywords: sugarcane supply zones, multidisciplinary methodologies, sustainability

Introducción

La agroindustria azucarera es una de las más empresas más importantes en el mundo por la obtención de un producto básico para la alimentación humana de alta calidad y pureza, por su contribución con la generación de empleo especialmente en las áreas rurales, con el desarrollo sostenible y las economías nacionales. Sin embargo, el aumento progresivo de los costos de producción de campo, cosecha y fabricación de azúcar en el sector azucarero, los retos de competitividad global (productividad, diversificación, innovaciones, gestión, I+D+I etc.), el necesario desarrollo de proyectos de biorefineria, diversificación y reconversión productiva en centrales o ingenios azucareros destilerías y unidades de producción cañera y los impactos ambientales en suelo aire y agua (Basanta, 2007) de esta agroindustria hacen necesaria la búsqueda de nuevas alternativas de producción eficaz, de nuevo conocimiento y el desarrollo de nuevas tecnologías que contribuyan significativamente a su sostenibilidad, las cuales incluyan el establecimiento de nuevos sistemas de producción de caña de azúcar, más rentables y de menores costos y nuevos enfoques de estructura organizacional y análisis del sector para la formulación de alternativas de acción a mediano y largo plazo y políticas públicas diferenciadas, es decir, reformas políticas, inversiones con fines específicos y la reorganización de aspectos clave a lo largo de la cadena productiva azucarera considerando a su vez aspectos de gran controversia política y social acerca de los patrones de propiedad de la tierra, las tradiciones agrícolas, los derechos de los campesinos y laborales, y la estructura agroindustrial (Aguilar, 2012). El reto más importante es hacer de la caña de azúcar una fuente para solucionar tres problemas esenciales: la alimentación, la energía y el medio ambiente es decir, *"Lograr su procesamiento óptimo para obtener, además de azúcar de distintas variedades, mayor cantidad de caña de azúcar, subproductos y derivados"*

Por lo tanto, el sector agroindustrial azucarero necesita con urgencia un proyecto de reordenamiento tanto en la cuestión tecnológica sustentado en la diversificación de la producción y la administración industrial y empresarial; ya que son numerosos los factores que pueden evaluarse y establecer que han restringido y/o fomentado la diversificación y reconversión de la agroindustria azucarera (precios del azúcar y petróleo, tecnología, legislación, calidad y cantidad de materias primas, subproductos y tecnología de conversión, costos de producción, insumos e impacto ambiental etc.) en un contexto de seguridad alimentaria, y que se han traslapado cíclicamente a través de la historia del edulcorante y la actual estructura productiva de la agroindustria azucarera en la mayoría de los países productores. Lo anterior debe contemplar la creación y uso de los derivados de la caña para la industria y la creación de proyectos locales o regionales en el ámbito rural (Figura 1).

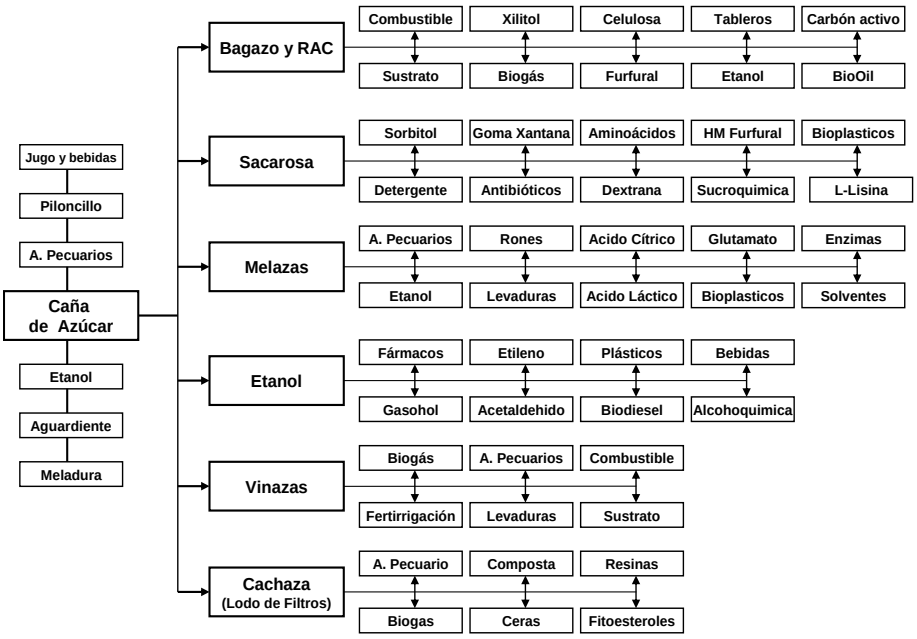


Figura 1. Diversificación de la agroindustria azucarera (Aguilar, 2011)

Cespón (2008) concluyó que para la diversificación agroindustrial de la caña de azúcar y el fomento de su uso como materia prima, debe garantizarse un flujo material estable, en cantidad y calidad del campo cañero y el aprovechamiento industrial posterior de los residuos o subproductos. Es decir, para Waclawovsky *et al.* (2010) la obtención de altos rendimientos es la clave para el desarrollo de cultivos energéticos como la caña de azúcar y la generación de subproductos agrícolas que permitan la sostenibilidad y eviten la competencia con la producción de alimentos, por lo tanto, un incremento en la producción de etanol u otros derivados de la caña de azúcar, sin disminución de la producción de azúcar, debe ser logrado mediante el incremento del rendimiento existente en los cultivos de caña de azúcar. En este sentido, Franco (2008) mencionó que para evaluar el potencial de producir derivados de caña de azúcar en los ingenios azucareros, destilerías o en la unidad productiva agrícola, como un proyecto sumamente complejo, en términos de rendimiento y de balance energético, con determinantes de orden económico e impactos ambientales por disposición de residuos y practicas tecnológicas y culturales de producción y manejo, se requiere determinar el potencial actual y la expansión espacial potencial y necesaria del sector caña de azúcar. Lo anterior debe tener en cuenta a las múltiples variables relacionadas con dicho crecimiento mediante el uso de técnicas de gestión ambiental y análisis espacial. Esto permitirá integrar todos los aspectos relevantes a considerar la agroindustria azucarera como sistema socioeconómico (SES) en la decisión de diversificarse, al tener una visión espacial de los insumos aplicados y los factores limitantes de gran dispersión espacial e impacto (sociales, culturales, económicos, energéticos, biológicos, climáticos, geofísicos, etc.).

Por lo tanto, los estudios de diversificación en regiones cañeras, unidades productivas e ingenios o centrales azucareros y destilerías, requieren ser abordados metodológicamente con técnicas multidisciplinarias para inventariar, evaluar y planificar los recursos por medio del análisis de variables que expliquen niveles de empleo, rentabilidad, precios, insumos, tecnología, energia y calidad de la materia prima e impactos ambientales que incluya la agricultura diversificada, la propagación de nuevos cultivos y otros proyectos en el ingenio azucarero como biorefineria. Es decir, la agroindustria azucarera necesita identificar el potencial o capacidad mediante la valoración de los recursos y capacidades que posee o a los que puede acceder (tamaño y tipo de explotación y productores, ubicación geográfica, variedades comerciales mejoradas, crédito riego, energéticos y otros insumos y sus impactos ambientales etc.). Al considerar estas variables podrían

visualizarse escenarios locales y regionales y un impacto positivo en la viabilidad económica para la producción de nuevos compuesto derivados mediante la ingeniería metabólica o biosíntesis (Campillo, 2009; Birch, 2007; Higgins *et al.,* 2007 y Mirkov etal, 2006).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aplicación de metodologías de gestión ambiental como eMergy, Ciclo de Vida (LCA) y Evaluación Multicriterio (EMC) para el análisis de la capacidad de diversificación de zonas productoras de caña de azúcar

Economía ecológica y metodologías

Los problemas de la agroindustria azucarera son multicausales, multidisciplinarios, dinámicos, y el problema rebasa el componente ecológico y tecnológico, abarcando el social y el económico de complejidad tal que su análisis debe ser dirigido a través de un proceso permanente de administración estratégica desde una perspectiva interdisciplinaria. Así un paso fundamental para maximizar las oportunidades y las ventajas comparativas y competitivas regionales basadas en la diversificación o reconversión productiva, es dar seguimiento a los procedimientos de evaluación como instrumentos decisivos para la toma de decisiones. En este sentido, la Economía Ecológica es una ciencia que usa la Teoría General de Sistemas, la Ecología Sistémica, y la Termodinámica de los Sistemas Abiertos para analizar la realidad, explicitar su complejidad y mostrar su dinámica a través de diversas metodologías como Emergy o síntesis emergetica, Análisis de ciclo de vida (LCA) y Evaluación Multicriterio (EMC) entre otros. En la agroindustria azucarera el objetivo de estas metodologías de gestión ambiental es analizar la producción de caña de azúcar con criterios energéticos para identificar sistemas más sustentables con menos insumos y emisiones identificando las etapas de plantación, cultivo, cosecha y transporte en caña planta y soca, y cultivo, cosecha y transporte, así mismo llevando a cabo un inventario de insumos energéticos usados convertidos a su equivalente en energía y valores de eficiencia energética comparando sistemas de tipo tradicional (cosecha integral con quema, plantación manual y uso de agroquímicos), de caña verde (cosecha integral sin quema, plantación manual, uso de rastrojos para cobertura y biofertilizantes), energético (cosecha integral sin quema, plantación mecánica, y uso de cachaza y biofertilizantes) y ecológico para la producción de panela (Aguilar, 2011). Es decir, el problema operativo principal de la multifuncionalidad de la agricultura cañera diversificada es valorar sus diferentes funciones pues la mayor parte de estas funciones corresponden a bienes o servicios no comerciales, que no tienen un precio especificado en el mercado, lo que significaría la necesidad de disponer de indicadores que permitieran comparar con otros componentes o indicadores para el análisis de las características técnicas, ambientales, energéticas y socioeconómicas.

Evaluación Multicriterio (EMC)

Aguilar (2011) propuso abordar la complejidad de determinar la capacidad de diversificación de áreas cañeras mediante una metodología multicriterio integrada en tres fases de evaluación para la obtención de un indicador compuesto denominado *índice de diversificación de zonas cañeras* de acuerdo a lo concluido por Tenerelli (2008). La primera (Fase I) se basa en un modelo espacial de asignación de uso y aptitud del suelo de forma general al cultivo de caña de azúcar; la segunda (Fase II) se basa en un modelo de evaluación del cultivo con fines energéticos o de diversificación productiva. La agregación de las dos fases en una matriz multicriterio de acuerdo al método de Saaty (1990) ofrece un escenario final para evaluar la aptitud de tierras (zonificación) o potencial para proyectos de diversificación y otros usos (Fase III). El modelo clasifica las tierras de diferente aptitud en una tipología (zonificación) en función de su capacidad para establecer proyectos de diversificación. Estas limitaciones están relacionadas con las características morfológicas de la tierra, el uso del suelo, las restricciones ambientales y los criterios de gestión. Es decir, el método se lleva a cabo con la construcción de la estructura jerárquica (Figura 2), la normalización de los factores, la ponderación y combinación con sus pesos, el diseño de la matriz de Saaty (matriz de comparación por

pares), la determinación del índice de diversificación y por último la generación de mapas de caracterización de la zona de abasto cañero y de aptitud o índice de diversificación. Inicialmente, los factores deben ser seleccionados con base en su relevancia a escala local y regional para la adecuación de tierras de cultivo cañera para proyectos de diversificación en la unidad productiva y en la disponibilidad de bases de datos.

Es decir, mediante esta metodología se logra: a) la identificación de alternativas factibles o posibles como factores o variables involucradas directamente en la capacidad de diversificación de territorios o regiones; b) la construcción de criterios mediante una estructura jerárquica; c) la evaluación del desempeño de cada alternativa o factor con respecto a cada criterio; y d) la agregación de los resultados (*índice de diversificación de zonas cañeras*) para obtener la zonificación que ofrece las mejores evaluaciones para futuros proyectos de diversificación basados en las capacidades y recursos a escala local y regional.

El modelo determino que la aptitud agroclimática al cultivo de caña de azúcar es el factor limitante más importante para el establecimiento de proyectos de diversificación en unidades productivas cañeras, seguido por el rendimiento de campo y el acceso a la tierra o tamaño de la unidad productiva o superficie cañera ya que juntos explican el 77.9 % de la capacidad para diversificarse. La aptitud, al explicar el 38.1 %, tiene un impacto importante ya que determina la capacidad del territorio para producir materia prima, en cantidad y calidad, por ciclo productivo y expandir la frontera agrícola actual de forma gradual. Estos efectos están estrechamente vinculados con la calidad del suelo, las condiciones climáticas y la afectación por plagas bajo régimen de secano. Por lo tanto, existe un fuerte vínculo entre la aptitud y el tipo de gestión agrícola que determina el desarrollo agrícola en la región. Este instrumento de gestión al combinarlo con sistemas de información geográfica está estructurado a guiar las decisiones regionales para un proceso de toma de decisiones del uso de la superficie cañera con fines de diversificación.

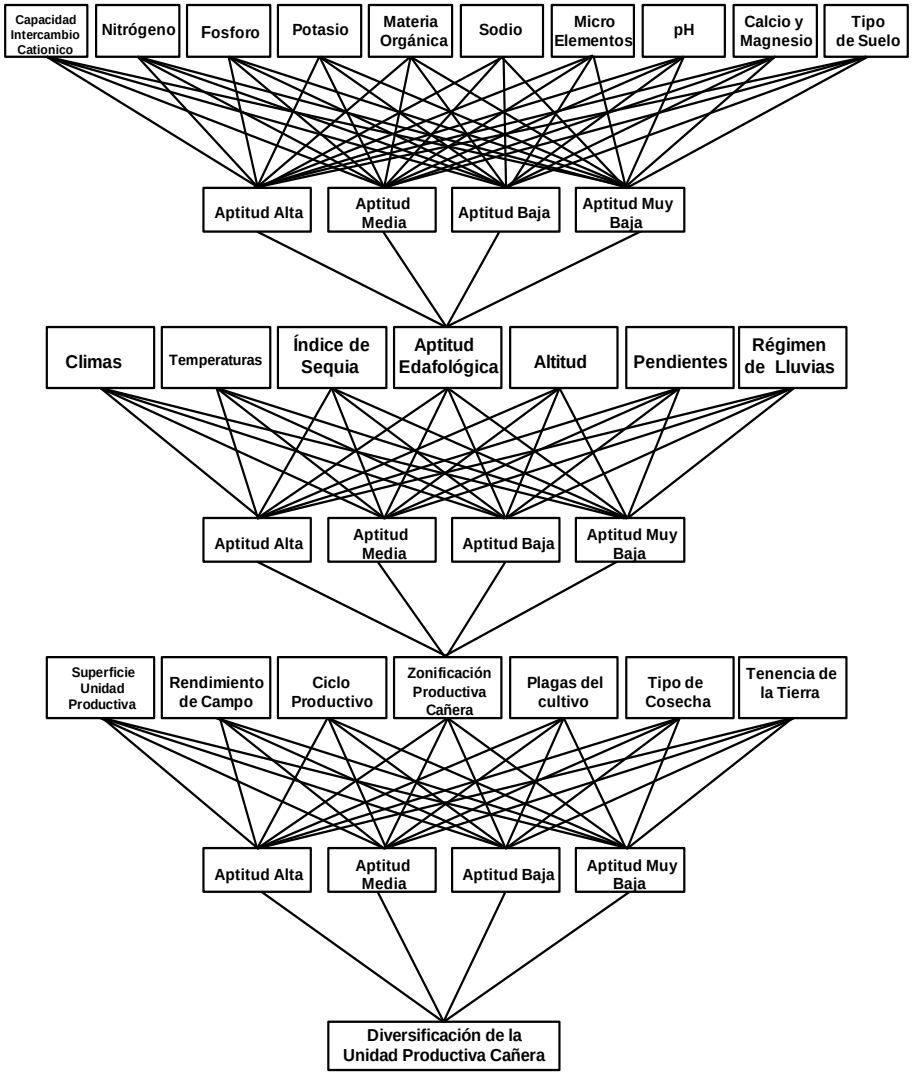


Figura 2. Estructura jeráquica de Saaty para el análisis de la capacidad o aptitud para diversificar unidades productivas cañeras bajo régimen de secano (Aguilar, 2011)

Análisis de ciclo de vida (LCA)

Diversas metodologías han sido desarrolladas en el área de gestión ambiental, como el concepto de ciclo de vida (LCA o ACV) que involucra el análisis, documentación y cuantificación de las cargas ambientales de la vida completa de un producto, de la cuna hasta la tumba, y su servicio asociado. La metodología LCA, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso de producción de caña de azúcar y sus derivados determina cuáles son los impactos más significativos para cuantificar y les asigna un ecopuntaje. Los trabajos de García et al (2011) e Islas (2007) en México, Contreras et al (2009) de Cuba, Kumar et al (2011) de India, Sánchez (2007) de Colombia, Renouf etal. (2013, 2010, 2006), de Australia, Caro (2004) de Argentina, Ramjeawon (2004) de Isla Mauricio, Mashoko et al. (2010) de Sudafrica; Saavedra (2000) de Colombia y Pereira, (2010), Van der Voet y Huppes (2009), Dias De Oliveira (2008), Carvallo (2004) y Moreton Chohfi (2004) de Brasil ofrecen una aproximación conceptual y metodológica del análisis del balance de emisiones de la producción de azúcar crudo (estándar) de forma individual y

Renouf et al (2013) en forma paralela azúcar y etanol combustible para identificar los puntos críticos del sistema con fines de diversificación productiva (Figura 3).

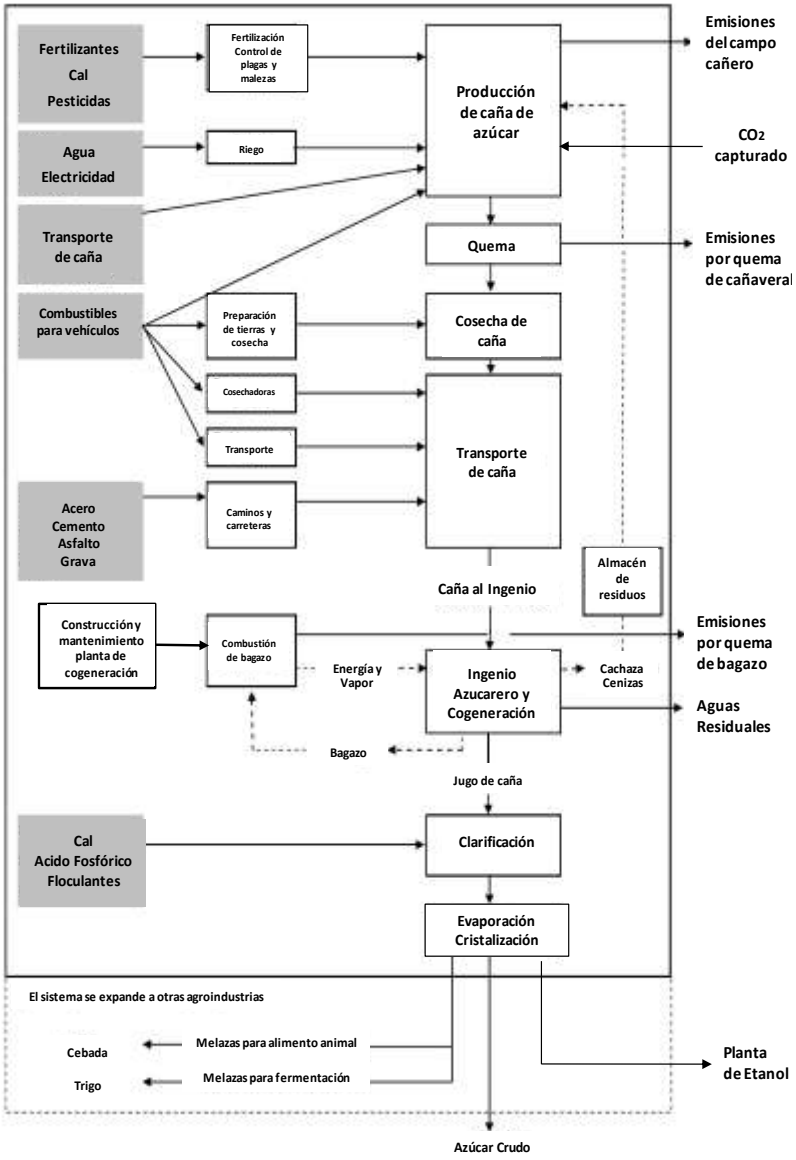


Figura 3. Marco conceptual para el análisis de ciclo de vida (LCA) de la producción de azúcar y etanol combustible (Renouf et al, 2006)

Los trabajos analizados presentan un balance global de emisiones en todas las etapas del sistema cañero (Tabla I)

Tabla I. Balance de emisiones del cultivo de caña (Moreton, 2004)

Fase emisora, proceso, operación o actividades que emite CO_2	Ciclo de primer corte ($kgCO_2$/ha 1° corte	Ciclo de 5 cortes ($kgCO_2$/ha)	Emisión total ($kgCO_2$/ha/ ciclo de vida)
1) Preparación del campo para plantío			
1.1) Producción y manutención de equipamientos y máquinas agrícolas	**75,3**		**75,3**
1.2) Tractores y maquinas agrícolas	**19,4**		**19,4**
2) Plantío o siembras nuevas			
2.1) Transporte de las plántulas a la ubicación de plantación	**46,6**		**46,6**

2.2) Operaciones de plantío	**5,2**		**5,2**
3) Gerenciamiento del cultivo y plantación			
3.1) Aplicación (tractores y máquinas)			
Cal agrícola	**0,4**		**0,4**
Herbicidas	**0,4**	**2,0**	**2,4**
Cachaza	**27,3**		**27,3**
Vinazas	**35,3**	**176,3**	**211,6**
Fertilizantes	**9,2**		**9,2**
3.2) Producción de insumos agrícolas			
Cal agrícola	**16,8**		**16,8**
Herbicidas	**36,1**	**180,5**	**216,6**
Insecticidas	**2.0**		**2.0**
3.3) Transporte de insumos agrícolas			
Cal agrícola	**0,6**		**3,0**
Herbicidas	**0,6**	**3,0**	**3,6**
Cachaza	**0,6**		**3,0**
Vinazas	**0,6**	**3,0**	**3,6**
Fertilizantes	**0,6**		**3,0**
Insecticidas	**0,6**		**3,0**
3.4) Emisiones del suelo			**450,0**
4) Cosecha			
4.1) Máquinas cosechadoras	**4,6**	**33,5**	**38,1**
4.2) Camiones cargadores	**304,7**	**1.267,5**	**1.554,2**
5) Transporte de tallos de caña			
5.1) Transporte al ingenio	**67,6**	**338,0**	**405,6**
Total			**3.054,2**

Emisión total = 108.395 kgCO_2/ha/ciclo de vida + 3.054,2 kgCO2/ha/ciclo de vida = 111.449,2 kgCO_2/ha/ciclo de vida.

Secuestro total = 29.110,5 kgCO2/ha/ciclo planta + 116.180 kgCO_2/ha/5 cortes = 145.290,5 kgCO_2/ha/ciclo de vida.

Balance de masa de CO_2 : 111.449,2 kgCO_2/ha/ciclo de vida + (-145.290,5 kgCO_2/ha/ciclo de vida) = -33.841,3 kgCO_2/ha/ciclo de vida de débito de CO_2.

Por lo tanto, el valor negativo establece que la producción de caña contribuye en gran medida a la captura de gases de efecto invernadero. Para Saavedra (2000) en las etapas de corte y cosecha se obtiene el 91,8% del impacto total causado por el cultivo. Así, la quema y requema, gases de combustión y la acidificación contribuyen principalmente la etapa de corte y cosecha y el manejo de residuos. La etapa de riego, por su parte, contribuye a los problemas de acidificación y sobre todo al problema de la eutrofización. Las otras etapas no tienen una contribución significativa a los problemas ambientales y en cuanto a proposición de mejoras. La razón por la que el proceso de fertilización y nutrición tiene un alto porcentaje de contribución a la eutrofización, la quema de biomasa emite a la atmósfera polvo o sustancias orgánicas que contribuyen al smog asi como SO_2 que al sumarse con el agua y el vapor de agua se convierte en SO_4 que se precipita a la tierra en forma de lluvia ácida (Tabla II).

Tabla II. Balance energético global para la producción de etanol de caña de azúcar (Carvalho Macedo *etal* 2004)

Nivel	**Consumo Energético**			
	Escenario 1 (kCal/Ton caña)		**Escenario 2 (kCal/Ton caña)**	
Producción de caña de azúcar (Total)	**48,208**		**45,861**	
Operaciones agrícolas	**9,097**		**9,097**	
Transportes	**10,261**		**8,720**	
fertilizantes	**15,890**		**15,152**	
Cal, herbicidas, pesticidas etc.	**4,586**		**4,586**	
Semilla de caña	**1,404**		**1,336**	
Equipos	**6,970**		**6,970**	
Producción de etanol (Total)	**11,800**		**9,510**	
Energía eléctrica	**0**		**0**	
Químicos y lubricantes	**1,520**		**1,520**	
Obra civil	**2,860**		**2,220**	
Equipo	**7,420**		**5,770**	
Flujos externos	**Input**	**Output**	**Input**	**Output**
Agricultura	**48,208**		**45,861**	

Fabrica	**11,800**		**9,510**	
Etanol Producido		**459,100**		**490,100**
Bagazo excedente		**40,300**		**75,600**
Total	**60,008**	**499,400**	**55,371**	**565,700**
Relación Energía renovable/Energía Fósil	**8.3**		**10.2**	

En este sentido Renouf et al., (2013, 2010 y 2006) han demostrado que la diversificación de la agroindustria azucarera y sus escenarios evaluados mediante el análisis de ciclo de vida (LCA), como una representación holística de los impactos de la producción, podrían lograrse beneficios ambientales como la conservación de los recursos energéticos no renovables y reducir el potencial calentamiento global, es decir, la metodología LCA determinó que la diversificación basada en la utilización de los coproductos en la agricultura cañera y otros usos industriales presenta beneficios similares a los que podrían ser adquiridos a través de la adopción de prácticas eco-eficientes del cultivo de caña para maximizar el crecimiento de beneficios. Las opciones de bio-producción de derivados de la caña específicas como el etanol y la cogeneración que requieren de expansión de la producción de caña de azúcar también ofrecen mayores beneficios ambientales, pero hay ventajas y desventajas de una mayor productividad agrícola cañera, que no puede ser compensada por la producción de combustibles fósiles desplazados y el uso del suelo y del agua. Los beneficios de estos escenarios deben ser reevaluados continuamente a través del LCA para determinar si los efectos directos e indirectos de los impactos del cambio del uso del suelo son ambientalmente compatibles para justificar los efectos de ampliación producción agrícola cañera y deben ser considerados en el ámbito local y la escala regional. Por lo tanto, mediante el examen de los factores que influyen en LCA, los autores concluyeron que se ha demostrado que los resultados están influidas por (1) la naturaleza del sistema de procesamiento de caña de azúcar (es decir, el rango de productos producidos a partir de la caña y el sistema de producción), (2) la variabilidad en la calidad y cantidad de la materia prima, (3) el enfoque adoptado para la asignación de los impactos de los múltiples productos del procesamiento de la caña de azúcar específicos (azúcar, etanol, composta, electricidad etc) y el uso final de los subproductos generados para cada región productora de caña y los ingenios azucareros o destilerías.

Emergy

En las evaluaciones convencionales de los sistemas productivos de diversificación de la agroindustria azucarera (campo y fábrica) los resultados están muy relacionados con las respuestas de factibilidad técnica y financiera de los proyectos de diversificación. Sin embargo, se tiene en consideración que en un sistema productivo cañero convencional y diversificado los actores sociales y la contribución de la naturaleza (sol, lluvia, viento, suelo etc.) son parte decisiva en los sistemas y por ende en sus resultados, es por esto que surge la necesidad de contabilizar en las evaluaciones de los proyectos de diversificación la energía proveniente de los recursos de la economía y de la naturaleza para producir bienes y servicios. En este sentido, el Análisis Emergético como metodologías de la economía ecológica en el análisis de sustentabilidad y con criterios agroecológicos y socioeconómicos, constituye una herramienta valiosa para la evaluación integral y sistémica de la energía y su conversión en la cadena agroindustrial de la caña de azúcar y su diversificación, en la cual se estiman valores de las energías naturales incorporadas a los productos, procesos y servicios. La definición de emergía presentada por Odum (1996) estable que la "Emergía" o "Memoria eMergética" es la energía disponible que fue previamente utilizada, directamente y indirectamente, para generar un servicio o producto. El análisis emergético, es la metodología de base científica que contabiliza el valor ambiental y el valor económico, haciendo uso de la Economía, Teoría de Sistemas, Termodinámica, Biología y los nuevos principios del funcionamiento de sistemas abiertos. Este abordaje posibilita visualizar y cuantificar de forma dinámica los flujos de los recursos naturales, de los servicios ambientales provenientes de la naturaleza y de los impactos de las actividades antrópicas, permitiendo la comprensión de los límites en cada ecosistema y el establecimiento de metas para garantizar la capacidad de soporte, es decir, determina la sustentabilidad de los sistemas.

Con el objetivo de analizar las diferentes contribuciones de flujos energéticos (naturaleza y economía) bajo una unidad común, el análisis emergético o eMergy utiliza la energía equivalente de radiación solar. La unidad de emergía es el emjoule *solar* (abreviado queda seJ*)*. La Intensidad Emergética equivale al valor real del producto, o sea, toda la emergía utilizada en la producción de una determinada cantidad del producto. Existen tres principales tipos de Intensidad Emergética: Transformidad (en seJ.J-1), Emergía Específica (en seJ.g-1) e Emergía por Unidad Monetaria (en seJ.$ $^{-1}$). La transformidad de un producto mide la calidad de energía y su posición jerárquica en la energía universal, la cual se obtiene a partir de la suma de todas las entradas de emergía solar del proceso (en seJ) y se divide por la energía proveniente del producto final (en J). Cuanto mayor el número de transformaciones de energía necesarias para la elaboración de un producto o la ejecución de un proceso, mayor será el valor de su transformidad, siendo mayor también la importancia del recurso para los ecosistemas y para los seres humanos. El análisis emergético consiste en los siguientes pasos:

(a) Elaboración del Diagrama Sistémico.
(b) Elaboración de la Tabla de Evaluación Emergética.
(c) Cálculo de los Índices Emergéticos.
(d) Interpretación de los resultados (Ortega, 2005).

Para los derivados de la caña de azúcar, los estudios de análisis emergeticos se han enfocado en su mayoría a la producción de etanol Bastianoni (1996); Lanzotti (1999, 2000); Ometto et al. (2004); Alonso-Pippo et al. (2004); Pereira (2006); Agostinho et al., (2010); Amponsah (2012) con el sistema agrícola convencional y a partir del análisis de forma cualitativa de la totalidad de fuentes de energía que entran, las que salen y los flujos internos en el sistema agroindustrial.

Para el sistema de producción de etanol a partir de caña de azúcar, el principal contribuyente emergetico es la etapa agrícola, lo que representa el 83% de todos los flujos de emergía utilizados. En segundo lugar la etapa industrial 15% y el transporte de caña de azúcar 2%. Cuando se considera la cadena completa, los recursos de la economía y materiales (36,7%) y servicios (26,9%) fueron los principales flujos emergeticos del sistema. Sin embargo, de forma individual la principal contribución fue de lluvia (28 %). fertilizantes y pesticidas (20%), mientras que los combustibles fósiles (6%), trabajo, ya sea contratado o temporal, contribuyó con 10% de los flujos emergeticos en SEJ (julios equivalentes solares, o emergía solar).

El uso del análisis de emergía indica que el sistema de producción de etanol, aunque es extremadamente eficiente en energía (conversión de energía solar en biocombustible de la caña de azúcar) el sistema no es renovable, por lo tanto, no puede ser sostenido en el largo plazo. Y por lo tanto el subsistema agrícola cañero presenta bajos índices porque el uso de etanol se asocia con el consumo significativo de recursos naturales como el agua, la pérdida de suelo y el área de cultivo necesario para la producción de caña de azúcar. Este resultado es debido a la utilización de grandes cantidades de insumos, combustibles en especial diésel para las operaciones agrícolas. Por lo tanto, el diseño y la adopción de prácticas más sostenibles, como la agricultura ecológica y cultivos de rotación e intercalados (diversificación agrícola), durante la etapa agrícola cañera tendrían como resultado una mejora del comportamiento ambiental y energetico de la producción de etanol de caña de azúcar. Estos recursos y los flujos de masa, energía y combustible no son generalmente representados en los análisis económicos clásicos (economía ambiental). Sin embargo, ellos tienen un gran impacto ambiental a nivel local y regional así como la producción de etanol y las emisiones de CO_2 del cultivo de caña de azúcar, debido al uso de combustibles y otros insumos industriales derivados de recursos no renovables (principalmente fertilizantes, agroquímicos y cal agrícola) y los combustibles por el transporte (Pereira, 2010) (Figura 4).

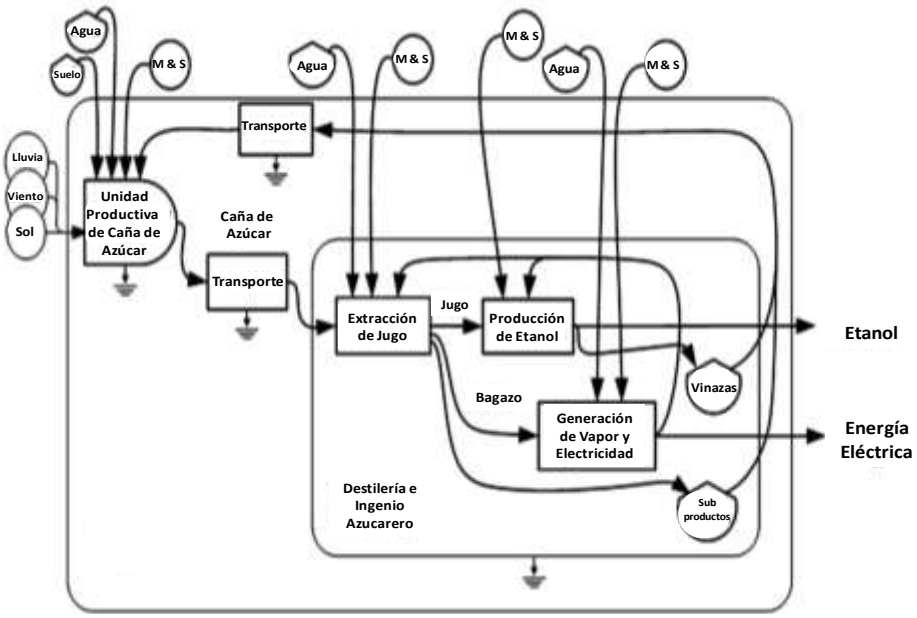


Figura 4. Diagrama Emergetico del sistema de producción agrícola e industrial de etanol de caña de azúcar (Pereira, 2010)

Por otro lado, Bergquist et al (2012) proponen para incrementar la sustentabilidad de la producción aplicar programas de diversificación en predios cañeros mediante el análisis eMergy para determinar la interacción y retroalimentación de insumos y subproductos para la incorporación de aves de corral, ganado de doble propósito, otros cultivos y forrajes dentro de la unidad productiva cañera (Figura 5)

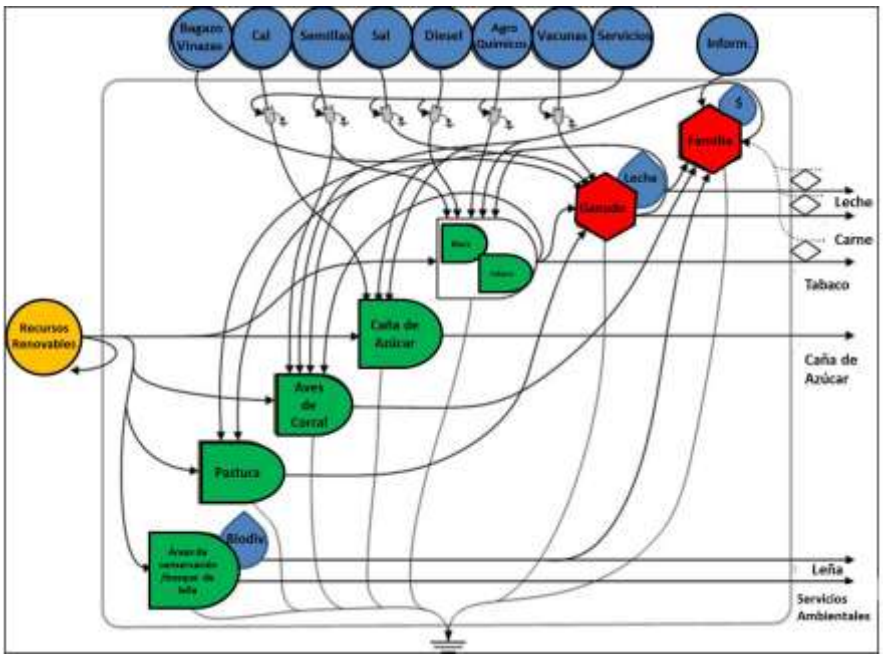


Figura 5. Diagrama emergy de unidades productivas cañeras diversificadas

Conclusiones

Los métodos de la economía ecológica discutidos en este trabajo, determinan que la clasificación jerárquica en zonas de muy alta a muy baja aptitud hacia la diversificación de unidades productivas cañeras (EMC) y el balance energético (eMergy) y ambiental del cultivo (LCA) establecen, según Chaplin (2000), que además de los factores que caracterizan a las zonas por capacidad para diversificarse, existe un conjunto más amplio de razones que podrían explicar diversos niveles de especialización y diversificación. En primer lugar, los recursos disponibles (tipo de suelo clima, disponibilidad de agua, insumos agropecuarios, combustibles, agroquímicos conocimiento etc.) y los impactos ambientales afectan a las oportunidades para el cultivo base y otras producciones (cultivos, ganadería de doble propósito, aves de corral, servicios ambientales, microempresas, pesca, turismo, agroforesteria, etc.). Además, los agricultores cañeros a nivel mundial tienen diferentes niveles de conocimientos y experiencias sobre las actividades específicas de producción, diversificación de unidades productivas y sus impactos ambientales, y los planes de explotación fuera de esta base de conocimientos podrían ser más riesgosos. Esto implica que las zonas con antecedentes de monocultivo cañero (único cultivo que interesa comercialmente principalmente en la producción de azúcar) tienden a permanecer especializados. En segundo lugar, el grado de diversificación en los mercados regionales o nacionales y aun mundiales influirá en la producción final del predio. Un mercado poco diversificado tiende al monocultivo. En tercer lugar, las restricciones de acceso al mercado tienden a reducir la gama de mercancías producidas y el monocultivo. En cuarto lugar, la infraestructura y el acceso a recursos energéticos que prevalecen en las zonas rurales afecta la disponibilidad de insumos y acceso a los mercados. Por lo tanto, la infraestructura deficiente puede limitar la diversificación y aumentar la tendencia al monocultivo. En quinto lugar, pero no por ello menos importante, están los factores históricos y políticos como la colonización y la legislación gubernamental, que creó las plantaciones y dejó una infraestructura y recursos sesgada hacia el monocultivo y un aumento de la propensión a la especialización y finalmente la simbiosis de estos métodos de la economía ecológica discutidos en este trabajo, permitió identificar cuáles son los impactos ambientales más importantes y cuáles son los problemas ambientales que deben ser tratados con mayor urgencia para cada tipo de sistema de manejo tradicional, especializado o diversificado. Por otro lado, las metodologías hacen posible una comparación satisfactoria en materia ambiental energética y espacial entre los procesos de producción de caña de azúcar y la diversificación. Esto gracias a la cuantificación y al puntaje que da a cada una de las etapas del proceso, y a que permite dar una calificación a todo el ciclo de vida de los cultivos y el balance energético por nivel de aptitud hacia la diversificación y le da el componente espacial a escala local.

Por lo tanto, un alto índice de productividad en campo en cantidad y calidad (caña molida, rendimiento agroindustrial, de campo, fibra y sacarosa) y la capacidad del campo para cubrir la demanda de caña de azúcar al mercado (ingenios) son los factores que *a prori* permiten identificar las oportunidades de producir mayor caña de azúcar para otros proyectos de diversificación, mediante la adopción de tecnologías y metodologías de gestión ambiental como eMergy, LCA y EMC entre otras para incrementar los rendimientos, la incorporación paulatina de más superficie al cultivo y monitorizar los impactos ambientales.

Bibliografia

Agostinho, F., Ambrosio, L.A., Ortega, E., (2010). Assessment of a large watershed in Brazil using emergy evaluation and geographical information system. Ecological Modelling, 221: 1209-1220.

Alonso-Pippo, W; Rocha, J.D.; Mesa-Pérez, J.M., Olivares-Gómez E., Cortez L.A.B. (2004). Emergy evaluation of bio-oil production using sugarcane biomass residues at fast pyrolysis pilot plant in brazil. En Ortega, E. & Ulgiati, S. (editors): Proceedings of IV Biennial International Workshop "Advances in Energy Studies". Unicamp, Campinas, SP, Brazil. June 16-19, 2004. Pp. 401-408

Aguilar R. N., G. G. Mendoza, C. Contreras S., J. Fortanelli M. (2012). A methodological approach to sugar mill diversification and conversion. Ingeniería e Investigación. 32(2):23-27.

Aguilar R. N. (2012). Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México. Convergencia Revista de ciencias sociales. 19(59):187-213

Aguilar R.N. (2011). Competitividad de la agroindustria azucarera de la Huasteca México. Tesis de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 476 p.

Amponsah N.Y. (2012). Sustainable Biofuel Project: Emergy Analysis of South Florida Energy crops. http://www.imok.ufl.edu/docs/pdf/soils/biofuels/EmergyAnalysisofSouthFloridaEnergyCrops.pdf

Basanta R., García D. M.A, Cervantes M. J.E., Mata V.H., Bustos V.G. (2007). Sostenibilidad de reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera. Ciencia y Tecnología Alimentaria 5(4): 293-305.

Bastianoni, S., Marchetinni, N. (1996) Ethanol production from biomass: Analysis of process efficiency and sustainability. Biomass and Bioenergy, 11(5): 411-418.

Birch R. G. (2007). Metabolic engineering in sugarcane: assisting the transition to a bio-based economy. Chapter 11. Botany Department, School of Integrative Biology, The University of Queensland, Brisbane 4072 Australia R. Verpoorte c Springer et al. (eds.), Applications of Plant Metabolic Engineering, pp.249–281

Campillo A., Fernández Gago R. (2009). ¿Qué factores determinan la decisión de diversificar? Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa 15(1):15-28.

Caro, R. F. (2004). Balances Energéticos de Caña de Azúcar como Cultivo Energético en Tucumán, Argentina En: http://www.aba-agroecologia.org.br/ojs2/index.php?journal=rbagroecologia&page=article&op=viewFile&path%5B%5D=9352&path%5B%5D=6490

Carvalho Macedo I., M. Regis Lima, J. E. Azevedo R. (2004). Assessment of greenhouse gás emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil Copersucar Piracicaba Brasil 47 p.

Cespón R., J. A. Knudsen, F. Marrero (2008). Gestión logística de residuos en la industria azucarera cubana". Revista VIRTUALPRO® 82:1-15.

Contreras A.M, Elena Rosa, Maylier Pérez, Langenhove HV, Dewulf J. (2009) Comparative life cycle assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production. Journal of Cleaner Production; 17:772–779.

Chaplin H. (2000). Agricultural diversification: a review of methodological approaches and empirical evidence. Department of Agricultural Economics and Business Management, Wye College, University of London. Working paper 2:70.

Dias De Oliveira M.D. (2008). Sugarcane and Ethanol Production and Carbon Dioxide Balances. Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems, Springer Science Business Media B.V.

Franco, M. M. 2008. Use of Geographical Information Systems to evaluate the potential of cogeneration from sugarcane residues in the state of São Paulo, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 120 p. Dissertation (M.Sc.)

Garcia C. A., A. Fuentes, A. Hennecke, E. Riegelhaupt, F. Manzini and O. Masera (2011) Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico.Appl Energy Applied Energy 88(6): 2088-2097

Higgins A., P. Thorburn , A. Archer , E. Jakku. (2007). Opportunities for value chain research in sugar industries. Agricultural Systems 94: 611–621

Islas J., F. Manzini and O. Masera. (2007). A prospective study of bioenergy use in Mexico. Energy 32(12):2306-2320

Kumar M. C., S. Varun, C., S. Kumar S. (2011). Life cycle assessment of sugar industry: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15: 3445– 3453

Lanzotti C.R. (2000). Uma análise emergética de tendências do setor Sucroalcooleiro. Dissertação de mestrado académico Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos. faculdade de engenharia mecánica universidade estadual de campinas, 106 p.

Lanzotti, C. R., Ortega, E. , Guerra, S.M G. (1999). Emergy Analysis And Trends For Ethanol Production In Brazil. Proceedings from the First Biennial Emergy Analysis Research Conference, Gainesville, Florida.

Mashoko, L. M. Charles, T. Valerie M. (2010) LCA of the South African sugar industry, Journal of Environmental Planning and Management, 53(6): 793-807

Mirkov TE, Damaj MB, Gonzalez J, Molina J, White SG, Nikolov Z. (2006). Sugarcane as a biofactory for the economic production of low to medium value proteins: reality or wishful thinking? In 'Tropical Crop Biotechnology Conference'. Cairns. (Ed. JM Manners) (CSIRO). 21 p.

Moreton Chohfi (2004). balanço, análise de emissão e seqüestro de co2 na geração de ELETRICIDADE excedente no setor sucro-alcooleiro, Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá Universidad Federal de Itajubá 96 p.

Odum, H.T. (1996). Environmental Accounting, EMERGY and Decision Making. John Wiley, New York, 370 p.

Ometto, A.R., Roma, W., Ortega, E., (2004). Emergy life cycle assessment of fuel ethanol in Brazil: in Ortega, E. Ulgiati, S. (editors): Proceedings of IV Biennial International workshop "Advances in Energy Studies," Unicamp, Campinas, SP. Brazil.

Ortega, E. Cavalett, O. Bonifácio, R. Watanabe, M. (2005) Brazilian soybean production: emergy analisys wiyh an expanded scope. Bulletin of Science, Technology e Society.SAGE Publications.Toronto. 25(4):323-334

Pereira C. L.F., E. Ortega. (2010). Sustainability assessment of large-scale ethanol production from sugarcane. Journal of Cleaner Production 18: 77–82

Pereira, J.T., Dalbem, J.A., (2006). Evaluation of sugarcane production in Brazil based on data from producers with good management systems and comparison with published results, 5th Biennial International Workshop, Advances in Energy Studies.

Ramjeawon T. (2004). Life Cycle Assessment of Cane-Sugar on the Island of Mauritius. The International Journal of Life Cycle Assessment 9(4): 254-260.

Renouf M. A., R. J. Pagan, M. K. Wegener. (2013). Bio-production from Australian sugarcane: an environmental investigation of product diversification in an agro-industry. The International Journal of Life Cycle Assessment 39: 87-96

Renouf M. A., R. J. Pagan, M. K. Wegener. (2010). Life cycle assessment of Australian sugarcane products with a focus on cane processing. The International Journal of Life Cycle Assessment 15(9): 927-937

Renouf M. (2006). LCA of Queensland cane sugar lessons for the application of LCA to cropping systems in Australia 5th Australian Conference on Life Cycle Assessment Achieving business benefits from managing life cycle impacts Melbourne, 22-24 November.
Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, Amsterdam, 48:9-26.

Sánchez J. O. (2007). Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol. En: http://redalyc.uaemex.mx/pdf/215/21514606.pdf

Saavedra; J. F. (2000). Comparación del impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo de caña de azúcar tradicional y orgánico utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Santafé de Bogotá. 131 p.

Tenerelli P, Monteleone M. A (2008).combined land-crop multicriteria evaluation for agro-energy planning. Italy: SUSTOIL, University of Foggia; http://sites.google.com/site/sustoilfg/VP5.2.12.pdf

Van der Voet E., G. Huppes (2009). Chapter 3 Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Bioethanol from Sugarcane in Brazil Renewable and Sustainable Energy Reviews; 13(6-7): 1613-1619.

Waclawovsky A. J., P. M. Sato, C. G. Lembke, P. H. Moore, G. M. Souza. 2010. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content Plant Biotechnology Journal 8:263–276.

¿SERÁ LA ENCUESTA DE MALEZAS UNA HERRAMIENTA PARA LAS RECOMENDACIONES DEL SERVICIO DE CONTROL INTEGRAL DE MALEZAS? ESTUDIO DE CASO, DE LA INTERACCIÓN PRÁCTICA CON LOS PRODUCTORES.

Will THE SURVEY OF OVERGROWTHS BE A TOOL FOR THE RECOMMENDATIONS OF THE SERVICE OF INTEGRAL CONTROL OF OVERGROWTHS? I STUDY OF CASE, OF THE PRACTICAL INTERACTION WITH THE PRODUCERS.

MSc. Marta Barrera; Ing. L. Peña; Lic. J. Matos; Ing. G. Cervera; MSc. Midiala Peña; Lic. Odalis Barquié; Lic. H. Gámez; Téc. A. Cobas.

Grupo de Extensión y Servicios Agrícolas (GESA) Carretera "El Salvador" Km. 1½ Montesano. Guantánamo, Cuba.

Dirección de correo: gesaguan@inicagm.azcuba.cu

Resumen

El control de malezas se ha convertido en el principal desafío para los productores agrícolas debido a su competencia, reduciendo así el potencial de rendimiento de los cultivos con determinado interés económico. Con el propósito de conocer la diversidad de las malezas asociadas al cultivo de la caña de azúcar, se realiza un trabajo en la unidad productora "Manuel Sánchez" de la Empresa Azucarera Argeo Martínez en Guantánamo entre los años 2006-2010 a partir de la realización de la encuesta de malezas orientadas por el Servicio de Recomendaciones de Control Integral de Malezas (SERCIM) con la finalidad de mitigar las pérdidas de los rendimientos por el concepto del establecimiento de las arvenses. Los resultados mostraron que al inicio de la investigación la unidad promediaba un total de 13 malezas las que disminuyeron a 9 al cierre del 2010, determinando que cinco de ellas persistieron durante la etapa de estudio mientras que siete fueron clasificadas como malezas problema y a su vez especies **dominantes,** debido al mayor grado cobertura o frecuencia de distribución, estas fueron: *Rottboellia cochinchinensis* (Zancaraña), *Cynodon dactylon* (Hierba fina), *Ipomea trifida* (Bejuco aguinaldo), *Euphorbia heterophylla* (Hierba lechosa), *Sorghum halepense* (Don Carlos), *Rhynchosia minima* (Bejuco culebra) y *Sida acuta Burm. f.* (Malva de caballo). Para conocer la dinámica de distribución en el macizo cañero de la unidad, se empleó como herramienta el MAPINFO del Sistema de Información Geográfica (SIG).

Palabras clave: Malezas; Servicio de Recomendaciones; Sistema de Información Geográfica.

Summary

The control of weeds has become the main challenge for the agricultural producers due to its competition, reducing therefore the potential of yield of the cultures with certain economic interest. In order to know the diversity the weeds associated the culture of the sugar cane, a work is made in the producing unit "Manuel Sanchez" of the Company Sugar bowl Argeo Martinez in Guantánamo between years 2006-2010 from the

accomplishment of the survey of weeds oriented by the Service of Recommendations of Integral Control of Weeds (SERCIM) with the purpose of mitigating the losses of the yields by the concept of the establishment of the arvenses. The results showed that at the beginning of the investigation the unit divided equally a total of 13 weeds those that diminished to 9 to the closing of the 2010, determining that five of them persisted during the study stage whereas seven were classified like weeds problem and as well species **dominant,** due to the greater degree cover or frequency of distribution, these were: *Rottboellia cochinchinensis* (Zancaraña), *Cynodon dactylon* (Fine grass), *Trifida Ipomea* (Rattan Christmas gift), *Euphorbia heterophylla* (Milky grass), *Halepense Sorghum* (Don Carlos), *Minimum Rhynchosia* (Rattan snake) and *Aids acuta Burm. f.* (Malva of horse). In order to know dynamics distribution in the cañero bulk of the unit, the MAPINFO was used like tool of the System of Geographic Information (SIG).

Key words: Weeds; Service of Recommendations; System of Geographic Information.

Introducción

Las **especies de malezas** son las únicas **plagas** constantes de la agricultura, las otras **plagas** que infestan el ambiente agrícola, son esporádicas: insectos, nemátodos, fitopatógenos, ácaros, roedores, etc. (Arévalo y Bertoncini, 2005). La hierba, año por año, nos roba más de dos millones de toneladas de azúcar de las que potencialmente podemos obtener; por tal razón, no podemos descuidar el control de esta a tiempo y en la medida necesaria (Álvarez, 1997). La competencia activa de las malezas en el cultivo de la caña de azúcar, incide en la disminución de los rendimientos y la productividad por área y si el enyerbamiento está presente en las etapas iniciales del crecimiento de la planta, las pérdidas son mayores. La magnitud del daño está relacionada con la especie de malezas, el grado y el tiempo de infestación (Martín y otros, 1987). Los estudios realizados por Hernández y Díaz (1999) explican que las pérdidas generalmente varían entre 33 y 66% de la cosecha, aunque en casos extremos se ha reportado hasta un 97.5% por la competencia permanente; por lo que constituyen en Cuba según los apuntes de Álvarez (1999), la segunda causa de los bajos rendimientos agrícolas (Citado por González, 2011).

Es de vital importancia entonces conocer la diversidad de las arvenses diseminadas en las áreas asociadas al cultivo de la caña de azúcar; tales causas hacen posible realizar un estudio de caso en la unidad productora "Manuel Sánchez" a partir de la encuesta de malezas orientadas por el Servicio de Recomendaciones de Control Integral de Malezas (SERCIM) con el propósito de realizar un manejo eficaz en el momento oportuno a partir de las recomendaciones, por lo que se proponen los siguientes objetivos:

1. Conocer las malezas problemas que afectan la unidad productora en la etapa comprendida del 2006-2010 y clasificarlas según la familia, clase, ciclo de vida, frecuencia de distribución y modo de propagación.
2. Determinar la dinámica de distribución de las arvenses en el macizo cañero de la unidad productora y mapificarlas a través de las herramientas del Sistema de Información Geográfica.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) "Manuel Sánchez" de la Empresa Azucarera Argeo Martínez en la provincia de Guantánamo, entre los años 2006-2010. La encuesta de malezas se realizó utilizando la evaluación de la frecuencia de aparición de las malezas por unidad mínima de manejo, las que se realizan cada año en la diagonal del campo mediante el método visual, por orientaciones del Servicio de Recomendaciones de Control Integral de Malezas (SERCIM) en 21 bloques y 118 campos. (PCMalezas, 2006-2010). Posteriormente fueron clasificadas por clase, familia y ciclo de vida,

así como, las especies en dominantes y peligrosas, teniendo en cuenta las características específicas de cada especie según su modo de propagación y grado de cobertura o frecuencia de distribución, la que se determinó mediante la fórmula F = a/b x 100, y se clasificaron en accidentales, poco frecuente, medianamente frecuente y muy frecuente en cada bloque. Para conocer la dinámica de distribución en la unidad durante los años de estudio, se empleó como herramienta de trabajo el Mapinfo del Sistema de Información Geográfica (SIG).

Resultados y discusión

El concepto de "Control Integral de Malezas" en Cuba, se limita a las prácticas de aplicación de herbicidas, limpia manual y cultivo, ya sea mecanizado o por tracción animal, ignorándose o subestimando otras prácticas culturales y preventivas de manejo de malezas. El manejo preventivo intenta minimizar la introducción, establecimiento y diseminación de malezas hacia nuevas áreas (Anderson, 1983; Gupta y Lamba, 1978; Schlesselman y otros, 1985 y Sen, 1981) y evitar la producción de semillas en las plantas existentes (Akobundu, 1987 y Rao, 1983). Es por ello que se hace necesario realizar la encuesta de malezas por año en cada campo y bloque por unidad productora para conocer sus hábitos de crecimiento y el período crítico de competencia y de esta forma emplear las recomendaciones del SERCIM como herramienta de trabajo en el manejo de las arvenses.

Evolución de la Unidad Productora en el tiempo

En el año 2006 en la provincia se implementa el Servicio de Recomendaciones de Control Integral de Malezas (SERCIM) y por tanto se comienza el trabajo con los productores en la planificación, asesoramiento, control y capacitación de las actividades a todos los niveles del Ministerio del Azúcar (MINAZ). La tabla I muestra los detalles del asesoramiento en la unidad productora (UP) en los años 2006-2010. Se denota el aumento de las actividades de capacitación, visitas, recorridos y montaje de lotes control que se corresponden con el paso de la implementación a la consolidación del servicio, así como, la inclusión de la unidad en el programa Bayer, fortaleciendo el trabajo en el manejo de las arvenses a través del control y la exigencia.

Tabla I.- Actividades del SERCIM realizadas en la UP en los años 2006-2010.

Actividades	2006	2007	2008	2009	2010
SERCIM	implementacion			Consolidación	
Cursos	1	1	2	2	3
Seminarios	5	5	7	7	7
Visitas	5	13	16	18	29
Recorridos	10	24	32	34	56
Lote control	-	2	5	5	6
Otras	-	-	Programa Bayer Crop-Science		

Resultados de la encuesta de malezas

A través de la encuesta de maleza realizada se pudo determinar que existen en la UBPC "Manuel Sánchez" en toda la etapa de evaluación 2006-2010, un total de 15 malezas asociadas al cultivo de la caña de azúcar, de ellas 7 pertenecen a la clase de las monocotiledóneas para un 53% y 8 a las dicotiledóneas que representan un 47%. (Figura 1).

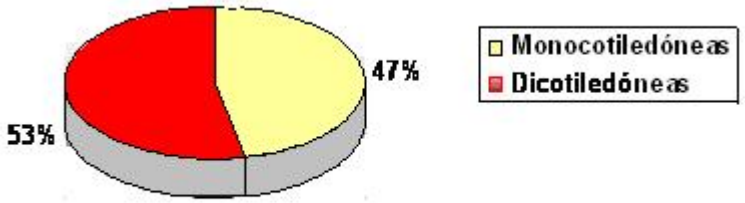


Fig. 1.- Representación de las especies según las clases.

Los resultados expuestos en la tabla II muestran las 15 especies de malezas que habitan en la unidad productora, representadas por 13 géneros y 9 familias botánicas, donde se destaca la Poaceae con 6 especies, para un 66.6%. Resultados similares obtuvo Stay y Barrera (1995) en estudios realizados en la UBPC "Ernesto Guevara"; Koch y García (1985) destacan a esta familia junto a las Cyperaceae como las causantes de mayores problemas en la historia de la agricultura cañera.

Tabla II.- Especies de malezas existentes en la UBPC "Manuel Sánchez" en la etapa 2006-2010.

No	Especie	Nombre común	Familia	Ciclo de vida
1	*Rottboellia cochinchinensis*	Zancaraña	Poaceae	Anual
2	*Brachiaria fasciculata*	Súrbana	Poaceae	Anual
3	*Panicum maximum*	Hierba de Guinea	Poaceae	Perenne
4	*Sorghum halepense*	Don Carlos	Poaceae	Perenne
5	*Dichanthium annulatum*	Jiribilla Pitilla Villaclareña	Poaceae	Perenne
6	*Cynodon dactylon*	Hierba Fina	Poaceae	Perenne
7	*Cyperus rotundus L.*	Cebolleta	Cyperaceae	Perenne
8	*Ipomoea trifida*	Bejuco Aguinaldo	Convolvulaceae	Anual
9	*Euphorbia heterophylla L*	Hierba lechosa	Euphorbiaceae	Anual
10	*Amaranthus dubius Mart*	Bledo	Amaranthaceae	Anual
11	*Portulaca oleracea L.*	Verdolaga	Portulacaceae	Anual
12	*Mucuna pruriens*	Pica Pica	Fabaceae	Perenne
13	*Dichrostachys cinerea*	Marabú	Mimosaceae	Perenne
14	*Rhynchosia minima*	Bejuco Culebra	Fabaceae	Perenne
15	*Sida acuta Burm f.*	Malva de Caballo	Malvaceae	Perenne

Es de vital importancia realizar el censo y clasificación de las malezas que interactúan con determinado cultivo, ya nos permite en gran medida conocer las características de cada una y desarrollar un manejo y control integrado lo más eficiente posible, con vista a que sus daños no sobrepasen el umbral económico. En la tabla 2, se expone la clasificación de las especies según el ciclo de vida, donde se observa que predominan las especies perennes representando el 60% con 9 malezas y en menor grado las anuales con el 40% en 6 especies.

Los estudios realizados por Guerra y Pérez (1995) en la UBPC "Cabañas" perteneciente a la Empresa "Dos Ríos" en Palma Soriano coinciden con los aquí mostrados, explican que existe un predominio de las especies de plantas invasoras de la clase dicotiledóneas en un 58.8% sobre las monocotiledóneas, donde además es representativa la familia Poaceae. De forma análoga fue el resultado respecto al ciclo de vida, donde fue superior las especies anuales con 53.7% y las perennes con un 46.1%.

A partir de las evaluaciones de las encuestas de malezas, se conoció que las áreas destinadas a la producción cañera de la unidad productora se encuentran afectadas por 13 malezas al inicio del estudio en el 2006; en

los años 2007 y 2008 estas disminuyeron a 6; mientras que en el 2009 aumentaron a 9 las que se mantuvieron hasta el 2010.

Clasificación de las especies en dominantes y peligrosas

Del total de plantas invasoras existente en la unidad productora, se pudo determinar que siete de ellas son las malezas problemas, aunque solo cinco permanecieron durante el quinquenio como son: Zancaraña, Don Carlos, Hierba fina, Hierba lechosa y Bejuco aguinaldo; las malezas Malva de caballo y Bejuco culebra convivieron con el cultivo por espacio de 4 y 3 años respectivamente. Las otras 8 malezas no fueron objeto de evaluación por ser no representativa su extensión en tiempo y espacio.

La tabla III muestra la relación de las siete especies de malezas problema en la UBPC "Manuel Sánchez", las que a su vez fueron clasificadas como especies **dominantes,** teniendo en cuenta el mayor grado cobertura o frecuencia de distribución. Las especies Zancaraña, Don Carlos, Hierba fina y Bejuco aguinaldo además de **dominantes,** fueron consideradas **muy peligrosas** por su poder de multiplicación, abundancia y difícil control.

Tabla III.- Especies de malezas dominantes y peligrosas asociadas al cultivo de la caña de azúcar.

No	Especie	Nombre común	Clasificación
1	*Rottboellia cochinchinensis*	Zancaraña	DP
2	*Sorghum halepense*	Don Carlos	DP
3	*Cynodon dactylon*	Hierba Fina	DP
4	*Ipomoea trifida*	Bejuco Aguinaldo	DP
5	*Euphorbia heterophylla L*	Hierba lechosa	D
6	*Rhynchosia minima*	Bejuco Culebra	D
7	*Sida acuta Burm. f.*	Malva de Caballo	D

Leyenda: D- Especie dominante; P- Especie peligrosa.

Las plantas invasoras Zancaraña, Hierba fina y la Hierba lechosa fueron clasificadas por Stay y Barrera (1995) como dominantes y peligrosas en una unidad cañera de la provincia de Guantánamo. De igual forma constituyeron malezas problemas la Zancaraña y el Don Carlos en la unidad Viet Nam de la empresa Urbano Noris en la provincia de Holguín (Rodríguez y otros, 2009).

Los estudios demuestran que la Zancaraña (*Rottboellia cochinchinensis)* es una especie de alto poder reproductor a través de semillas y germinación constante, es fuerte competidora y posibles efectos alelopáticos. La Hierba fina (*Cynodon dactylon)* se reproduce por semillas, estolones y rizomas, gran competidora y de fuerte potencial alelopático. El Bejuco aguinaldo (*Ipomoea trifida)* con hábitos de crecimiento trepadores y reproducción por semilla botánica, se caracteriza generalmente porque su fase de pleno crecimiento y desarrollo coinciden con el cierre de la caña, cubriendo el cultivo, limitando su crecimiento y afectando fuertemente la cosecha manual y mecanizada cuando no son debidamente controlados. El Don Carlos (*Sorghum halepense)* se propaga por semillas, puede producir hasta 18000 por planta, y rizomas donde presenta dominancia apical, distribuidos principalmente en los primeros 20 cm del suelo, pero pueden llegar hasta los 30 cm, una planta con su progenie correspondiente puede producir más de 250 000 semillas cuya latencia en el suelo puede extenderse por más de 6 meses y hasta 7-10 años (PCMalezas, 2010). Las malezas Zancaraña, Bejuco aguinaldo, Hierba lechosa y la Hierba fina fueron también consideradas malezas problemas en el estudio realizado en la UBPC "Cabañas" de Dos Ríos por Guerra y Pérez (1995).

Es importante señalar que a pesar de que la maleza Hierba lechosa fue clasificada solamente como especie dominante, no se puede dejar de estudiar porque se encuentra presente en los 5 años de estudio; de igual

forma es necesario el seguimiento a la Malva de caballo y el Bejuco culebra ya que ambas aparecen en más del 50% de la etapa en 4 y 3 años respectivamente, inclusive se hace necesario monitorear tales efecto para determinar las causas, puesto que la Malva de caballo comienza aparecer en el 2007 y el Bejuco culebra estuvo ausente en la etapa intermedia en los años 2007 y 2008; cabe suponer que pudo existir un mal muestreo en alguno de los casos y/o en otro las semillas fueron trasladadas a través de los implementos agrícolas o del propio factor humano.

Frecuencia de distribución de las malezas dominantes

El porcentaje de aparición de las 7 arvenses dominantes se muestra en la figura 2, obsérvese que en el año 2006 no se encuentra presente la *Sida acuta Burm. f.* (Malva de caballo) como tampoco se encuentra en el año 2007 y el 2008 la *Rhynchosia minima* (Bejuco culebra). Las malezas *Rottboellia cochinchinensis* (Zancaraña) y la *Cynodon dactylon* (Hierba fina) permanecieron presentes entre el 70 y el 100% durante toda la etapa de estudio.

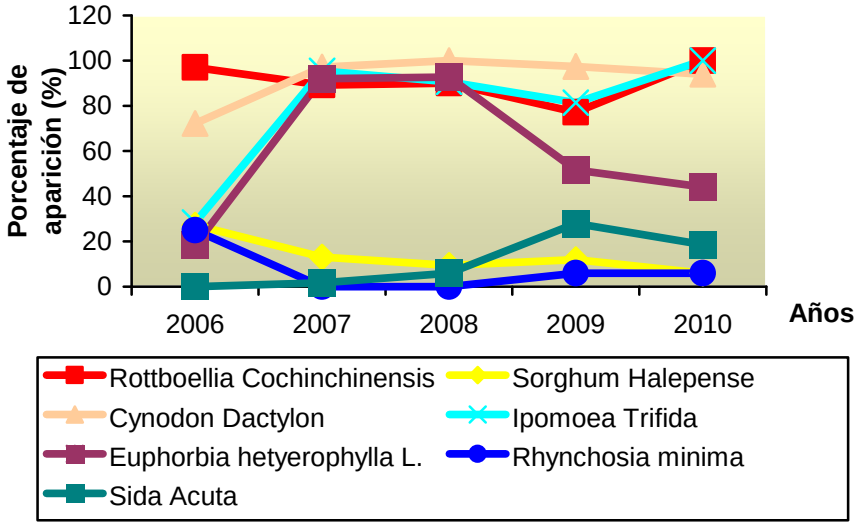


Figura 2.- Porcentaje de aparición de las malezas dominantes por años.

Las malezas se clasificaron según su frecuencia o porcentaje de aparición teniendo en cuenta los siguientes criterios (Figura 2).

- Accidentales: < del 25 %
- Poco frecuente: 25 – 49 %
- Medianamente frecuente: 50 – 74 %
- Muy frecuente: > del 75 %

Al evaluar la frecuencia de aparición en el quinquenio se clasificaron como muy frecuente la Zancaraña con 5 años, seguido de Hierba fina y Bejuco aguinaldo 2007-2010 mientras que en el 2006 fueron medianamente frecuente y poco frecuente respectivamente; la Hierba lechosa transitó por todos los criterios de evaluación siendo muy frecuente en los años 2007-2008; el Don Carlos se presentó de forma accidental en 4 años y uno poco frecuente, mientras que Malva de caballo estuvo accidental en 3 y uno poco frecuente; la maleza menos invasora resultó ser el Bejuco culebra que estuvo de forma accidental en solo 3 de los años de estudio.

La dinámica de distribución de las malezas en los años de estudio se representan en la figura 3 a través de su distribución espacial de las especies en los mapas originados por el Mapinfo, donde se muestran los años 2006 y 2010, de forma similar se realizaron los mapas correspondientes a los años 2007-2009, lo que nos permitió ubicar el lugar exacto en donde se encontraban dichas especies, así como la diversidad de estas en cada bloque cañero de la unidad Manuel Sánchez.

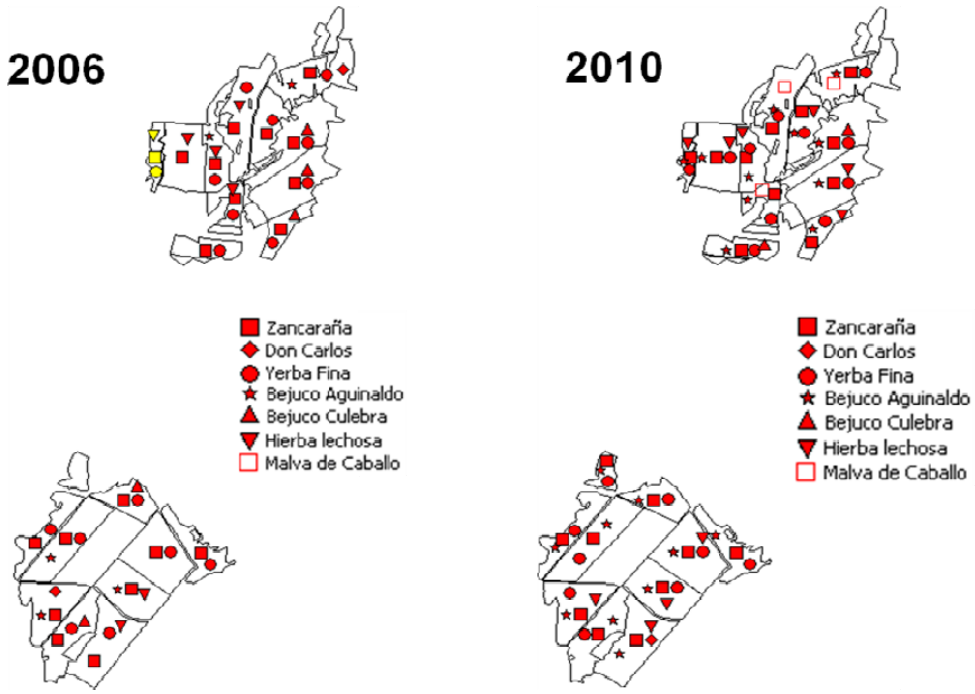


Figura 3.- Distribución espacial de las especies, años 2006 y 2010.

En la dinámica de distribución de las malezas dominantes a través de los mapas, se observa que estas varían indistintamente en el tiempo, es decir, que su manejo a través de las actividades de control integral de malezas no se corresponde con los avances que tiene la unidad en cuanto a las acciones ejecutadas por el SERCIM en los años de estudio (tabla I) como son: la capacitación, visitas, recorridos, montaje de lote control y la inclusión en el programa Bayer CropScience; lo que hace suponer que existen otros factores que no permiten establecer la relación entre el conocimiento adquirido y las prácticas de manejo.

Conclusiones

- La encuesta de malezas nos permitió conocer que en la UBPC “Manuel Sánchez” habitan 15 especies de malezas, representadas por 13 géneros y 9 familias botánicas, donde se destacan las Poaceae en un 66.6%, con predominio de las arvenses de ciclo de vida perenne y clase dicotiledóneas sobre las anuales monocotiledóneas.
- En la unidad productora se reportaron 7 arvenses dominantes y de ellas 4 malezas problemas que persisten en los 5 años de estudio: Zancaraña, Don Carlos, Hierba fina y Bejuco Aguinaldo.
- La maleza clasificada como muy frecuente fue la Zancaraña, por presentar frecuencia de aparición mayor al 75%, mientras que el Bejuco culebra se clasificó como accidental por estar menos del 25%.

- La herramienta utilizada del Sistema de Información Geográficas (SIG) Mapinfo nos permitió representar a través de mapas, la dinámica de distribución de las malezas en el macizo cañero de la Unidad Productora “Manuel Sánchez”.

Recomendaciones

- Realizar la encuesta de malezas en cada bloque cañero, para conocer la flora que compite con el cultivo y emplear la base de conocimientos del PCMalezas para la toma de decisiones.
- Utilizar las recomendaciones del Servicio de Control Integral de Malezas como herramienta de trabajo.

Referencias

- Anderson, W.P. (1983). Weed Science Principles. II edn West Publishing Company, St.Paul, pp. 655.
- Akobundu, I.O. (1987). Weed Science in the Tropics Principles and Practices. John Wiley & Sons, Chichester, 522 pp.
- Álvarez, A. (1997). La atención a los retoños es determinante. *En* Revista Cañaveral. Vol. 3. No. 4. Octubre-Diciembre. ISSN: 1026-0781.
- Arévalo, R. A. y Bertoncini, E. I. (2005). Manejo sostenible de especies de malezas en *Saccharum* spp. *En* XVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de las Malezas (ALAM). Noviembre. Matanzas. Cuba.
- Gupta, O.P. y P.S. Lamba. (1978). *Modern Weed Science*. Today and Tomorrow's Printers & Publishers, New Delhi, 481 pp.
- Guerra, Esther y Pérez, Clarisbel. (1995).Evaluación de los niveles de enyerbamiento de la UBPC “Cabañas”. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de Bayazo. M. N Granma.
- González, Lara, Z. (2011). Comportamiento de las malezas, frente a diferentes formulaciones de herbicidas en la CPA “21 de Septiembre”. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo. Ministerio de Educación Superior.
- Rao, V. S. (1983). Principles of Weed Science. Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi, 541 pp.
- Sen, D.N. (1981). Ecological Approaches to Indian Weeds. Geobios International, Jodhpur, 301 pp.
- Schlesselman, J.T., G.L. Ritenour y M.M.S. Hile. 1985. Cultural and Physical Control Methods. En: K. Moody (Ed.) *Principles of Weed Control in California.* Thompson Publications, Fresno, pp. 35-49.
- Stay, María Elena y Barrera, Marta. (1995). Malezas asociadas al cultivo de la caña de azúcar. *En* Revista Cañaveral. Vol. 4. No.1.Enero-Marzo. p.28- 30. ISSN: 1026-0781.
- PCMalezas (2006-2010) Versión 4.1.1. Programa para el Control de Malezas en Caña de Azúcar. Departamento de Agronomía. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Editado por Juan Carlos Díaz.
- PCMalezas (2010) Versión 4. 4.0. Manual de Usuario. Programa para el Control Integral de Malezas en Caña de Azúcar. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Rodríguez, Y.; Martín, G., Casael S. Anache y Montero, Beatriz. (2009). Empleo de un sistema de información geográfica para el control de malezas en caña de azúcar**.** Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Holguín. *En* Jornada Científico-Productiva 45 Aniversario del INICA. Florida, Camaguey. ISSN1028-6527

ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA UN IMPORTANTE INDICADOR FISIOLÓGICO PARA MEDIR EL APROVECHAMIENTO DE LA LUZ SOLAR POR LA CAÑA DE AZÚCAR

SPECIFIC LEAF AREA AN IMPORTANT PHYSIOLOGIC INDICATOR TO MEASURE THE USE OF THE SUN LIGHT FOR THE SUGAR CANE

MSc Isabel Torres[1], Félix Valladares[1], MSc Joaquín Montalvan[1], MSc Arlandy Noy[1], Yoslen Fernandez[1], Oscar Cervantes[1]Magalys Padrón[1], Carmen Díaz[1] e Iraida Quiñones[1].

1-Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Centro –Oriental Camagüey
E-mail: ***itorres@eticacm.azcuba.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–AZCUBA), 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 calculo un indicador de desarrollo, Área Foliar Específica, en edades que oscilaron según la fecha de plantación entre los 279 y los 480 días.
De modo general el cultivar C1051-73 se identifica como la de menor Área Foliar específica, lo que resulta de láminas foliares más gruesas. Las hojas gruesas poseen la máxima absorción de la luz con un más bajo porcentaje de luz trasmitida, es decir luz que atraviesa la hoja, mientras que las hojas más delgadas absorben menos luz y tienen un porcentaje mayor de luz trasmitida, por lo que esta variedad es más eficiente en el proceso de fotosíntesis y por extensión favorece el medio ambiente porque se reduce el CO_2 atmosférico, elevando la fijación de CO_2 está asociada a una menor actividad respiratoria. La época de plantación y la etapa en la que se desarrolla el ciclo de la planta no tuvieron efecto sobre indicador estudiado (Área Foliar Específica), así como otras características relacionadas con la edad y los ciclos de plantación.

Palabras clave: Área foliar específica, variedades, fotosíntesis.

ABSTRACT

Taking as experimental base two trials of field located in the Experiment Station of Sugarcane research of Camagüey (INICA–AZCUBA), carried out with periodic sampling the growth analysis in three commercial sugarcane varieties: C1051, 73, My5514 and C86, 12, for it calculate an indicator of development, specific leaf area, in ages that oscillated according to the plantation date between the 279 and the 480 days.
The variety C1051-73 is the smaller specific leaf area, which results leaf lamines more thick. The thick sheets possess the maximum absorption of the light with a more below percentage of transmitted light, that is to say light that goes through the sheet, while that the more thin sheets absorb less light and have a major percentage of transmitted light, for which this variety is more efficient in the photosynthesis process and for extension favors the atmosphere because reduce of the CO_2 atmospheric, this high fixation of CO_2 is become a partner of a smaller respiratory activity. The time of plantation and the stage developing the cycle of the

plant not had effect on indicating specific leaf area as well as other related characteristics with the age and the plantation cycles.

Key Words: Sugar cane, specific leaf area, variety, photosynthesis.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, gran parte de la investigación sobre la caña de azúcar es llevada a cabo por entidades que son financiadas por cultivadores de caña. Su interés en la fisiología de plantas, y particularmente en el crecimiento y desarrollo, se dirige principalmente a adquirir conocimientos que puedan contribuir a mejores variedades y manejos del cultivo.

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.

Armas y otros, (1988); Ortega y otros (1989); Vázquez y Torres (1995), refieren que todo trabajo de selección e investigación 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 como la productividad de una planta está dada por el balance entre la síntesis (fotosíntesis) y la degradación (respiración).

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.

La naturaleza nos brinda de manera espontánea recursos tan importantes para el desarrollo de una plantación como el agua, la temperatura y la luz, que la mayoría de las veces no consideramos, en favor de la costosa y muchas veces contaminante aplicación de fertilizantes minerales. Una adecuada estrategia en el manejo cultural de las variedades podría, llevarnos a un mejor aprovechamiento de estos factores naturales, estimulando con ello una mayor expresión del potencial agrícola y azucarero de los cultivares disponibles.

El objetivo del presente trabajo se centra en:

- Determinar el comportamiento del indicador de desarrollo área foliar específica relacionado con la con el proceso de fotosíntesis y por ende la producción de sacarosa.

MATERIALES Y METODOS

Características de la localidad experimental

El trabajo se realizó en la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Centro - Oriental, situada en el municipio Florida, sobre un suelo Pardo con carbonato, según segunda clasificación genética de los suelos de Cuba descrita por Hernández, Ascanio, y Morales (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, situación geográfica determinada por el 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 ETICA.

Diseño.
Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con tres réplicas y parcelas convencionales de 48 m^2 de superficie (4 surcos de 7,5m y distancia entre hileras de 1,60 m), tanto en la etapa de primavera como de frío. Se evaluó en cada caso sólo la cepa de caña planta. Fueron utilizados como material biológico tres variedades comerciales de amplia extensión comercial: C1051-73, C86-12 y My5514.

Se realizaron muestreos periódicos a 8 edades diferentes, 279(~9,3 meses), 300 (~ 10 meses), 341(~ 11,4 meses), 367 (~ 12,2 meses), 394 (~13,1 meses), 421(~ 14 meses), 456(~15,2 meses) y 480 (~16 meses), en cada caso se tomaron 5 tallos al azar por parcela, calculamos el área de todas las hojas por tallo siguiendo la metodología propuesta por Lerch y otros (1977). Para obtener por sumatoria el área total / tallo. Por otra parte se determinó la masa seca de las láminas de las hojas activas, por medio de una balanza técnica; las variables área foliar y masa seca conforman la información básica par los cálculos posteriores.

Determinación del Indicador área foliar específica
Este indicador se acepta como una medida de la densidad o del espesor relativo, porque trata de la relación entre el área de las hojas y su masa seca, según Hunt (1990), por lo que nos puede servir para estimar su espesor; es conocido que su incremento significa una disminución en el espesor y viceversa, de acuerdo con los resultados de Ortega y otros (1989).

Se consideraron hojas activas aquellas que tenían más del 50% del tejido vivo. Se determinó la masa seca de las láminas y vainas de las hojas activas las que se secaron en una estufa a 105 ^{0}C hasta alcanzar peso constante.

Se determinó el área foliar específica según Kvet y otros (1979) calculándose de la forma siguiente.

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 con más del 50% del tejido vivo (cm^2).
- Wh = Masa seca de las láminas de un individuo (g).

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 Tukey a través del programa automatizado SPSS/PC (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Área foliar específica (SLA)
Se observaron diferencias varietales de este indicador, que favorecen a la variedad My5514, que aunque no difiere de C86-12, si resulta superior a C1051-73 (**Tabla I**), quizás debido a la influencia de las grandes

hojas de My5514 la que mantiene además un tamaño estable de sus hojas entre los 300 y 550 días de edad, lo que coincide con resultados anteriores obtenidos por Lerch y otros (1977).

Tabla I: Comportamiento del área foliar específica expresada en cm^2g_{hojas}-1., resultados del análisis de varianza y comparación de medias según prueba de rango múltiple de Tukey (p<0.01)

				Variedades			
C1051-73			**My5514**			**C86-12**	
56.18^{b}			67.21^{a}			64.22^{a}	
			Ciclo de plantación				
		Primavera				**Frío**	
		$62.75^{n.s}$				$62.33^{n.s}$	
			Edades				
279	**300**	**341**	**367**	**394**	**421**	**456**	**480**
56.41^{bc}	69.97^{a}	57.08^{bc}	71.77^{a}	50.91^{c}	64.20^{ab}	65.73^{ab}	64.24^{ab}

ns: no significativo (ANOVA)**: Significativo (p<0.01)
cv: 10.14% $\bar{x}$: 62.25 $S\bar{x}$: 3.64

En la **Tabla I** se representan las medias procedentes de las mediciones en las diferentes edades en que se realizaron los muestreos. Se distinguen dos valores de este indicador a los 300 y 367 días como los más altos, las oscilaciones de una evaluación a otra van desde 50.91 $cm^2g_{\ hoja}^{\ -1}$ hasta 71.77 $cm^2g_{\ hoja}^{\ -1}$. Por su parte la época de siembra no influye en los valores que alcanza este indicador**,** ya que no hay diferencias estadísticas entre ambos ciclos de plantación.

Los resultados identifican a la variedad C1051-73 como la de menor SLA, lo que le confiere además que tiene láminas foliares algo más gruesas, con todos los atributos que desde el punto de vista fisiológico esto le confiere; por lo que esta variedad es más eficiente en el proceso de fotosíntesis, de manera que se incrementa la fracción destinada al producto agronómico, que en este caso es la sacarosa, se corresponde con una mayor actividad fotosintética y por extensión favorece el medio ambiente porque aumenta la reducción del CO_2 atmosférico, esta elevada fijación de CO_2 está asociada a una menor actividad respiratoria, esta característica tiene una gran relación con el alto potencial azucarero de la variedad C1051-73. Las hojas gruesas poseen la máxima absorción de la luz con un más bajo porcentaje de luz trasmitida, es decir luz que atraviesa la hoja, mientras que las hojas más delgadas absorben menos luz y tienen un porcentaje mayor de luz trasmitida, según lo descrito por Vázquez y Torres (1995). Estos resultados tienen un fuerte componente varietal que implica cambios en la producción de los productos de la fotosíntesis de manera que se incrementa la fracción destinada al producto agronómico, que en este caso es la sacarosa, se corresponde con una mayor actividad fotosintética.

El análisis de la dinámica del área foliar específica (SLA) en cada ciclo **(Figura 1),** según edades y épocas de siembra arroja de modo general una marcada similitud entre variedades, por otra parte se observa una tendencia al ascenso en la primavera desde los 421 y hasta los 480 días de plantadas, el frío tiende a declinar al período del período evaluativo. Estos resultados se producen porque aunque las edades coinciden, las épocas no, de aquí el que sigan trayectorias o tendencias gráficas diferentes, lo que en modo alguno contradice el hecho de que el valor de las medias del indicador analizado muestre cifras, que en el contraste estadístico queden compensadas, con la ausencia de diferencias biométricas

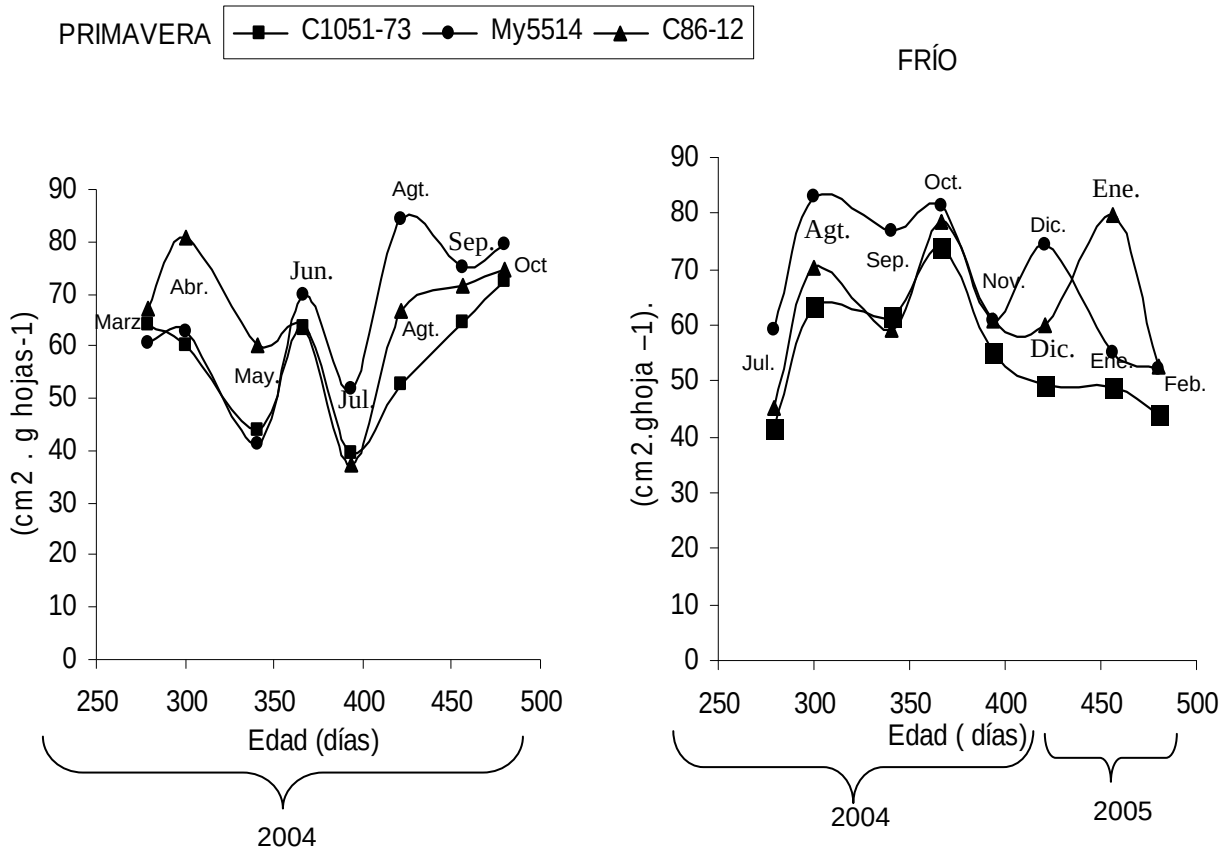


Fig. 1. *Variación temporal de los valores del* ***área foliar específica****, para cada variedad (C1051-73, My5514 y C86-12), plantadas en dos ciclos, primavera (junio de 2003) y frío (octubre de 2003).*

La comparación múltiple de medias **(Tabla 2)** no concuerda con los resultados de Ortega y otros (1989), cuando observaron de modo general una disminución de este indicador con la edad, en nuestro caso ligeras diferencias estadísticas parecen indicar una muy poca influencia de la edad en la evolución en el tiempo de este indicador, lo que se puede interpretar también como un mantenimiento del grosor de las hojas de estas variedades casi de modo uniforme a través del ciclo de evaluaciones**.**

Tabla 2: Resultados del área foliar específica expresada en cm^2g_{hojas}-1 al analizar las interacciones de primer orden Tukey (p<0.01).

	Variedad		
Ciclo de plantación	**C1051-73**	**My5514**	**C86-12**
Primavera	57.65 ^{ab}	65.37 ^{ab}	65.23 ^{ab}
Frío	54.72 ^{b}	69.05 ^{a}	63.22 ^{ab}

	Edad							
Ciclo de Plantación	**279**	**300**	**341**	**367**	**394**	**421**	**456**	**480**
Primavera	64.05^{bcde}	67.80^{abcd}	48.39^{fg}	65.63^{abc}	42.89^{g}	67.28^{abcd}	70.33 ^{acdd}	75.57 ^{ab}
Frío	48.76^{fg}	72.14 ^{abc}	65.75 ^{abd}	77.90^{a}	58.91^{def}	61.11^{cde}	61.12^{cde}	52.89^{efg}

	Edad							
Variedad	**279**	**300**	**341**	**367**	**394**	**421**	**456**	**480**
C1051-73	52.92^{fghi}	61.80^{cdefgh}	52.68^{fghi}	68.76^{abcde}	47.24^{i}	51.01^{ghi}	56.72^{efghi}	58.29^{defdg}
My5514	60.07^{defghi}	72.73^{abc}	59.00^{defgh}	75.60^{ab}	56.30^{efghi}	78.20^{a}	64.92^{bcdef}	70.81^{abcd}
C86-12	56.22^{efghi}	75.38^{ab}	59.24^{defghi}	70.94^{abcd}	49.16^{hi}	63.39^{bcdefg}	75.53^{ab}	63.60^{bcde}

Letras desiguales difieren significativamente cv: 10.14 % $S\bar{x}$ interacción variedad x ciclo: 1.28

$S\bar{x}$ interacción variedad x edad: 2.57 $S\bar{x}$ interacción ciclo x edad: 2.10

CONCLUSIONES

1. De modo general el cultivar C1051-73 se identifica como la de menor área foliar específica, lo que resulta de láminas foliares más gruesas aspecto que tiene una gran relación con la eficiencia de esta variedad en el proceso de fotosíntesis y por extensión favorece el medio ambiente porque aumenta la reducción del CO_2 atmosférico, esta elevada fijación de CO_2 está asociada a una menor actividad respiratoria, lo que justifica el alto potencial azucarero de esta variedad.
2. La época de plantación y la etapa en la que se desarrolla el ciclo de la planta no tuvieron efecto sobre indicador estudiado (área foliar específica).

RECOMENDACIONES

1. Medir la intensidad luminosa en relación al indicador área foliar específica, para evaluar la actividad fotosintética neta en las variedades estudiadas y en condiciones naturales.
2. Utilizar en el proceso de selección de nuevos cultivares de caña de azúcar, el indicador estudiado, ya tienen una significativa influencia en el rendimiento agrícola y azucarero de las variedades estudiadas.

REFERENCIAS

- Armas de, R.; Ortega, E.; Rodés, R. (1988): Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y educación. La Habana. 323 pp.

- Hernández, J.; Ascanio, A. y Morales, M. D. (1999). Nueva versión de Clasificación genética de los suelos. MINAG. Cuba. Universidad de Biología Agropecuaria. Veracruz. México.
- Hunt, R. (1990): Basic Growth Analysis. Published by the academic Division of Unwin Hyman Ltd. London. 110 pp.
- Instituto de Meteorología (1987). Datos climáticos de la provincia de Camagüey (mecanografiado) Inédito
- 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 índice refractométrico (Brix) en seis variedades destacadas de caña de azúcar. Ciencias de la agricultura 1:79-105.
- 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
- Vázquez, B.; Torres S.(1995): Fisiología Vegetal, Editorial Pueblo y educación, La Habana, 444. Pp

TITULO: DISEÑO DE UN PLAN DE ACCIÓN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE EXTENSIÓN AGRÍCOLA EN LA UNIDAD EMPRESARIAL DE BASE DOS RÍOS.

TITLE: DESIGN OF A STRATEGIC ACTION PLAN FOR THE ADMINISTRATION OF THE SYSTEM OF AGRICULTURAL EXTENSION IN THE MANAGERIAL UNIT BASE OF DOS RIOS.

Autores: MSc. Ledisliana Vazquez Lopez[1], Ing.Yoel del Toro Come[2], Dr.C Reynaldo Rodríguez Gross[1], MSc. Nilda Lora Reyes[1], Ing. José Manuel Cabrera[1], Lic.Iliana García Leyva[1]

1. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar "Oriente Sur" (ETICA "Oriente-Sur"), Cuba.
2. Unidad de Atención a los productores Dos Ríos. ledisliana@etica.ciges.inf.cu, derivados@dosrios.azcuba.cu, reynaldo@etica.ciges.inf.cu, nlora@etica.ciges.inf.cu, jmcabrera@etica.ciges.inf.cu, iliana@etica.ciges.inf.cu

RESUMEN

Con el objetivo de diseñar un plan de acción estratégico del sistema de Extensión Agrícola en la UEB de atención a los productores "Dos Ríos", que contribuya a la recuperación integral de la agricultura cañera, incrementando los rendimientos por área, la calidad de la producción de caña, la vida de los productores y su familia. Se desarrolló una investigación en la Unidad Empresarial de Base de atención a los productores "Dos Ríos" municipio Palma Soriano, provincia Santiago de Cuba. En el período comprendido desde junio 2011- abril 2012. El trabajo se inició con el Diagnóstico Participativo. Se empleó como base la metodología del Manual de Procedimientos del Sistema de Extensión Agrícola para la Caña de Azúcar en Cuba, el que permitió determinar las limitantes técnico-productivas; posteriormente se realizó el taller participativo y se confeccionó el plan de acciones para dar solución a las limitantes detectadas. El análisis estadístico empleado fue la Matriz de Vester, para clasificar las limitantes en problemas críticos, activos, pasivos e indiferentes. El Diagnóstico Participativo permitió determinar 13 limitantes técnico- productivas de la Unidad Empresarial de Base "Dos Ríos" que inciden en la disminución del potencial agroproductivo del cultivo de la caña de azúcar. La Matriz de Vester permitió determinar la clasificación de las variables cualitativas y tipificar los problemas, de acuerdo al tipo de relación existente. El plan de acción permitió elaborar acciones concretas para dar solución a las limitantes detectadas, lo que permitirá incrementar los rendimientos agrícolas en la Unidad Empresarial de Base Dos Ríos.

Palabras clave: Diagnóstico participativo, caña de azúcar, plan de acción

ABSTRACT

With the objective of designing a strategic action plan of the system of Agricultural Extension in the UEB from attention to the producers "Dos Ríos" that contributes to the integral recovery of the sugarcane agriculture, increasing the yields for area, the quality of the cane production, the life of the producers and their family. An investigation was developed in the Managerial Unit of Base of attention to the producers "Dos Ríos" municipality Palm Soriano, county Santiago of Cuba. In the period understood from June 2011 - April 2012. The work began with the Participatory Diagnostic. It was used like base the methodology of the Manual of Procedures of the System of Agricultural Extension for the Sugar Cane in Cuba, the one that allowed to determine the restrictive ones technician-productive; later it carried out the shop participatory and the plan of actions was made to give solution to the restrictive ones detected. The statistical analysis employee was the Womb of Vester, to classify the restrictive

ones in critical, active, passive and indifferent problems. The Participatory Diagnostic allowed determining 13 obstacles technical - productive of the Managerial Unit of Base “Dos Ríos” that they impact in the decrease the potential of productive agriculture of the cultivation the sugar cane. The Womb of Vester allowed determining the classification of the qualitative variables and tipificar the problems, according to the type of existent relationship. The action plan allowed to elaborate concrete actions to give solution to the restrictive ones detected, what will allow increasing the agricultural yields in the Managerial Unit of Base “Dos Ríos”.

Key words: Participatory diagnostic, sugarcane, action plan

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar ha ocupado un lugar destacado en el desarrollo de nuestro país, sin embargo la situación político - económica mundial, particularmente en la industria azucarera, le ha impuesto a Cuba un cambio radical de agricultura de corte industrial de altos insumos a una agricultura sostenible de bajo impacto provocando una brusca depresión de los rendimientos por área (Cuellar *et al*., 2003). Muchas pueden ser las causas atribuidas al lento despegue productivo, pero sin dudas una de las fundamentales es que los directivos, principalmente a nivel de base, no han asimilado el cambio en el modelo agrícola, con organización, estrategias y tecnologías diferentes (Concepción, 2006). El grupo nacional AZCUBA ha considerado entre los aspectos decisivos, que forman parte de la batalla por la eficiencia, la motivación y la estabilidad de los productores cañeros de Cuba, la Extensión Agrícola” (MINAZ, 2000). Quintero (2001), señalan la Extensión Agrícola es la tarea que facilita la introducción de nuevas tecnologías y la adopción de prácticas productivas que le permitan al productor conocerlas, utilizarlas y tomar sus propias decisiones en el momento oportuno (Zambrano, 2008). El procedimiento general que toma la Extensión Agrícola en el cultivo de la caña es un procedimiento marcadamente interactivo. De las visitas de asistencia técnica (AT) y los diagnósticos participativos (DP) que se realizan en las mismas por los equipos multidisciplinarios, se derivan las insuficiencias que están frenando el proceso productivo en dicha zona de producción.

En la última década del siglo XX y los inicios del XXI el rendimiento agrícola del cultivo de la caña de azúcar ha sido afectado considerablemente por diferentes causas. En la provincia de Santiago de Cuba ha encontrado condiciones adversas para los bajos rendimientos agrícolas e industriales como, despoblación, mala preparación de suelos, bajas precipitaciones, mala composición de cepas e indisciplinas tecnológicas desde la preparación de la semilla hasta la obtención del crudo, siendo afectada la Unidad Empresarial de Base de atención a los productores Dos Ríos que por tradición ha reportado rendimientos por encima de las 50 $t.ha^{-1}$, con descenso significativo en los años 2005 ,2006, 2010 y 2011 de 19.58, 24.22, 28.56 y 32.93 $t.ha^{-1}$ respectivamente (Fuentes, 2012).

Por lo que el objetivo general del trabajo es diseñar un plan de acción estratégico del sistema de Extensión Agrícola en la UEB de atención a los productores “Dos Ríos”, que contribuya a la recuperación integral de la agricultura cañera, incrementando los rendimientos por área, la calidad de la producción de caña, la vida de los productores y su familia.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio se realizó en todas las unidades de la Unidad Empresarial de Base de atención a los productores “Dos Ríos” municipio Palma Soriano, provincia Santiago de Cuba. En el período comprendido desde Junio 2011- Abril 2012.

Diagnóstico Participativo. Encuesta a productores.

Para la realización del diagnóstico se empleó la metodología del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), para el sistema de Extensión Agrícola, su puesta en marcha se llevó a cabo mediante encuesta

utilizando la técnica participativa a partir de visitas, entrevistas (individuales) y recorridos a todas las Unidades de Producción.

Determinación de las limitantes técnico-productivas, económicas y organizativas.

Una vez concluida el diagnóstico participativo, se procedió a determinar por el grupo multidisciplinario las limitantes técnico- productiva, económicas y organizativas que incidieron en cada unidad (Zumeta *et al.*, 2001).

Análisis estadístico de las variables.

A partir de los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos durante la investigación, fue llevado a cabo un análisis estadístico con técnicas adecuadas al Sistema de Extensión Agrícola de la Caña de Azúcar, donde se aplicó la Matriz de Vester para identificar y determinar la relación causa efecto de una situación problema.

Para cada factor se calculó la suma activa (SA), que indica la intensidad de la influencia del factor en relación a los otros y la suma pasiva (SP), que indica la intensidad (relativa) que tienen los demás factores sobre ese factor de acuerdo con el siguiente criterio:

0 ⇒ No es causa.
1 ⇒ Es causa indirecta.
2 ⇒ Es causa medianamente directa.
3 ⇒ Es causa muy directa.

Los problemas fueron clasificados de acuerdo a su actividad o pasividad en: activos, pasivos, críticos e indiferentes. La forma de presentar los resultados fue mediante un gráfico de XY donde se representan las variables contra el total activo y el total pasivo. El gráfico de Vester se confecciona ploteando las variables de acuerdo con sus totales activos (X) y pasivos (Y) para posteriormente formar 4 cuadrantes el 1ro, variables activas; el 2do, variables críticas; el 3ro, variables pasivas y el 4to, variables indiferentes (Almarales *et al.*, 2006).

Confección del plan de acción.

Para elaborar el plan de acción se realizó el Taller Participativo, se confeccionaron las presentaciones en pancartas con las limitantes detectadas y de conjunto se confeccionó el mismo para cumplir a corto, mediano y largo plazo. El plan de acción se elaboró en función de las necesidades y condiciones objetivas de cada unidad productora, además, el grupo de trabajo propuso soluciones que desconocían los productores, su nivel de ejecución y que eran factibles de utilizar, se propuso finalmente ampliar el espectro de las soluciones con métodos extensionistas, a la vez que se aumentó el nivel cognoscitivo de los productores a través de la capacitación técnica oportuna y recurrente.

Al concluir el taller participativo por unidad se realizó el Macro diagnóstico o Diagnóstico Participativo a nivel de la Unidad Empresarial de Base, analizando las limitantes técnico- productivas detectadas en cada una de las unidades y la ejecución de un Taller Participativo Empresarial con el 100% de los miembros de la Junta Directiva, trabajadores destacados y productores representativos según las características de cada unidad, llegando hasta la confección del Plan de acciones de la Unidad Empresarial de Base, a partir del orden jerárquico de las limitantes con el mismo procedimiento realizado en las unidades productoras cañeras con el propósito de ser utilizado como herramienta de trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los estudios preliminares que se realizaron en la unidad básica de atención a los productores “Dos Ríos”, demostraron que la disminución del potencial agro productivo de las áreas cañeras y la fluctuación de los rendimientos se debían a diversas causas, dentro de las que se pueden mencionar: no realización de las actividades culturales en el momento oportuno al cultivo de la caña de azúcar; altos porcentajes de enyerbamientos; despoblación, deficiente atención cultural y agrícola a los retoños e inadecuada composición de cepas y variedades.

Resultado del Diagnóstico Participativo

Limitantes técnico-productivas.

A partir de los métodos utilizados se determinaron 13 limitantes técnico- productivas, las que se originaron a partir del porcentaje de incidencia del total de unidades. Las limitantes que se detectaron fueron las siguientes:
1. Despoblación
2. Mala calidad de la semilla
3. Mala preparación de suelo
4. Mala calidad de las labores agrícolas.
5. Incendio en la población cañera
6. Poca disponibilidad de implementos agrícolas y equipos.
7. Mala composición varietal.
8. Exceso de pérdidas en siembra.
9. Falta de drenaje.
10. Mala calidad de la siembra.
11. No acondicionamiento del área mecanizada.
12. Compactación de los suelos.
13. Incumplimiento de la cadena de semilla.

Los problemas detectados muestran la necesidad de explotar con más frecuencia y en su totalidad los métodos del sistema de Extensión Agrícola como una vía para elevar los conocimientos y habilidades necesarias para que los agricultores, al aplicarlos, mejoren la eficiencia de la producción agrícola, aumentando la productividad y sus niveles de vida.

De forma general estas limitantes son las más frecuentes en todas las unidades, las que conformaron las limitantes técnico-productivas de la empresa, coincidiendo en algunos casos con los problemas actuales que afectan el rendimiento en la provincia Santiago de Cuba.

Resultados similares obtuvieron Corvisón *et al.*, (2003), en la provincia de Camagüey, al realizar un diagnóstico en las 15 empresas pecuarias de 11 Municipios el cual mostró los principales problemas de la ganadería. Al concluir el diagnóstico se empleó técnicas combinadas de extensión y se introdujeron más de 10 tecnologías que tributaron al incremento de la producción de leche y carne en la provincia

Clasificación estadística de las variables. Tipificación de los problemas.
El análisis estadístico cualitativo de las limitantes técnico-productivas determinadas en el Diagnóstico Participativo se presenta en el gráfico de Vester (figura 1).

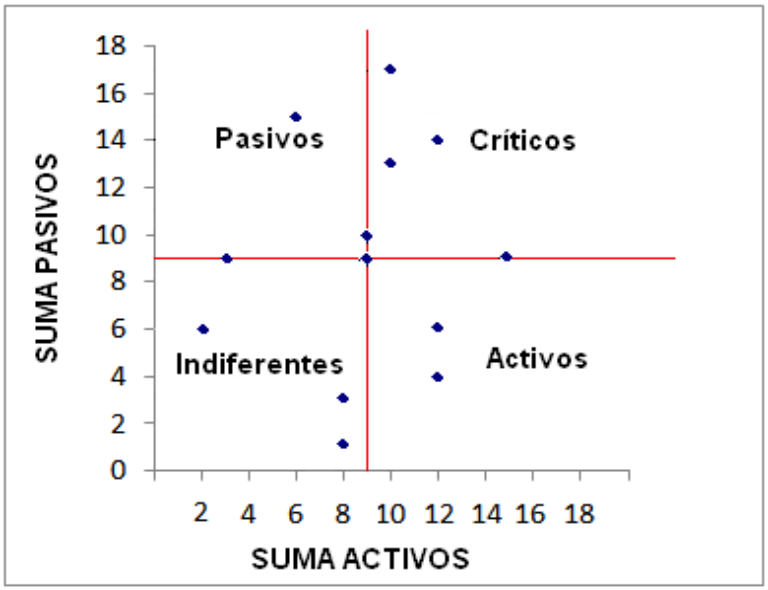


Figura 1. Gráfico de Vester.

Clasificación de las limitantes técnico-productivas según el Gráfico de Vester.

Problemas críticos: Estos problemas tienen muchas causas y muchos efectos.

1. Despoblación.
2. Mala preparación de suelo.
3. Mala calidad de las labores agrícolas.
4. Exceso de pérdidas en siembra.
5. Mala calidad de la siembra.
6. Incumplimiento de la cadena de semilla.

Estos problemas tienen una marcada influencia en los bajos rendimientos agrícolas como son la calidad de la siembra y las labores agrícolas; todavía los obreros no asimilan que sembrar con calidad no es un gasto sino una inversión, hasta que no lo interioricen, no se resolverán estos problemas. Lo anteriormente expuesto es corroborado por diferentes autores como Barrera (2008), al coincidir en estudios con similares problemas críticos, como la despoblación, mala preparación de suelo, mala calidad de las labores agrícolas y la mala calidad de la siembra.

Problemas activos: Son los que influyen mucho sobre los demás pero que no son causados por otros.

1. Mala calidad de la semilla
2. Poca disponibilidad de implementos agrícolas y equipos.

De forma general estas limitantes inciden en los rendimientos agrícolas del cultivo de la caña de azúcar, al no seleccionar correctamente el material a sembrar y en muchos casos no provienen de la cadena de semilla.

Sulroca (2002), en estudios similares determinó que la inestabilidad del suministro en tiempo de los insumos básicos y la tendencia creciente en los precios del combustible y otros insumos, la falta de fertilizantes y herbicidas en los momentos necesarios incidieron en la atención oportuna de las plantaciones.

Problemas pasivos: Son aquellos que representan problemas que no influyen sobre los demás pero que son causados por muchos otros.

1. Compactación de los suelos
2. Mala composición varietal

Una adecuada composición de cepas y variedades permite ordenar la época de siembra y cosecha sin que exista un pico de labores, facilita además el manejo de las variedades teniendo en cuenta su resistencia y susceptibilidad a plagas y enfermedades y tener de paso disponibilidad de variedades para las diferentes condiciones de producción (MINAZ, 2000).

Problemas indiferentes: Son los que representan los problemas de baja prioridad en el contexto global del sistema analizado y se relacionan mayormente con la mala administración y suministro de insumos.
1. Incendio en la población cañera.
2. No acondicionamiento del área mecanizada.
3. Falta de drenaje.

Es difícil medir los daños que la quema de caña provoca, pero tiene un efecto reconocido en la degradación de los suelos al eliminar los residuos del suelo facilitando la erosión, el crecimiento de las malas hierbas y la pérdida de la humedad (INICA, 2001).

Taller Participativo. Confección del Plan de Acciones.
El Taller Participativo fue la actividad post-diagnóstico, las 13 limitantes originaron 45 actividades a ejecutar en el plan de acciones de la UEB (tabla I). Las actividades concretas e inmediatas que se muestran, se tuvieron en cuenta para la solución estratégica a realizar. Se desglosan en el plan de acción, detallándose, qué, cuándo y quiénes, deben priorizarse para lograr el objetivo deseado y las que se llevarán a cabo a corto, mediano y largo plazo.

Tabla I.- Plan de acción de las limitantes técnico productivo de la UEB "Dos Ríos".

Lim. No.	Actividades	Período de solución	Participantes	Responsable
1	1. Aumentar los niveles de resiembras.	Corto	Obreros, J´Lote, J' Prod.	J´Lote, J' Prod, T´Integral, J' U.P.C
	2. Siembra de calidad en el momento oportuno y con semillas aptas.	Corto	Obreros, T´. Integral, J' Prod	J' Prod, T´Integral, J' U.P.C
	1.3 Utilizar para la siembra semilla de 9 – 11 meses.	Corto	Obreros, T´. Integral, J' Prod	J´Lote, J' Prod.
	1.4 Fomentar grupos de resiembra especializados.	Corto	J' Prod	J' Prod.
	1.5 Aumentar la altura de narigón para el cultivo mecanizado.	Mediano	J' Prod	J' Prod.
	1.6 Organizar brigadas de resiembra.	Corto	Obreros, T´. Integral, J' Prod	J' Prod, J´Lote, J´UPC
	1.7 Acondicionamiento de las áreas.	Corto	Obreros, T´. Integral, J' Prod	J' Prod, J´Lote, J´UPC
	1.8 Capacitar al personal vinculado a la actividad.	Corto	Obreros, J´Lote, activistas de extensión agrícola	J' Prod, J´Lote, T´Integral
2	2.1 Utilizar semilla perteneciente a la cadena.	Corto	J' de UPC, Esp. SERVAS UEB.	J´Lote, J' Prod
	2.2. Montaje de los jardines de variedades a nivel de UPC.	Mediano	J' de Prod. Espec UEB, activistas de extensión agrícola	J' Prod y activistas de extensión UPC, J´Lotes
	2.3 Velar por la calidad y exigencia de la semilla y en la actividad de la siembra.	Corto	J´Lote,T´Integral, J'UPC	Administrador UPC
	2.4 Certificación de la semilla y de las áreas de siembra por el personal asignado para realizar esta actividad.	Corto	Inspector de campo, J' de producción ó T´. Integral	J' de producción, J´Lote
	2.5 Capacitar al personal vinculado a la actividad.	Corto	Obreros, J' Prod, J´Lote, activistas de extensión agrícola	J' Prod, J´Lote, T´Integral

Tabla I.- Plan de acción de las limitantes técnico productivo de la UEB "Dos Ríos". Continuación…

Lim.	Actividades	Período de solución	Participantes	Responsable
3	3.1 Preparar las tierras en el momento oportuno.	Corto	J' Prod, T´Integral,J´Lote	J' Prod, J´UPC
	3.2 Realizar día de campo con el uso correcto de la tecnología de preparación de tierra.	Corto	J' Prod	J' Prod, J´UPC
	3.3 Realizar acciones de capacitación al personal vinculado a la actividad.	Corto	Obreros, T´Integral, J´Lote, activistas de extensión agrícola	J' Prod, J´Lote, T´Integral
	3.4 Mejorar el estado técnico de los equipos e implementos agrícolas antes de la campaña.	Corto	J' de maquin. J' de UPC	Administrador UPC. J´Caña. UEB
	3.5 Reparación y mantenimiento en la campaña, de los equipos e implementos, así como, la conservación de los mismos al final de cada campaña.	Corto	J' de maquin. J' de UPC	Administrador UPC
	3.6 Dominar las variantes tecnológicas por cada tipo de suelo en el tiempo y el espacio según el folleto práctico editado por el Programa de Extensión Agrícola.	Corto	J' de prod. J' de maquinaria. Junta directiva.	Admón UPC. J´Caña Empresa
	3.7 Centralización de los equipos para la preparación de tierra.	Corto	J' Prod.	Director UEB
4	4.1 Disciplina técnica y chequeo sistemático.	Corto	J' Prod.J´Lote	J' Prod, D. Caña.
	4.2 Comprar o gestionar implementos agrícolas.	Mediano	J´ Maquinaria	J´ UBPC, J´ Maquinaria J´ Económico
5	5.1 Fiscalizar, chequear y controlar la calidad en las labores.	Corto-mediano	J´ Prod, T´Integral	J´ Lote, Técnicos calidad integral, J' Producción
	5.2 Confección y aplicación del plan contra incendio fundamentalmente en época de cosecha.	Corto	J' de Prod. J´UPC	Administrador UPC
	5.3 Realizar Taller de quema en la empresa, como acción de capacitación.	Mediano	J' de Prod. J´Lotes, J´UPC,Extensionista, Inspectores UEB, J´Caña y J´UEB	J´Caña UEB

Tabla I.- Plan de acción de las limitantes técnico productivo de la UEB "Dos Ríos". Continuación…

Lim.	Actividades	Período de solución	Participantes	Responsable
6	6.1 Compra de implementos para las labores a la caña.	Largo	J´maquinaria	J' U.P.C. y J´Caña UEB
	6.2 Fabricación y compra de implementos de tracción animal	Largo	J´maquinaria	J' U.P.C. J' Prod. D. Caña.
7	7.1 Cumplir con el programa de estrategia de producción de semilla que dé respuesta a la recomendación de las variedades.	Mediano	Esp.SERVAS UEB y ETICA, J´prod	Téc. Integral, J´ Lote
	7.2 Aplicar y actualizar anualmente el SERVAS y composición de cepas.	Corto	J' de Prod., J'Lotes Esp SRVAS UEB Extensionista.	Administrador UPC. J´Caña
8	8.1 Sembrar cuando haya la humedad necesaria.	Septiembre	J' de Prod	J' U.P.C. y J' Prod, J´Lotes
	8.2 Utilizar semillas de calidad.	Septiembre	J' de Prod	J' Prod
	8.3 Buena preparación de tierra.	Corto	J' de Prod	J' Prod
	8.4 Realizar acciones de capacitación relacionados con la actividad.	Corto	Obrero, T´. Integral, J´Lotes, activista de extensión agrícola	J' Prod
9	9.1 Hacer drenajes a los campos antes de que llueva	Corto	J' de Prod	J' Prod,J'Lotes
10	10.1 Buscar semillas de calidad.	Corto-mediano	J' de Prod, Esp SRVAS UEB Extensionista	J' Prod, J´Caña. J'UPC y J'Lotes
	10.2 Sembrar en el momento oportuno	Corto-mediano	Obreros, J' Prod,J´Lote	J' Prod, J´Caña. J'UPC y J'Lotes
	10.3 Realización de un taller sobre los perjuicios económicos que trae consigo una mala calidad de la siembra.	Corto-mediano	Obreros, T´Intg, J´Lotes, activista de extensión agrícola, Extensionista	J'UPC, J´Caña
	10.4 Capacitar al personal relacionado con la actividad.	Corto	Obreros, T´Intg, J´Lotes, activista de extensión agrícola	J' Prod
11	11.1 Utilizar la técnica para la actividad.	Corto	Obreros, J' Prod,	J'UPC
	11.2 Acondicionamiento de las áreas.	Corto	Obreros, J´Prod,	J'UPC

Tabla I.- Plan de acción de las limitantes técnico productivo de la UEB "Dos Ríos". Continuación…

Lim.	Actividades	Período de solución	Participantes	Responsable
12	12.1 Realización de cultivos profundos en toda el área mecanizada.	Corto -mediano	Obreros, J' Prod	J' Prod.
	12.2 Cosechar mecanizado antes de las lluvias	Corto - mediano	Obreros, J' Prod	J' Prod.
	12.3 Aplicación de cachaza o compost.	Corto	Obreros, J' Prod,	J' Prod, J´Lotes
13	13.1 Utilizar la semilla certificada, proveniente del banco de semilla certificado.	Corto -mediano	Obreros, J' Prod,	J´.Caña Emp, J´UPC
	13.2 Planificar y respetar las áreas de demolición según SERVAS	Mediano	Esp.SERVAS UEB.	Administrador UPC. J´Caña UEB

Según reportes de González (2008), el plan de acción constituye la materialización mediante acciones concretas de cómo se va a enfrentar la organización en su entorno para el logro de sus objetivos. Los planes de acción tienen que ser formulaciones prácticas de cómo se van a desarrollar las estrategias por lo que deben ser explícitas en cuanto a los responsables, recursos necesarios para su materialización y términos de cumplimiento.

Se demuestra que la Extensión Agrícola, se comporta como un sistema de conjunto de elementos en interacción, es una totalidad de elementos y relaciones entre estos, y que las relaciones entre los elementos son más importantes que cada elemento en sí. Es un sistema abierto que interactúa con el medio y que desde la perspectiva sistémica, son las interacciones entre las partes las que determinan el todo, lo cual, a su vez, condiciona el comportamiento de las partes (Riechmann, 2008).

CONCLUSIONES

1. El Diagnóstico Participativo permitió determinar 13 limitantes técnico- productivas de la Unidad Empresarial de Base "Dos Ríos" que inciden en la disminución del potencial agroproductivo del cultivo de la caña de azúcar.
2. La Matriz de Vester permitió determinar la clasificación de las variables cualitativas y tipificar los problemas, de acuerdo al tipo de relación existente.
3. El plan de acción permitió elaborar acciones concretas para dar solución a las limitantes detectadas, lo que permitirá incrementar los rendimientos agrícolas en la Unidad Empresarial de Base "Dos Ríos".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almarales, E., Andreu, R., Barbosa, R., Barquié, Odalis., Bending, Betty., Carabeo. M., Concepción, E. & Colectivo de autores. (2006), Procedimientos Metodológicos de Extensión Agrícola para la Caña de Azúcar en Cuba. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. ISBN 959-7140-11-X. Primera Edición. La Habana, Cuba, pp. 164.
2. Barrera, M.(2008), El Sistema de Extensión Agrícola, una alternativa al incremento de los rendimientos cañeros en la Empresa Azucarera "Argeo Martínez" de la provincia Guantánamo. Guantánamo 101 h. Tesis (en opción al grado científico de Master en Ciencias Agrícolas).Universidad de Granma.

3. Concepción E. (2006), Determinación de los problemas asociados al rendimiento agrícola y al costo por peso. Un estudio de referencia en seis cooperativas cañeras de la provincia Sancti Spiritus. Sancti Spiritus 131 h. Tesis (en opción al título académico de maestro en Gestión y Desarrollo de Cooperativas). Universidad de La Habana.
4. Corvisón, R., Lescano, J., Guevara, G. & de Armas R. (2003), Introducción de transferencia de la tecnología en la ganadería bobina del Ministerio de la Agricultura en la Provincia de Camaguey. [Versión electrónica] Segundo Encuentro Regional de Extensión y Transferencia de Tecnología. Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA). Instituto de Ciencia Animal. La Habana Cuba.
5. Cuéllar, A., De León, O. M. E., Gómez R. A., Piñón G. D., Villegas, D. R. y Santana, A. I. (2003), Caña de azúcar. Paradigma de Sostenibilidad. Ciudad de la Habana. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Publínica, pp. 15-140.
6. Fuentes, J. (2012), Comunicación Personal. UEB Dos Ríos.
7. Gónzalez, Fayre. (2008), M. Sistema de Extensión en la Unidad Básica de Producción Cooperativa Cañera “José Martí.” Pinar del Río.85 h. Tesis (en opción al título académico de maestro en Agroecología). Universidad de Pinar del Río.
8. INICA. (2001), Instructivo Técnico para jefes de lotes, pp. 44-59.
9. MINAZ. (2000), Proyecto caña. Programa de riego, drenaje y viales, pp. 30.
10. Quintero, R. (2001), Diseño e implementación del sistema de Extensión Agrícola para la Caña de azúcar en cuba. Proyecto. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana. Cuba, pp. 32.
11. Riechmann, J. (2008), Teoría de sistemas y pensamiento complejo. Teoría de sistemas y pensamiento complejo. pdf. Adobe Reader.
12. Sulroca, D. F. (2002), Evolución Económica de las UBPC cañeras. Tesis (en opción de Master en “Gestión y Desarrollo de Cooperativas”) Universidad de La Habana.
13. Zambrano, Y. (2008), Proyecto de investigación “Perfeccionamiento del Sistema de Extensión Agrícola en el ministerio de la Caña de Azúcar”, Comunicación personal.
14. Zumeta, V., Quintero, R., Vega, A. & Otero, I. (2001), Manual de Procedimientos. Sistema de Extensión Agrícola para la Caña de Azúcar, pp. 91.

POTENCIAL AGROPRODUCTIVO DE SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA

YIELD POTENTIAL OF SUGARCANE CROP SOILS IN CUBA

Dr. Javier Arcia[1], Dr. Rafael Villegas[1], MSc. Libia Bouza[2] y Dr. Pablo Pablos[3]

[(1)]Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Km 1½ carretera a la CUJAE, La Habana. javier@inica.minaz.cu; villegas@inica.minaz.cu;
[(2)] ETICA Mayabeque-Artemisa, San Cristóbal, Artemisa;
[(3)] ETICA Oriente-Sur, Palma Soriano, S. de Cuba

RESUMEN

La forma organizativa AZCUBA y su sistema de pago establecen que para recibir el precio máximo por tonelada de caña los productores deben aumentar 5% el volumen de caña sobre el obtenido en la zafra anterior y/o alcanzar 80% del potencial productivo de los suelos. Estos elementos constituyen vías importantes para incentivar la necesidad de determinar, con el menor margen de error posible, los potenciales productivos de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, bajo las condiciones agrotécnicas actuales. El trabajo expone los Rendimientos Mínimos Potenciales (RMP), factibles de alcanzar, bajo las condiciones agrotécnicas de las áreas cañeras actuales de Cuba, hasta la unidad mínima de manejo.

Palabras clave: Rendimientos agrícolas, caña de azúcar, rendimientos mínimos potenciales

SUMMARY

The new organizational form of AZCUBA and its payment system established that to receive the maximum price per ton of cane, croppers should increase 5% of sugarcane volume on the retrieved in the previous harvest and/or achieve 80% of the soils productive potential. These elements constitute important ways to stimulate the need to determine, with a lower margin of error, the soil productive potentials dedicated to sugar cane cropping, under current agricultural conditions. This article exposes the yields minimum potential (RMP), feasible to reach at the minimum unit of management under agricultural conditions of the current sugarcane areas of Cuba.

Keywords: Agricultural yields, sugar cane, minimum potential yields

INTRODUCCIÓN

La Clasificación Agroproductiva, se inscribe dentro de la Evaluación de Tierras y resulta de la unificación y organización de los conocimientos sobre el potencial agroproductivo de los suelos para cada cultivo específico, donde se conocen las relaciones entre las unidades clasificadas y la influencia de sus propiedades sobre los rendimientos. Villegas y otros 2001, desarrollaron la primera aproximación de la aptitud física de las tierras dedicadas a la caña de azúcar en Cuba. Estimar el potencial agroproductivo de los suelos cañeros a

partir de una fuente científica razonable, un nivel de agrotecnia determinado, constituye un aspecto de particular importancia en la agricultura cañera que permite, entre otros, realizar pronósticos acerca del rendimiento agropotencial y proyectar las inversiones de recursos, el empleo de insumos y el desarrollo de la infraestructura. Sulroca 1984 y 2002, estimó los rendimientos máximos alcanzados en condiciones de producción considerando una serie de premisas.

La caña de azúcar es un cultivo extendido sobre una gran diversidad de suelos, los rendimientos del cultivo varían, entre otros, según los diferentes tipos de suelos, cepas, variedades, clima, y tecnologías de manejo utilizadas, por lo que el cálculo de los rendimientos potenciales resulta complejo, considerando la diversidad de factores que influencian el rendimiento, lo que constituye uno de los problemas básicos para la estimación de los mismos.

El objetivo del trabajo es estimar el potencial agroproductivo de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en correspondencia con el nivel tecnológico actual en la Unidad Empresarial de Base hasta nivel de bloque cañero para todas las áreas cañeras de la República de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estimación potencial agroproductivo, se realizó a solicitud de AZCUBA, considerando:

Premisas

a. Bajo las condiciones actuales de agrotecnia, a nivel de bloque y para cada cepa, se determinaron los Rendimientos Mínimos Potenciales (RMP) en condiciones de secano.
b. Se tomó, como base, la información de una serie histórica de varios años, de los rendimientos por cepas para cada Unidad Mínima de Manejo (campo de caña).
c. Se consideraron los rendimientos por cepa correspondientes a las siguientes edades de cosecha:
    - Primaveras quedadas (18-22 meses) y rendimientos mayores a 60 t/ha.
    - Primaveras (11-13 meses) y rendimientos mayores a 40 t/ha.
    - Fríos (16–18 meses) y rendimientos mayores a 55 t/ha.
    - Socas (12-13 meses) y rendimientos mayores a 45 t/ha.
    - Retoños (12-13 meses) y rendimientos mayores a 30 t/ha.
    - Retoños quedados (20-24 meses) y rendimientos mayores a 53 t/ha
d. La base para la realización del trabajo, son los resultados obtenidos en el proceso de Evaluación de Tierras, realizado por INICA, 2001.
e. La información edafológica se tomó a partir del mapa de suelo 1:25000, utilizado como base para la evaluación de tierras.
f. La información climática se tomó de los últimos 20 años, existente en cada Unidad Empresarial de Base (UEB) y/o la perteneciente al Grupo Empresarial Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (GEARH).
g. Se consideraron las siguientes categorías por rangos de rendimiento (t/ha):
    - $\geq 34 < 43$
    - $\geq 43 < 51$
    - $\geq 51 < 60$
    - $\geq 60 < 69$
    - $\geq 69 < 77$
    - $\geq 77 < 90$
    - ≥ 90
h. La información gráfica y tabular a utilizar corresponde a la estructura territorial con cierre junio 30/2012.

Alcance

a. Obtener bases de datos espacial y temática, detalladas con el Potencial Agroproductivo de los suelos dedicados a caña de azúcar, en todas las áreas de las UEB del país.
b. Obtener bases de datos espacial y temática, detalladas con el Potencial Agroproductivo por cepas, de la estructura territorial (cierre junio 30/2012), hasta nivel de bloque cañero en todas las UEB del país.
c. Desarrollar el monitoreo del Recurso Suelo y su influencia sobre el cultivo de la caña de azúcar, de forma precisa y eficiente.

La Figura 1 muestra el diagrama conceptual del trabajo que sintetiza el flujo de actividades desarrolladas para la determinación de potenciales agroproductivos.

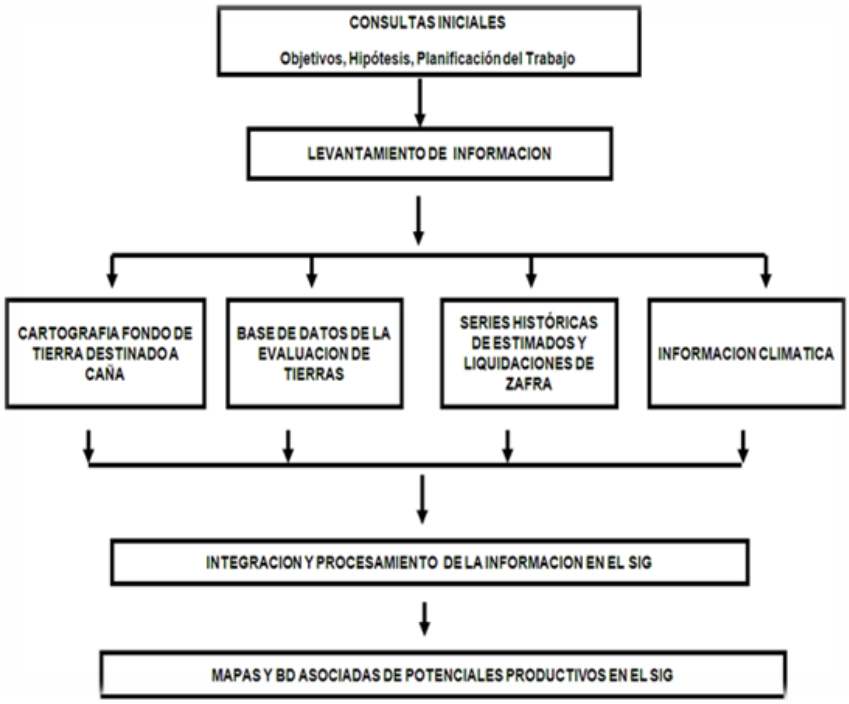


Figura: 1. Esquema de trabajo utilizado para la determinación del potencial agroproductivo de los suelos dedicados a caña de azúcar en Cuba

Descripción de las actividades

Consultas iniciales

El objetivo de este primer paso es de carácter preparatorio para la realización de la evaluación y se basa en la conformación de los grupos de expertos y responsabilidades de las partes ejecutoras.

Fuentes de información

Las fuentes de datos fundamentales para la realización del trabajo fueron:

a. Mapas de Suelos y sus perfiles asociados.
b. Mapas catastrales.

c. Información de series de rendimientos históricos (10 años), que incluye:
    - Rendimientos históricos a nivel de UEB, provenientes de las liquidaciones de zafra por cepas.
    - Encuestas a los productores y otras.
d. Resultados, informes y mapas de estudios realizados en la zona, en el caso específico de la República de Cuba:
    - Compendio de la Producción Agroindustrial en Cuba, 1937-2010 (Acosta, 2012).
    - Instructivo Técnico Para la Producción del Cultivo de la Caña de Azúcar. (INICA-MINAZ, 2007).
    - Zonas Edafoclimáticas Cañeras y potencial productivo (Sulroca, 1984).
    - Resultados experimentales y de lotes controles, establecidos por el Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), que brinda el INICA.
    - Rendimientos obtenidos por los Productores Líderes.
e. Datos climáticos. Se refiere a las precipitaciones, a partir de la Información Pluviométrica de la red de pluviómetros de la UEB, y/o la perteneciente al GEARH, para una serie histórica de 20 años.

Confección del cronograma de trabajo

Una vez conocida la información existente, la forma y plazos para adquirir los datos faltantes, así como los objetivos propuestos y las premisas en que se basó el proyecto, se confeccionó el plan de acción por parte de representantes de los grupos provinciales y de base, definiendo fechas para cada actividad, según metodologías de trabajo y forma de entrega de los resultados.

Levantamiento de información

Se recopiló toda la información existente:

- Bases de datos con la información agroestadística de 10 años de acuerdo con las premisas descritas, no obstante se aceptó el procesamiento de la información que contenía 5 años como mínimo.
- Bases de datos de clima con información de una serie correspondiente a los últimos 20 años.
- Toda la información fue introducida en SIG como programa para el ordenamiento, manipulación y procesamiento de la información.

Depuración de datos

1. Como paso previo se realizó la segregación de datos poco fidedignos.
2. Fueron eliminados de la base de datos de rendimientos históricos:
    - Todos los registros vacíos en que no existió información de cosecha, debido a que no todos los campos se cosechan anualmente.
    - Registros que no cumplían las premisas establecidas.
    - Todos los registros ubicados en áreas bajo riego.
    - Registros que no se correspondían con ninguna de las cepas anteriores.

Una vez realizada la depuración de datos se obtuvo una base de datos contentiva de rendimientos históricos por cepas, denominada **REND HISTORICOS AJUSTADOS.**

Procedimiento de estimación

Obtención de las bases de datos requeridas para la estimación de los RMP.

Como paso preliminar al proceso de estimación de los RMP resultó necesario realizar el enlace de la capa **CAÑA** suministrada por el Grupo de Ordenamiento Territorial de la Unidad Empresarial de Base (UEB) con la base de datos resultante del estudio de Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras realizada a toda el área geográfica (Villegas y otros, 2001). De este proceso resultó una base de datos denominada **CAÑA ET** en que cada campo de caña contiene información de tipo de suelo, factores limitantes, aptitud física de la tierra y RMP obtenidos en el estudio de evaluación de tierras.
Durante el proceso de evaluación de tierras referido, fueron digitalizados los contornos del Mapa Nacional de Suelos de Cuba 1:25 000 y el límite de los bloques cañeros, además se estructuró una base de datos a partir de los atributos físicos y químicos de los suelos, partiendo de la descripción de la fórmula representada en el referido mapa y la descripción de los perfiles correspondientes a cada uno de los contornos. A esta base una vez procesados los datos en el AGRO 24, se le agregó la columna de aptitud de los mismos para el cultivo de la caña de azúcar en Cuba y el rendimiento mínimo esperado para cada uno de ellos.
La unión de toda la información gráfica y tabular se realizó mediante el SIG.

- La proyección utilizada fue la Cónica Conforme a Lamber y el Sistema de Coordenadas de Cuba (Cuba Norte). Los ficheros creados fueron convertidos a archivos .tab y se asociaron la base de datos de suelo y estructural mediante un ID.
- De la base de datos resultante de la evaluación de tierra, fue necesario eliminar la duplicidad provocada por las particiones o contornos que se repetían en los bloques, dejando sólo una fila de la tabla que corresponde a un contorno del bloque en cuestión.
- Se realizó la unión de las bases de datos cartográfica y tabular en el SIG, mediante consulta SQL. Para ello se utilizó el código de polígono de suelo previamente validado.

De igual forma se realizó el enlace de la capa **LÍMITE DE BLOQUE,** con la base de datos resultante del estudio de evaluación de tierras mencionado con anterioridad. En bloques no homogéneos en su composición edáfica, se asumieron las características de mayor frecuencia dentro del área, en las de igual proporción, se seleccionó la variante edafológica con la mayor limitación productiva. De este enlace resultó una base de datos denominada **LÍMITE DE BLOQUE ET.** Con este resultado, se obtuvo la evaluación de tierras actualizada a las circunstancias actuales de la cartografía en la UEB.
Se realizó el enlace de la capa **CAÑA ET** con la base de datos **REND HISTORICOS AJUSTADOS,** obteniéndose una capa que se denominada **CAÑA ET RHAP.** La capa **CAÑA ET RHAP** se exportó desde el SIG utilizado a un fichero de base de datos **CAÑA ET RHAP.dbf**, esta se utilizó para la estimación de los RMP.

Cálculo del rendimiento mínimo potencial (RMP)

Para la estimación del rendimiento mínimo potencial se utilizó el **Método Deductivo del Tercer Cuartil.** El tercer cuartil es la constante de posición que refleja las ¾ del mismo total ordenado sucesivamente. El Tercer cuartil representa un rendimiento que se ha alcanzado, por lo tanto, es alcanzable, no exagerado, pues queda 25% de la población con rendimientos superiores y constituye una meta justa y fundamentada para cada suelo y cepa.
Para el procesamiento de la información fue utilizado el paquete estadístico SPSS Statistic 17.0.
A partir de la base de datos **CAÑA ET RHAP.dbf** se calcularon los estadígrafos para cada tipo de suelo y cepa. Considerando que el valor de rendimiento obtenido en el tercer cuartil para cada suelo y cepa representa el RMP, se conformó una base de datos denominada **RMP POR SUELO Y CEPA.**

La base de datos **RMP POR SUELO Y CEPA** obtenida fue revisada cuidadosamente y comparada con los valores reportados por trabajos anteriores realizados en el país, rendimientos históricos de liquidaciones de zafra, criterios de expertos la cual no presentó valores atípicos por lo que no hubo necesidad de corregir los datos.
Una vez obtenidos los RMP por suelo y cepa fue posible realizar el enlace de la capa **RMP POR SUELO Y CEPA** con la capa **LÍMITE DE BLOQUE ET.** La descripción de esta capa, se denominó **LIMITE DE BLOQUE RMP,** a partir de la cual se generaron los mapas temáticos de RMP por cepa para la UEB. Concluido este proceso se obtuvo el RMP al nivel de estructura organizativa o superficie de manejo deseado (bloque o campo cañero).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos agrícolas en Cuba han tenido fluctuaciones en el tiempo, motivado por diferentes condiciones económicas, sociales, climáticas, etc. La Figura 2, muestra el comportamiento de los rendimientos agrícola alcanzados en Cuba, desde el año 1951 y hasta 2011, la media histórica en el período corresponde a 40.9 t/ha, mientras que los valores menores medios se alcanzaron en la etapa prervolucionaria y durante el denominado "período especial", lo que confirma que el manejo de los suelo constituye un elemento esencial para el cálculo de los potenciales agrícolas en condiciones de producción.

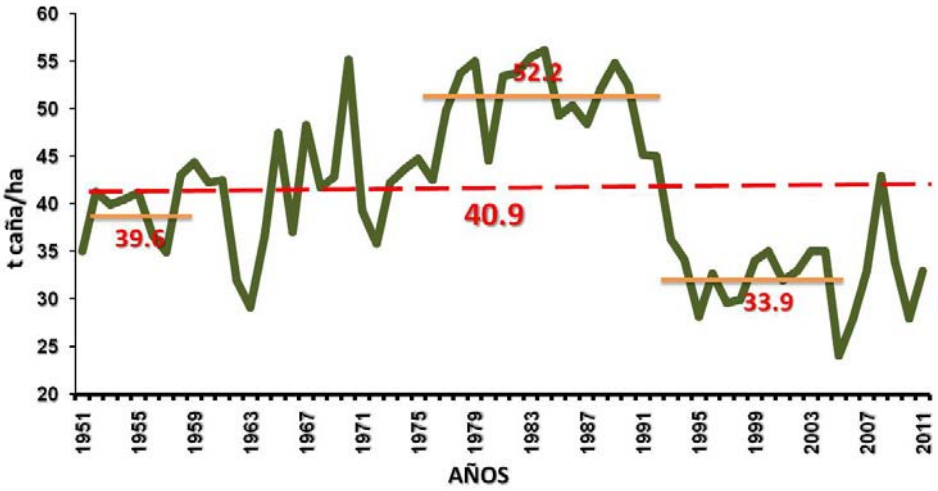


Figura: 2. Rendimientos históricos alcanzados en Cuba desde el año 1951 hasta 2011

Dado el gran número de información resultante del desarrollo del trabajo motivado por la extensa área evaluada, el gran número de unidades de producción existentes y los bloque cañeros que las conforman, las diferentes condiciones edafoclimáticas de la República de Cuba y el número de cepa consideradas, sólo exponemos una síntesis de los resultados obtenidos. La Tabla I, muestra el resultado de todas las Empresas cañeras del país, mientras que la Tabla II, muestra estos rendimientos por cada una de las UEB del territorio nacional.

Tabla: I. Rendimientos mínimos potenciales por Empresas

EMPRESA	Primavera quedada (PQ)	Primavera (PRIM)	Fríos	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
			(t caña/ha)			
Guantánamo	89.0	57.8	82.1	63.5	56.1	75.7
S. de Cuba	81.7	53.2	75.6	58.4	51.4	69.4
S. Spíritus	93.0	61.3	82.2	62.6	51.6	75.5
Camagüey	80.3	51.6	72.5	51.6	43.3	68.4
C. de Ávila	72.6	44.0	63.0	67.6	53.4	65.6
Cienfuegos	76.8	56.9	59.0	51.2	50.8	56.9
V. Clara	74.7	46.6	63.9	52.4	52.4	61.0
Mayabeque	80.4	51.1	68.7	52.5	41.0	65.4
Granma	75.8	55.9	64.9	52.1	48.3	64.5
Holguín	71.5	45.3	65.1	50.1	44.1	59.9
Matanzas	90.9	61.2	82.4	70.3	57.3	74.7
Artemisa	88.8	63.4	79.8	66.3	54.0	79.7
Las Tunas	78.0	58.9	72.3	56.9	42.9	69.9

Tabla: II. Rendimientos mínimos potenciales por Unidades Empresariales de Base (UEB)

Empresa	Unidad Empresarial de Base (UEB)	Primavera quedada (PQ)	Primavera (PRIM)	Fríos	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
			(t caña/ha)				
Guantánamo	Argeo Martínez	89.0	57.8	82.1	63.5	56.1	75.7
S. de Cuba	Chile	83.4	54.3	77.2	59.7	52.4	70.9
	Dos Ríos	80.8	52.6	74.8	57.8	51.0	68.7
	Julio A. Mella	75.3	49.1	69.7	53.9	47.6	64.1
	Paquito Rosales	89.5	58.3	82.7	64.0	56.2	76.0
	América Libre	79.3	51.7	73.4	56.6	49.8	67.5
S. Spíritus	M. Hernández	92.3	59.7	82.9	68.5	52.5	76.2
	Uruguay	101.8	63.0	81.6	60.6	50.7	74.7
Camagüey	Agramonte	80.1	55.0	72.7	50.3	42.6	70.3
	Céspedes	81.2	58.7	76.1	51.2	45.7	71.7
	Argentina	81.8	47.9	74.0	51.5	42.5	69.1
	Brasil	79.8	54.6	69.7	59.5	46.3	64.7
	Cándido González	78.6	56.4	71.3	49.1	40.7	69.3
	Siboney	77.0	36.9	69.7	48.1	40.7	66.5
	Panamá	82.5	56.1	75.1	52.0	46.6	69.6
C. de Ávila	Ciro Redondo	75.3	47.7	63.1	73.3	47.6	66.9
	E. Varona	62.9	46.8	45.2	71.3	65.4	73.2
	Ecuador	76.3	41.4	70.7	65.3	51.8	60.0
	1ro. de Enero	75.6	40.2	73.0	60.7	48.7	62.2
Cienfuegos	C. Caracas	78.0	52.4	61.7	50.8	51.8	57.3
	A. Sánchez	81.1	57.1	64.2	57.5	43.1	60.1
	14 de Julio	75.7	54.4	60.5	53.6	49.5	56.3
	Elpidio Gómez	75.4	55.9	56.2	50.9	46.1	55.0

Empresa	Unidad Empresarial de Base (UEB)	Primavera quedada (PQ)	Primavera (PRIM)	Fríos	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
	5 de Setiembre	73.7	65.0	52.6	43.3	63.4	56.1
V. Clara	Abel Santamaría	77.1	48.1	61.3	55.3	38.3	62.9
	Carlos Baliño	72.4	44.3	64.0	46.5	34.7	55.1
	H. Duquesne	77.4	49.2	68.3	55.1	40.0	63.6
	Héctor Rodríguez	70.1	46.3	62.2	50.0	40.0	58.7
	I. Alfonso	72.6	49.1	63.3	51.7	39.6	59.9
	José María Pérez	77.0	47.5	66.4	50.1	50.1	62.3
	P. G. Toro	72.8	44.8	66.0	51.5	41.8	62.0
	P. Figueredo	73.5	47.6	60.3	54.2	39.4	58.8
	Quintín Banderas	78.6	44.0	61.3	52.6	40.0	63.0
	Washington	75.4	45.1	66.1	57.4	40.3	63.4
Mayabeque	Boris L. S. Coloma	80.9	51.7	69.7	53.1	42.0	66.6
	Manuel Fajardo	83.7	51.3	69.7	50.2	43.8	65.8
	Juan Ávila	78.0	50.1	65.1	53.4	36.5	63.2
	G. A. Mañalich	79.1	51.3	70.2	53.3	41.7	65.9
Granma	A. Colina	85.4	55.5	78.9	61.0	53.9	72.7
	R. Ramírez	72.9	67.3	52.0	45.9	47.4	62.0
	E. Díaz Machado	69.1	44.9	63.8	49.3	43.6	58.8
Holguín	L. Hechavarría	80.3	52.2	74.1	57.3	50.6	68.3
	López Peña	65.1	42.3	60.1	46.4	41.0	55.4
	Cristino Naranjo	71.8	42.2	62.7	47.8	41.3	57.2
	Urbano Noris	68.8	44.7	63.5	49.1	43.3	58.5
Matanzas	Cuba Libre	86.0	65.1	73.7	67.1	55.9	65.1
	España Republicana	86.9	64.3	74.6	67.0	55.6	65.8
	René Fraga	109.4	65.8	110.2	92.9	74.5	101.4
	Jesús Rabí	94.1	57.5	83.9	76.4	67.2	94.8
	Mario Muñoz	74.2	49.7	69.6	61.3	50.9	64.6
	México	94.5	64.2	81.9	57.0	39.2	56.1
Artemisa	30 de Noviembre	88.8	61.5	75.6	61.6	46.3	71.3
	Harlem	92.8	67.5	83.6	70.1	59.0	95.4
	A. Lincoln	85.0	61.1	80.3	67.4	56.7	72.6
La Tunas	Colombia	76.1	59.2	65.7	60.3	41.6	72.7
	A. Rodríguez	75.3	61.6	75.2	62.3	42.5	71.4
	Antonio Guiteras	81.5	60.4	69.2	52.7	43.0	70.6
	Majibacoa	76.3	56.6	73.0	53.9	43.1	73.7
	Jesús Menéndez	80.8	62.7	76.8	58.4	43.4	69.4
	Argelia Libre	77.9	53.1	74.1	53.5	43.5	61.8

Al detallar la información de una provincia determinada, en este caso, a manera de ejemplo, se expone la Empresa Santiago de Cuba. Se puede observar (Tabla III) los resultados de cada una de las UEB que la componen. Las Tablas IV, V, VI, VII y VIII 4, 5, 6, 7 y 8 muestran la comparación de los RMP, determinados bajas las premisas y condiciones actuales con los máximos obtenidos en condiciones de producción en los años 1980-84 por Sulroca, 1984 y los resultados históricos brindados por Acosta, 2012.

Tabla: III. Rendimientos mínimos potenciales por Unidad Empresarial de Base (UEB) en la Empresa Azucarera S. de Cuba

Empresa	Unidad Empresarial de Base (UEB)	Primavera quedada (PQ)	Primavera (PRIM)	Fríos	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
				(t caña/ha)			
	Chile	83.4	54.3	77.2	59.7	52.4	70.9
	Dos Ríos	80.8	52.6	74.8	57.8	51.0	68.7
S. de Cuba	Julio A. Mella	75.3	49.1	69.7	53.9	47.6	64.1
	Paquito Rosales	89.5	58.3	82.7	64.0	56.2	76.0
	América Libre	79.3	51.7	73.4	56.6	49.8	67.5

Tabla: IV. Rendimientos mínimos potenciales de Unidad Empresarial de Base (UEB) Chile, comparado con rendimientos obtenidos en otras épocas y condiciones.

Fuentes	Primavera quedada (PQ)	Fríos	Primavera (PRIM)	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
			(t caña/ha)			
Sulroca, 1984	91.3	77.8	56.3	71.2	56.7	69.1
1977-1979	98.9	75.3	42.8	57.0	51.8	84.4
1980-1989	91.4	79.5	54.8	57.5	52.3	82.6
1990-2002	82.9	77.5	45.0	52.4	41.2	74.1
2006-2011	69.3	60.9	33.7	46.6	35.5	64.2
1997-2011 (32años)	84.0	74.8	46.1	53.3	44.7	75.8
Potencial	**83.5**	**77.2**	**54.4**	**59.8**	**52.5**	**70.9**

Tabla: V. Rendimientos mínimos potenciales de Unidad Empresarial de Base (UEB) Julio A. Mella, comparado con rendimientos obtenidos en otras épocas y condiciones.

Fuentes	Primavera quedada (PQ)	Fríos	Primavera (PRIM)	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
			(t caña/ha)			
Sulroca, 1984	90.6	78.2	59.4	65.7	55.1	68.4
1977-1979	64.6	63.1	37.9	44.2	36.1	50.1
1980-1989	78.9	66.1	41.9	44.9	41.4	64.6
1990-2002	67.8	61.1	37.7	41.2	31.9	47.6
2006-2011	54.5	46.4	21.8	33.4	27.9	35.1
1997-2011 (32años)	68.5	60.1	37.0	41.2	34.5	50.9
Potencial	**71.0**	**65.8**	**46.2**	**50.8**	**44.9**	**60.4**

Tabla: VI. Rendimientos mínimos potenciales de Unidad Empresarial de Base (UEB) Paquito Rosales, comparado con rendimientos obtenidos en otras épocas y condiciones.

Fuentes	Primavera quedada (PQ)	Fríos	Primavera (PRIM)	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
			(t caña/ha)			
Sulroca, 1984	91,3	78,2	59,1	69,7	56,6	69,1
1977-1979	100,8	93,8	51,6	60,5	47,4	79,6
1980-1989	96,4	76,7	51,1	55,1	51,6	80,4
1990-2002	83,5	72,5	50,4	50,9	40,6	57,0
2006-2011	75,6	61,9	32,3	52,2	41,6	53,0
1997-2011 (32años)	87,4	73,8	50,1	53,4	44,9	66,1
Potencial	**91,4**	**84.4**	**59.5**	**65.3**	**57.3**	**77,5**

Tabla: VII. Rendimientos mínimos potenciales de Unidad Empresarial de Base (UEB) Dos Ríos, comparado con rendimientos obtenidos en otras épocas y condiciones.

Fuentes	Primavera quedada (PQ)	Fríos	Primavera (PRIM)	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
			(t caña/ha)			
Sulroca, 1984	91.3	78.2	64.5	69.3	58.3	69.1
1977-1979	84.7	74.1	42.8	53.1	43.4	69.4
1980-1989	91.9	73.2	46.8	51.1	46.8	74.4
1990-2002	84.7	70.5	42.5	45.7	37.6	56.7
2006-2011	79.2	60.9	39.1	46.6	35.5	64.2
1997-2011 (32años)	85.9	69.9	43.4	48.3	40.6	64.8
Potencial	**81.8**	**75.8**	**53.3**	**58.5**	**51.6**	**69.5**

Tabla: VIII. Rendimientos mínimos potenciales de Unidad Empresarial de Base (UEB) América Libre, comparado con rendimientos obtenidos en otras épocas y condiciones.

Fuentes	Primavera quedada (PQ)	Fríos	Primavera (PRIM)	Socas	Retoños	Retoños quedados (RQ)
			(t caña/ha)			
Sulroca, 1984	91.3	78.2	67.1	62.8	58.0	69.1
1977-1979	94.6	75.4	52.9	58.8	49.8	88.9
1980-1989	113.6	90.5	54.0	64.3	56.2	96.8
1990-2002	100.1	89.5	48.1	54.6	46.0	80.5
2006-2011	72.0	63.1	22.8	43.8	39.2	55.5
1997-2011 (32años)	98.5	83.5	48.9	56	48.3	81.9
Potencial	**82.5**	**76.3**	**58.9**	**51.90**	**53.82**	**70.2**

Las Figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8, muestran un ejemplo de la representación espacial al nivel de la UEB América Libre de los resultados obtenidos por cepas en cada una de los bloques que conforman las 5458.47 ha.

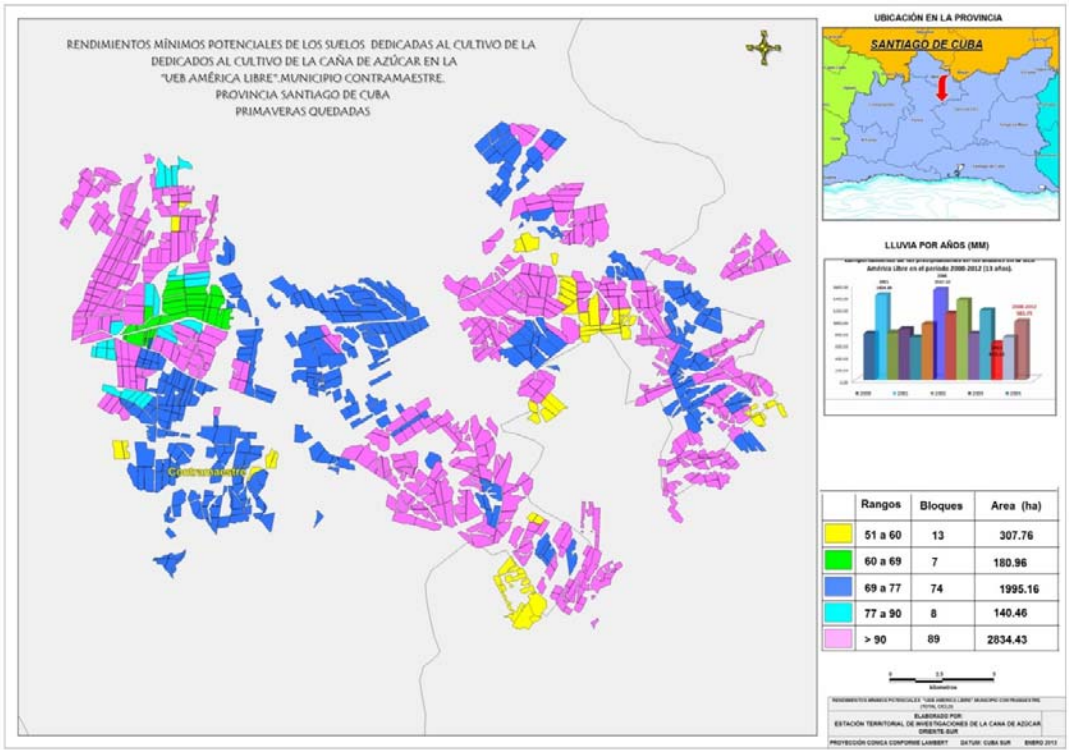


Figura: 3. Representación espacial de los RMP en la UEB América Libre para la cepa de primaveras quedadas en cada uno de los bloques que la conforman

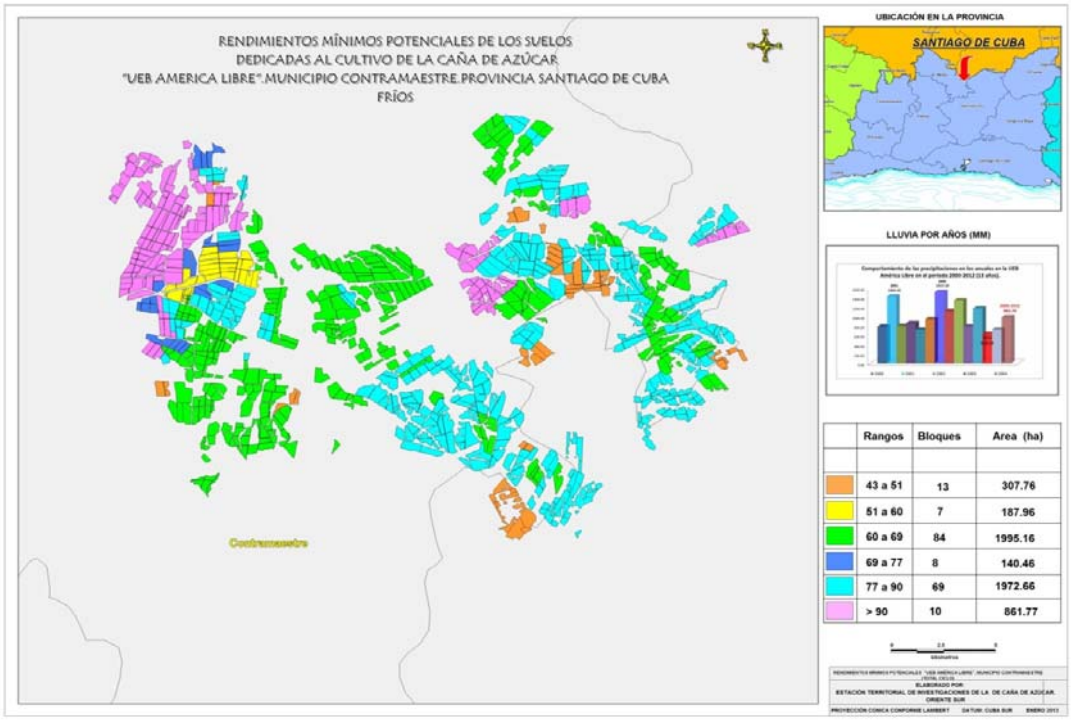


Figura: 4. Representación espacial de los RMP en la UEB América Libre para la cepa de frio en cada uno de los bloques que la conforman

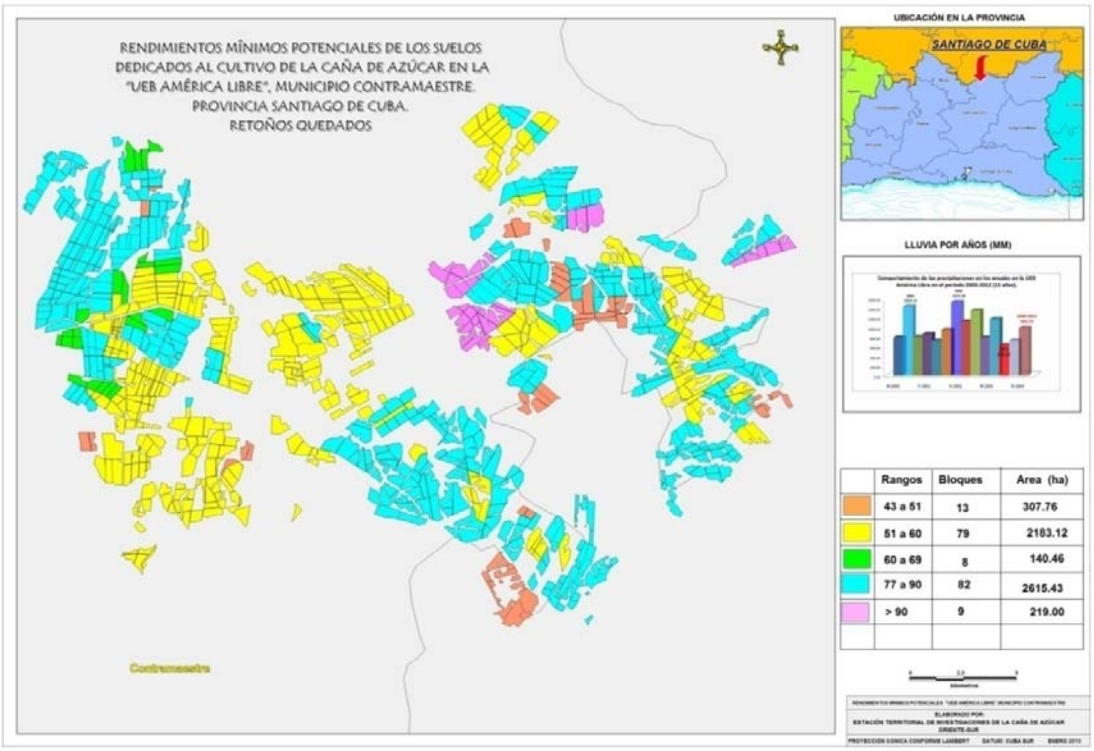


Figura: 5. Representación espacial de los RMP en la UEB América Libre para la cepa de retoños quedados en cada uno de los bloques que la conforman

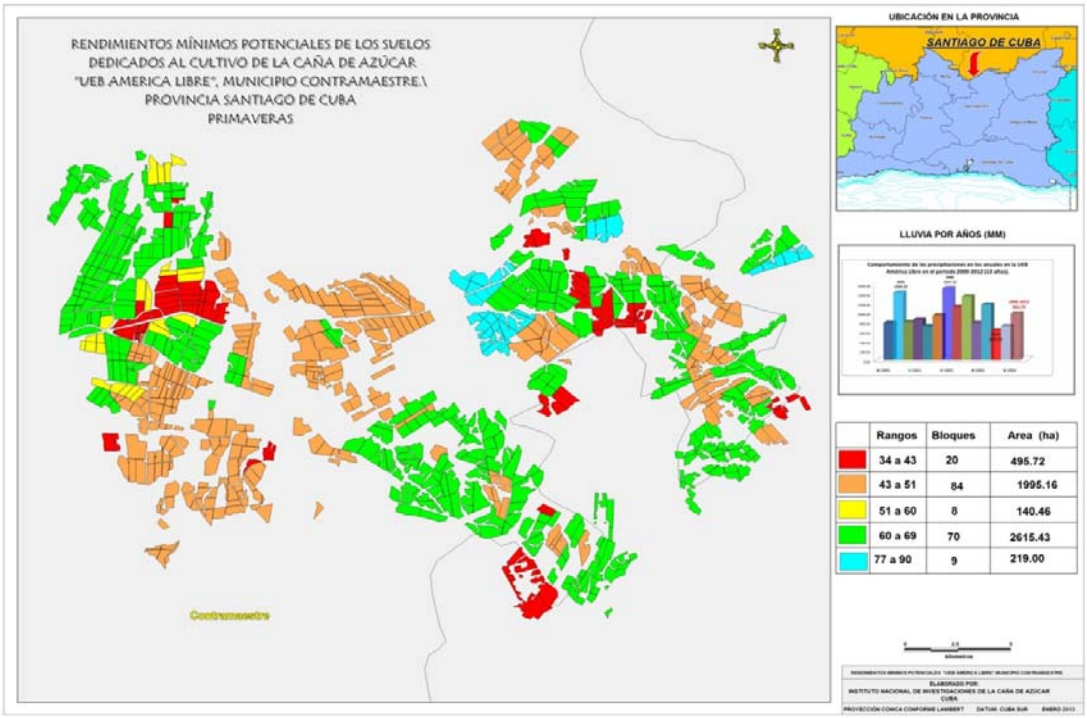


Figura: 6. Representación espacial de los RMP en la UEB América Libre para la cepa de primavera en cada uno de los bloques que la conforman

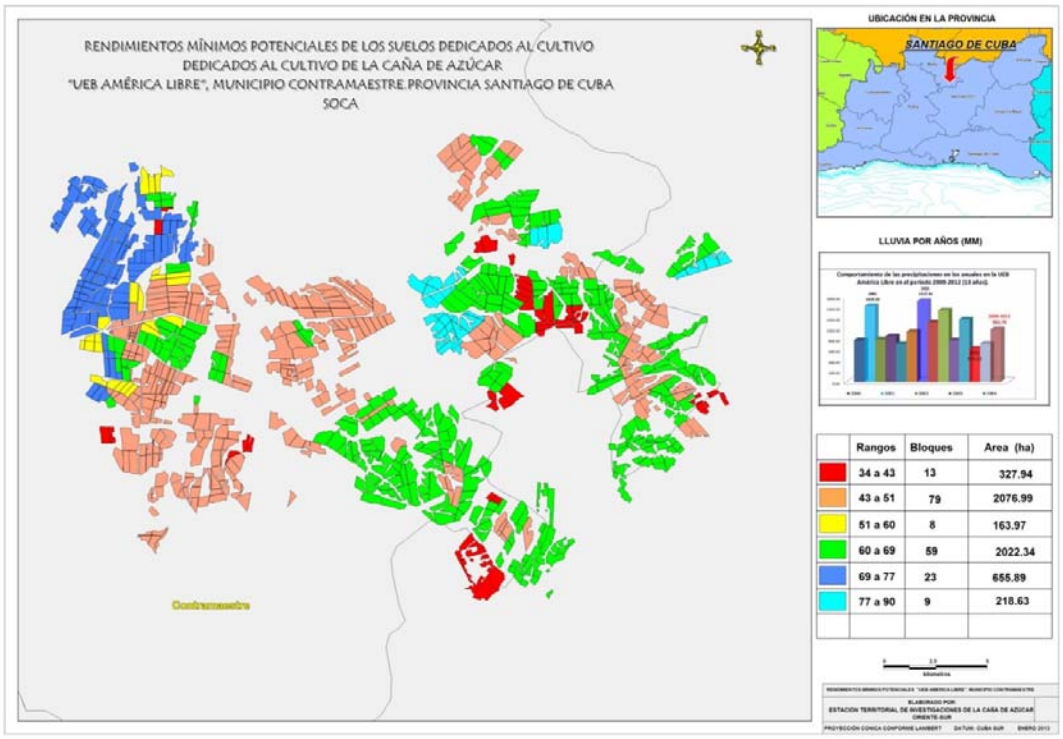


Figura: 7. Representación espacial de los RMP en la UEB América Libre para la cepa de soca en cada uno de los bloques que la conforman

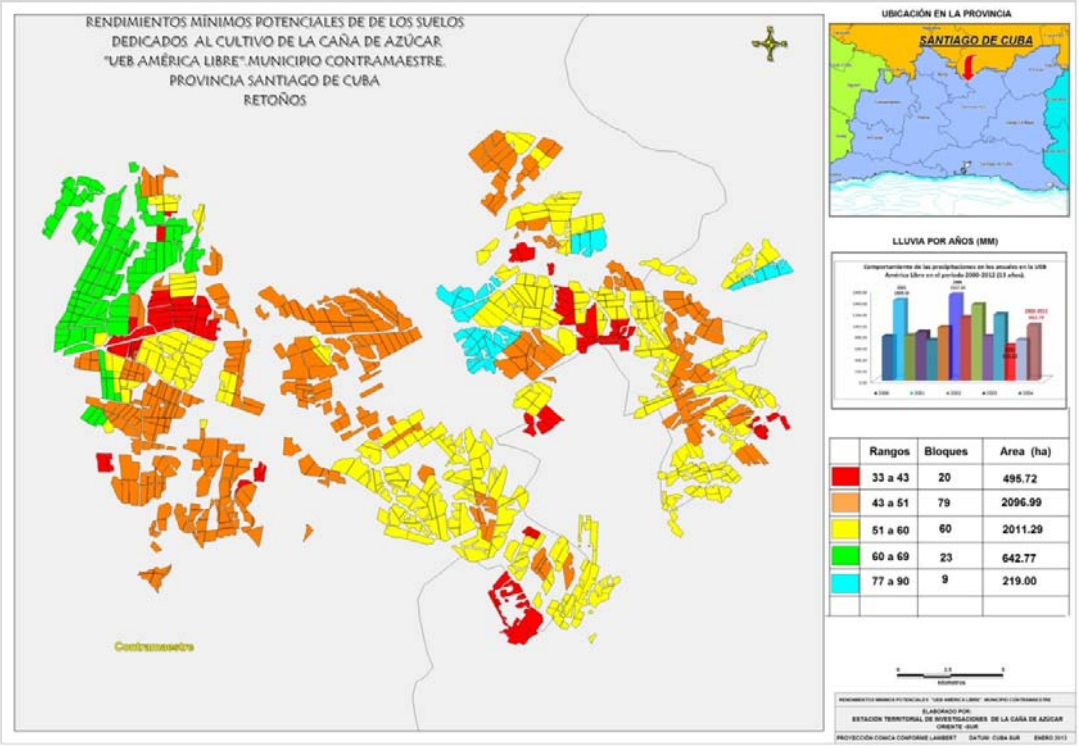


Figura: 8. Representación espacial de los RMP en la UEB América Libre para la cepa de retoños en cada uno de los bloques que la conforman

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos y entregados a cada una de las unidades de producción constituyen un elemento importante para considerar en su planificación económica, metas a alcanzar, además brinda a diferentes niveles de dirección elementos para la toma de decisiones.
2. Los RMP obtenidos se limitan al caso particular de los rendimientos probables a alcanzar para el nivel tecnológico actual, en condiciones de secano en la caña de azúcar y resultan previsibles para cinco años, dado que mejoras en el nivel de tecnologías e insumos, supone mayores posibilidades productivas.
3. Los RMP se han calculado considerando la variabilidad del rendimiento atribuible a los diferentes tipos de suelo, cepa, condiciones de clima y nivel tecnológico para el cultivo de las diferentes UEB. Aún cuando se estima que se han establecido con aceptable grado de confiabilidad, la influencia de múltiples factores no considerados que influencian el rendimiento, tales como variedad utilizada, nivel de insumos, maquinaria, fertilidad del suelo, composición microbiológica, factores edáficos potencialmente limitativos, todo lo cual confiere el carácter estocástico de las investigaciones agrícolas.

RECOMENDACIONES

1. A partir de abundante información pedológica, climática, agroestadística (condiciones de producción y experimentales), de manejo, etc., es posible obtener ecuaciones múltiples con las variables más importantes incluidas las del suelo, el clima, e incluso de insumos como cantidad de fertilizantes,

dotación de agua de riego, pesticidas, etc., que permitan estimar para cierto nivel de probabilidades cuales son los rendimientos a esperar, aumentando la precisión del proceso de estimación, por lo en la predicción del rendimiento deberá proyectarse en una etapa posterior el uso de herramientas como los modelos de simulación estadística y/o dinámica y las funciones de transferencia.

REFERENCIAS

Acosta, P. P. (2012): Compendio Azucarero. Base de datos digital. Grupo Empresarial AZCUBA. La Habana. Cuba.

INICA (2001): Base patrimonial del INICA, tomada para la realización del trabajo de Evaluación de Tierras. Patrimonio Institucional INICA

INICA-MINAZ (2007): Instructivo técnico para la producción y cultivo de la caña de azúcar. Manual. Ed. Publinica. IOSSN 1028-6527.

Sulroca, F.1984. Zonas edafoclimáticas cañeras y potencial productivo. Base de Datos Digital. Dirección de Producción de Caña. MINAZ.

Sulroca, F. 2002. Los agropaisajes cañeros. Sus rendimientos e implicaciones económicas. Dirección de Producción de Caña. MINAZ.11 pp.

Villegas, R., Balmaseda C., Ponce, D., Benitez, Ledya y Marin, R. (2001): Informe: Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras dedicadas al Cultivo de la Caña de Azúcar. Primera Aproximación. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana. 23 pp.

INFLUENCIA DE TRES DOSIS DE ÁCIDO GIBERÉLICO EN LA ALTURA DEL CULTIVAR C90-469 DURANTE EL ENRAIZAMIENTO *IN VITRO*.

INFLUENCE OF THREE DOSE OF GIBERELIC ACID IN THE HEIGHT OF SUGARCANE CULTIVAR C90-469 DURING IN VITRO ROOTING.

Aydiloide Bernal Villegas[1]*, Zenaida Ela Occeguera Águila[1], Mayra Jiménez Vázquez[1], Jorge L. Montes de Oca Suárez[1], Pablo Machado Armas[1], Mercedes Capote Albernas[2], Aldo Valencia Núñez[1], José R. Garcías Fardales[1].

1. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. (ETICA Centro - Villa Clara). Autopista Nacional Km. 246. Ranchuelo. Villa Clara. Cuba
2. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Cuba.
* Autor para correspondencia.
E- mail: biofábrica@vc.azcuba.cu

Resumen

Durante la fase de enraizamiento *in vitro*, los efectos de la intensidad de la luz y la temperatura, deben contribuir a la obtención de brotes con un tamaño y desarrollo adecuado, que posibiliten la obtención de plántulas enraizadas de buena calidad y homogeneidad. Por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo determinar el comportamiento de la altura del cultivar C90-469 en fase de enraizamiento. Se evaluó el efecto de tres dosis de ácido giberélico en un medio 50 % de sales Murashige T., Skoog F. 5 $mg.l^{-1}$ de AIA y 4% de sacarosa. Como resultado se obtuvo que el empleo de 0.2 $mg.l^{-1}$ de ácido giberélico, favoreció la mayor altura de los explantes a los 21 días de enraizados. En el año 2012 se lograron producir 238 708 vitroplantas del cultivar C90-469**.**
Palabras clave: ácido giberélico, *in vitro*, explantes.

Abstract

During the in vitro rooting stage, the effects of the light intensity and the temperature should contribute to obtain sprouts with an appropriate size and development that resulted in rooted plantlets with good quality and homogeneity. So the present work had as objective to determine the behaviour of the height of cultivar C90-469 in the rooting stage. The effects of three dose of Giberelic acid were evaluated in a Murashige T., Skoog medium at 50% of salts and 4% of sucrose. The use of 0.2 mg.l-1 of Giberelic acid, favored the greater height of explants at 21 days of rooting. In the year 2012 it was possible to produce 238 708 in vitro plantlets of cultivar C90-469.
Key words: giberelic acid, *in vitro* culture, explants.

Introducción

El ácido giberélico (GA_3) es raramente utilizado en el sistema de propagación vía organogénesis. Su utilización ha sido beneficiosa en algunos cultivos cuyo sistema de propagación se basa en la elongación de

brotes y división por entrenudos, como la papa (*Solanum tuberosum* L.). La tendencia actual en la propagación de plantas es el empleo de medios de cultivos cada vez más simples, sin emplear ningún regulador del crecimiento aprovechando la habilidad natural de este cultivo, lográndose con ello la eliminación de los problemas de variabilidad o cambios epigenéticos, sin embargo en la mayoría de los genotipos, es imprescindible el empleo de ciertos niveles de estos reguladores. Para lograr una elongación de los brotes, en algunas especies, es recomendable transferir los explantes con todos sus brotes a un medio de cultivo de elongación dos o tres semanas antes de sus extracción del proceso *in vitro* Orellana (1998).

Las giberelinas están químicamente relacionadas con el grupo de compuestos naturales denominados terpenoide. Se han aislado alrededor de treinta tipos de giberelinas, que casi no difieren en su estructura y son activos en el crecimiento y en la división celular, en mayor o menor grado. La giberelina más conocida es el ácido giberélico, que produce algunos efectos similares a los del ácido indolacético. Los principales efectos inducidos por las giberelinas son: el crecimiento de las plantas, especialmente las enanas, el espigamiento y la floración, la partenocarpia, la germinación y el control de la senescencia. Muchas plantas responden a las aplicaciones de giberelinas con un marcado incremento de la longitud del tallo. Torres *y* otros (1995).

Durante la fase de enraizamiento se emplean medios líquidos a razón de 2 ml/planta. Las plantas son individualizadas al igual que en la fase de multiplicación y separadas por tamaño antes de ser inoculadas en el medio de enraizamiento. Las condiciones ambientales en la cámara de crecimiento debe ser 26-28 ºC, iluminación natural 1000 - 2500 luxes y cumplir las exigencias de iluminación es de gran importancia en la calidad y supervivencia de las plantas cuando son llevadas al área de aclimatización según la metodología establecida en las Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba (2011).

Para optimizar el proceso de enraizamiento *in vitro* de los brotes, los efectos de la intensidad de la luz y la temperatura, deben contribuir a la obtención de brotes con un tamaño y desarrollo adecuado, que posibilite la obtención de vitroplantas enraizadas de buena calidad y homogeneidad Murashige (1974).

La fase de enraizamiento tiene una duración promedio de 2 semanas, las plantas deben alcanzar una altura mayor de 5cm y de 4 a 5 hojas. Las cuales son extraídas de los frascos, son lavadas e individualizadas en el cuarto de muestras y luego se procede a clasificarlas por tamaño, un grupo de 5-7 cm de altura y el otro de mayores de 5cm, con el objetivo de garantizar la uniformidad en el trasplante a la fase de adaptación. Esta operación de separación de las plántulas se hace en el área de aclimatización, empleando bisturís, tijeras o de forma manual y se procede a individualizar las plantas siempre que estas posean una altura de al menos 5cm y sistema radical formado, los brotes de menor tamaño se dejarán agrupados a la planta madre. Durante esta operación también se realizará una poda de las hojas más largas para disminuir el stress por exceso de transpiración en los primeros días del trasplante. Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba (2011).

Objetivo

- Determinar la dosis adecuada de ácido giberélico para garantizar la altura óptima de las plántulas durante la fase de enraizamiento *in vitro*.

Materiales y Métodos

El Trabajo se realizó en la Biofábrica de caña perteneciente a la ETICA Centro Villa Clara. Se empleó el cultivar C90-469. El mismo se llevó a cabo en febrero – marzo del año 2012.

Procedimientos generales
Se realizó el manejo del material vegetal en condiciones de cabina de flujo laminar horizontal. El instrumental (pinzas y bisturí) se desinfectó en una solución de hipoclorito de sodio al 1.0% (p/v) según la metodología propuesta por Agramonte *et al.*(1993).

El pH fue ajustado antes de la esterilización de los medios de cultivos con Hidróxido de sodio (NaOH) 1.0 N y Ácido clorhídrico (HCl) 1.0 N.

Esterilización
La esterilización de los frascos y medios de cultivos se realizó mediante el empleo de la técnica del empleo del Hipoclorito de sodio al 0.05%. El agua utilizada fue esterilizada en autoclave a 121 ºC y 1.2 $kg.cm^{-2}$ de presión. Los platos metálicos para el manejo del material en las cabinas de flujo laminar fueron esterilizados en estufa a 180 ºC durante dos horas.

Preparación del material vegetal
Se emplearon como explantes iniciales, brotes foliares de plantas *in vitro* procedentes de multiplicación en décimo subcultivo, que se individualizaron sin podar y se inocularon a 20 explantes por frascos de cultivos.

Enraizamiento de los brotes
Para el enraizamiento de los brotes se utilizó un medio de cultivo compuesto por 50 % de sales Murashige y Skoog F. (1962) (MS), 5 $mg.l^{-1}$ de ácido indolacético (AIA), y 4 % de sacarosa como testigo y para los tratamientos se realizaron tres combinaciones de 0.2 $mg.l^{-1}$ de GA_3, 0.6 $mg.l^{-1}$ de GA_3 y 1.0 $mg.l^{-1}$ de GA_3.

El pH del medio de cultivo fue ajustado a 6.2, se dosificó a razón de 60 ml por frasco de cultivo y se empleó la esterilización por ebullición del medio de cultivo y el enjuague de los frascos con Hipoclorito al 0.05%.

Los explantes permanecieron en cámaras de crecimiento en condiciones controladas a 27 ± 20 ºC de temperatura.

Se evaluó a los 21 días de cultivo: Altura, número de hojas activas y número de raíces por plantas.

Análisis estadístico
Para determinar si hay diferencias en la altura de las vitroplantas debido a los tratamientos se realizó el análisis de varianza de una vía y la prueba Tukey para la comparación múltiple de las medias. En el caso de las variables número de hojas activas y número de raíces se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis. Las pruebas aplicadas se hicieron para un 5 % de significación.

Resultados y Discusión

Altura de las plantas

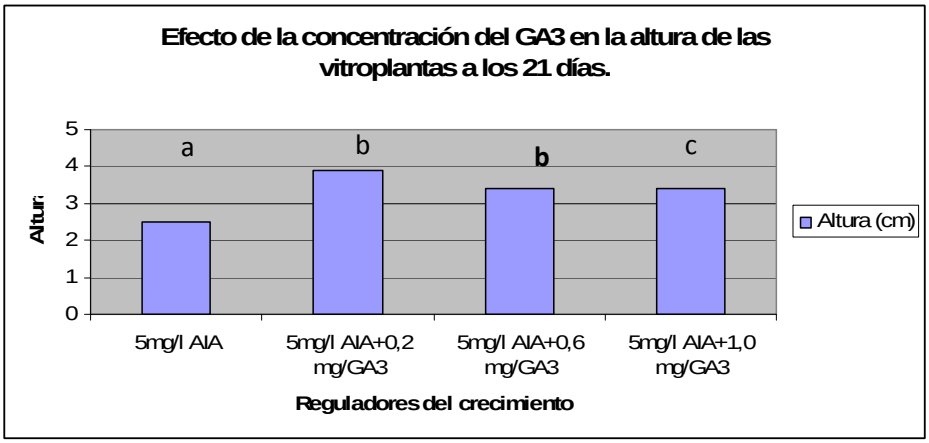


Fig. 1. Efecto de la concentración del GA_3 en la altura de las vitroplantas

En la altura se confirma el efecto de los tratamientos, siendo todos mejor que el testigo y superior el tratamiento (2) donde se combina 5 $mg.l^{-1}$ AIA con 0.2 $mg.l^{-1}$ GA_3, seguido por el tratamiento (3) donde se combina 5 $mg.l^{-1}$ AIA con 0.6 $mg.l^{-1}$ GA_3 y el tratamiento (4) con 5 $mg.l^{-1}$ AIA con 1.0 $mg.l^{-1}$ GA_3 que causan el mismo efecto.

En la biofábrica perteneciente a la ETICA Centro Villa Clara, el ácido giberélico se ha empleado en los Biorreactores de Inmersión Temporal para elongar los brotes axilares, después de la proliferación de los mismos con el uso de Paclobutrazol (PBZ) que es un inhibidor del crecimiento. Durante la etapa de enraizamiento de forma tradicional se reporta entre el 30 y el 40 % de plántulas menores de 5 cm de altura.

La concentración y respuesta al tratamiento con determinadas concentraciones de giberelinas ha sido indicado también como una característica bioquímica que permite diferenciar las plantas de porte elevado con las plantas enanas en los cultivares Gran Enano y William coincidiendo con Sandoval y otros (1994) y García *y* otros (2004).

El GA_3 es comúnmente utilizado en el alargamiento de brotes adventicios *in vitro* de leñosas como el *Eucaliptos globulus*, en el establecimiento, emisión de brotes y crecimiento radicular de la tuna *Opuntia ficus-indica*, en el crecimiento de tallos florales de proteas, *Leucadendron* sp. y para reducir el número de uvas en ciertas variedades de uvas sin semilla para mesa, Fidelibus *y* otros (2011).

Hojas Activas

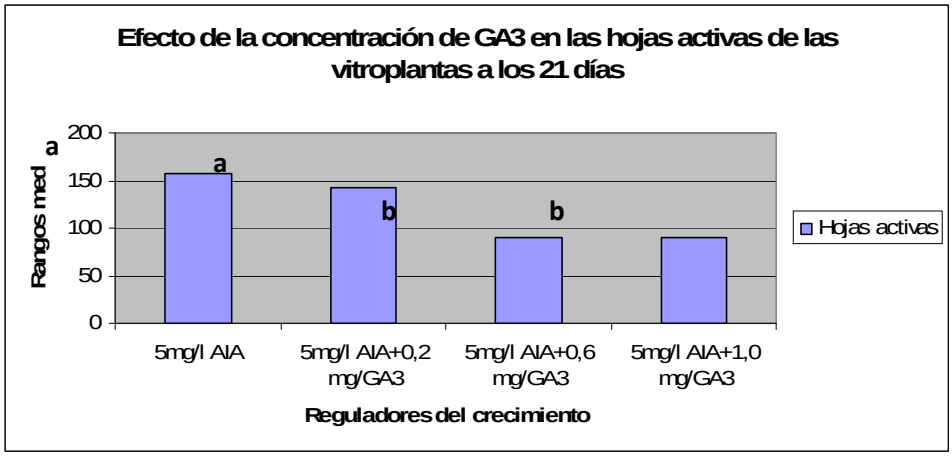


Fig. 2. Efecto de la concentración del GA_3 en el número de hojas activas de las vitroplantas.

El número de hojas activas arrojó diferencias entre los tratamientos formándose el grupo (1-2) con rangos medios superiores al grupo (3-4).

En el tratamiento (1) donde se utilizó 5mg.l^{-1} sin el empleo del GA_3 tuvo el mismo efecto en las hojas activas que en el tratamiento (2) donde se aplicó la dosis más baja de GA_3 (0.2 mg.l^{-1}).

Número de raíces

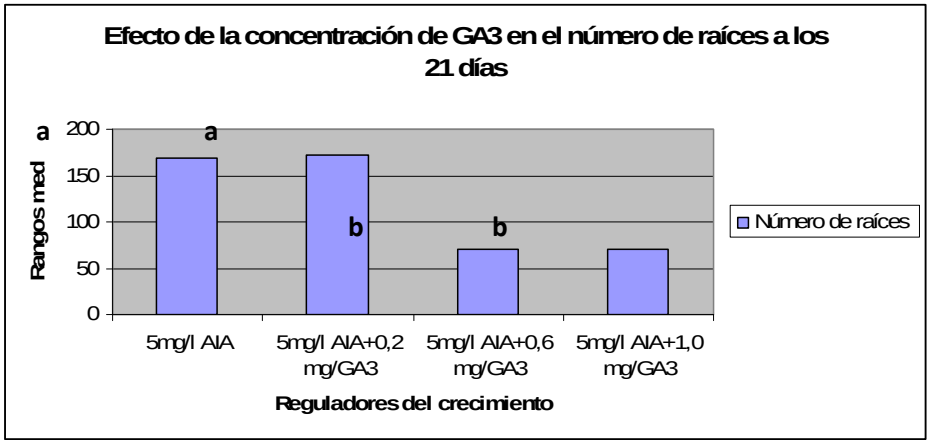


Fig. 3. Efecto de la concentración del GA_3 en el número de raíces de las vitroplantas.

El número de raíces arrojaron diferencias entre los tratamientos formándose el grupo (1-2) con rangos medios mayores que el grupo (3-4).

En el tratamiento (1) sin el empleo del GA_3 tuvo el mismo efecto en el número de raíces que en el tratamiento (2) donde se aplicó la dosis más baja de GA_3.

Por tanto con la aplicación de 5 $mg.l^{-1}$ de AIA con 0.2 $mg.l^{-1}$ de GA_3, mejora la altura de las plántulas, segundo parámetro importante que influye en la calidad de las vitroplantas enraizadas *in vitro*.

Calderón-Baltierra (1994), encontró una diferencia altamente significativa a partir de los 20 días de cultivo con la mayor concentración de GA_3 (0.5 $mg.l^{-1}$) en combinación con 440 mg/l de calcio, que permite el mayor crecimiento en altura y se está en presencia del medio más adecuado para el alargamiento. Sin embargo debido a que las interacciones foliares fueron tan evidentes, se sugiere recurrir a un estímulo más moderado con 0.1 mg/l. Este propio autor encontró que el mayor porcentaje de sobrevivencia en invernadero de plántulas de *Eucaliptos globulus* obtenidas *in vitro* se logra cuando los brotes adventicios se alargan previamente antes de enraizar y recomienda utilizar una concentración menor de 0.1 $mg.l^{-1}$ de GA_3 en combinación con tratamientos de oscuridad por períodos cortos.

Cabezas (2010) recomienda usar ácido giberélico en dosis de 100 ppm, pues mejora el establecimiento, emisión de brotes y crecimiento radicular de la tuna y el alargamiento de brotes adventicios es superior a los 2 cm.

Conclusiones

- Es posible mejorar la altura de las vitroplantas durante el enraizamiento *in vitro*, con el empleo de ácido giberélico a razón de 0.2 $mg.l^{-1}$ en el medio de cultivo, para el cultivar C90-469.
- Con el empleo de 5 $mg.l^{-1}$ AIA con 0.2 $mg.l^{-1}$ GA_3, se lograron producir 238 708 vitroplantas del cultivar C90-469.

Recomendaciones

1. Generalizar el empleo de 0.2 $mg.l^{-1}$ de ácido giberélico en el medio de enraizamiento para el cultivar C90-469.
2. Realizar el estudio del empleo de dosis más bajas durante el enraizamiento de otros cultivares de caña *in vitro*.
3. Realizar el estudio del empleo de aplicaciones de ácido giberélico en fase de multiplicación previo al enraizamiento *in vitro*.
4. Realizar el estudio de aplicaciones foliares en fase de aclimatización.

Referencias

1. Agramonte, D. (1993). Empleo de hipoclorito de sodio en sustitución del flameo en el cultivo de tejidos. Centro Agrícola pp, 88-89.
2. Cabezas, O. (2010). Efecto de tres concentraciones de ácido giberélico en dos varienates de Tuna (*Opuntia Picus-indica)* en la Parroquia de Tumbabiro, provincia de Imbabura. Informe del proyecto de Investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Pecuario. Santo Domingo.

3. Calderón-Baltierra, X., (1994). Influencia del calcio y ácido giberélico en el alargamiento de brotes adventicios in vitro de *Eucalyptus globulus*. Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de Talca, Casilla 747, Talca, Chile. Bosque 15(1):33-38.
4. García, L. (2004). Evaluación de indicadores para la selección temprana del carácter altura en *Musa* spp. Biotecnología Vegetal Vol. 4, No. 4: pp, 207-212.
5. Murashige, T. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays whith tobacco tissue cultures. Physiol Plant, 15: pp, 473-497.
6. Murashige, T. (1974). Plant Propagation through Tissue Culture. Ann.Rev. Plant. Fhysiology.25: pp, 135-166.
7. Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba, 2011.pp, 302-306.
8. Orellana, P. (1998). Propagación y Mejora Genética de Plantas por Biotecnología. Instituto de Biotecnología de las plantas, 9: pp, 151-176.
9. Sandoval, J; Doumas, P; Teisson , C; Cote, F. (1994) Identificación y cuantificación de giberelinas en plantas variantes somaclonales y normales de *Musa* (cv. Grande Naine AAA) mediante HPLC y espectrometría de masa. Memorias de la XI Reunión de la Asociación para la Cooperación en Investigación de Banano en el Caribe y en América Tropical: pp, 149-161 ACORBAT. San José.
10. Torres S, (1995). Fisiología Vegetal. Primera parte. Nutrición. Editorial Pueblo y Educación. ISBN: 959-13-0338-6.

LA CLASIFICACION DE GENOTIPOS Y AMBIENTES EN EXPERIMENTOS MULTIAMBIENTALES. EJEMPLOS DE CUBA Y AUSTRALIA.

Guillermo Gálvez[(1)] y Phillip Jackson[(2)]

1. **Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar**
Carretera de Central Martínez Prieto km 2 ½, Boyeros, Habana
2. **CSIRO, Australia.**
guillermo@inica.azcuba.cu

Resumen.

El presente trabajo expone los resultados de experimentos multiambientales realizados en Cuba y en Australia en etapas finales de selección de genotipos de caña de azúcar. Los experimentos en Cuba fueron realizados en el oriente y el occidente cubanos con 8 y 18 ambientes, y 5 y 12 genotipos respectivamente; los datos Australianos consisten en 8 ambientes formados por 4 localidades y 2 cosechas respectivamente, se utilizaron 33 genotipos. Todas las localidades en ambos países tuvieron suelos y diferentes patrones de lluvia respectivamente. La información fue sometida a diferentes tipos de análisis de varianza multiambientales, (ANOVA) así como análisis de varianza multivariados multiambientales (MANOVA), utilizando el paquete estadístico de software SAS. Los resultados apoyan la hipótesis, de que, generalmente, lugares con niveles similares de Calcio, Manganeso y Zinc tienden a discriminar de forma más similar a las familias de genotipos, que ambientes que difieren para estos nutrientes. Finalmente los resultados mostraron en ambos grupos de experimentos que las técnicas de ANOVA multiambientales, seguida de los MANOVA multiambientales son eficientes para la clasificación de ambientes y genotipos.

CLASIFICATION OF GENOTYPES AND EVIRONMENTS IN MULTIENVIRONMENT TRIALS. STUDY CASES IN CUBA AND AUSTRALIA.

Summary.

This paper shows the main results of multienvironmental trials in Cuba and Australia in later stages of sugarcane selection. In Cuba the experiments were carried out in the western and eastern regions and included 8 and 18 environments and 5 and 12 genotypes respectively. The Australian trials were carried out in the Herbert river valley, north of Queensland, and included 8 environments and 33 different genotypes. First, a multienvironment analysis of variance (ANOVA) was performed for all the data, consisting in 2 harvests for all the trials; second, a multivariate analysis of variance (MANOVA) was performed for all the data. The statistical package SAS was used for all the statistical analyses. The results support the hypothesis that environments with similar levels of Calcium Manganese and Zinc have more possibilities to show similar classification of the genotypes families than environments with different levels of those nutrients. Finally the results showed that ANOVA and MANOVA statistical analyses are efficient for the classification of multienvironmental trials in later stages of sugarcane selection.

Palabras claves: Interaccion genotipo-ambiente, experimentos multiambientales, clasificacion de ambientes. Key Words: Genotype-environment interaction, multienvironment trials, environmental clasification.

Introducción.

La contribución de la genética y el mejoramiento, especialmente la genética cuantitativa se ha estimado como muy importante para el aumento del rendimiento de los cultivos. Los datos publicados en el periodo de referencia apuntan a una contribución de cerca del 50 % del total de incremento de los rendimientos de los cultivos por unidad de área en los pasados 50-60 años, según Duvick, (1996) y Kang (2002).
La llamada interacción genotipo-ambiente (G x E) es un fenómeno de gran importancia que afecta la selección en los programas de mejoramiento. La interacción G x E puede definirse, en forma sencilla, como el comportamiento relativo de los genotipos que difieren en ambientes diferentes reportado por Skinner, Hogarth, y Wu, (1987). Una definición más abarcadora es la siguiente: el comportamiento de las plantas, refleja la interrelación de los factores genéticos y no genéticos, de forma tal que para muchos caracteres de las plantas, el comportamiento relativo de los genotipos puede variar en ambientes diferentes.
La interacción G x E puede deberse a cambios en el genotipo, en el ambiente o a ambos.
Como resultado de la interacción G x E las comparaciones entre genotipos se confunden con el ambiente en que son probados y dificulta la selección Byth, (1981).
A partir de la segunda mitad del siglo XX se desarrollaron métodos para que las comparaciones entre los genotipos y los ambientes fueran más precisas, por lo que una gran proporción de la investigación biológica y en las ciencias agrícolas de los últimos años está relacionada con los estudios de la interacción G x E Hallauer y Pandey (2006).

Materiales y Métodos.

Experimentos de Australia.

Se estudiaron 34 genotipos de caña de azúcar en 8 ambientes (4 localidades x 2 cosechas) en etapas finales de selección de un programa de mejoramiento de caña de azúcar en el Valle del Rio Herbert, Queensland, Australia, Jackson y Gálvez (1996).
Las localidades poseían diferentes tipos de suelos, tomándose muestras para medir todos los nutrientes esenciales y el pH. La lluvia en el periodo oscilo entre 900 y 1100 mm anuales promedios. El diseño experimental para todos los experimentos era de bloques al azar con 2 replicaciones. Se realizaron 2 cosechas.

Experimentos de Cuba.

Los experimentos del occidente fueron realizados en 6 localidades del occidente de Cuba. Se evaluaron 12 genotipos, en diferentes tipos de suelos y precipitaciones en el periodo que oscilaron entre 1250 y 1500 mm anuales promedios. Se realizaron 3 cosechas. En el oriente cubano se evaluaron 5 genotipos en 4 localidades con 2 cosechas, los suelos fueron diferentes y la lluvia oscilo entre 800 y 1250 mm anuales promedios. El diseño experimental para todos los experimentos era de bloques al azar con 3 replicaciones y se realizaron 3 cosechas Gálvez y Thomas (1989).

Análisis estadísticos.

Todos los resultados fueron sometidos a análisis de varianza multiambientales (ANOVA) y análisis multivariados multiambientales de varianza (MANOVA). Se realizó un análisis de variables canónicas y de distancia de Mahanalobis para clasificar genotipos y/o ambientes. Se utilizó el paquete de software de SAS para Windows, V 6,08.

Discusión general.

Resultados de Australia

En la Tabla I se observan primero el ANOVA y después la descomposición de la varianza utilizando un Modelo 2 o Modelo aleatorio según Searle (1971) (Tabla II) para obtener los valores de varianza genéticos y sus interacciones con el ambiente. En ese caso se utilizaron además los datos de un segundo grupo de experimentos (serie 2) en los mismos lugares, pero con diferentes genotipos.
Lo importante a destacar (Tabla I) es la importancia de la interacción G x E para los contenidos azucareros, el rendimiento en biomasa y el azúcar/área, aunque con mayor énfasis en la producción de biomasa. Esto es explicable debido a que el contenido azucarero de los genotipos es más heredable que la producción de biomasa Hogarth (1987) y por consiguiente menos influenciado por la interacción G x E.
LA tabla II refleja que el componente genético es alto tanto para la serie 1 como para la serie 2 de los experimentos, cerca del 50 % de la variación total en la serie 1 y del 40 % en la serie 2, así como los valores de la interacción G x E, aunque en menor medida en la serie 1 mayor en la serie 2 (menos del 50 % y del 60 % de la variación total respectivamente. Por ultimo en la tabla II debe destacarse los bajos valores de los errores estándar de las varianzas, lo que parece indicar una buena planeación y eficiencia de estos experimentos.

Tabla I. Resultados del ANOVA multiambiental de Australia Jackson y Gálvez (1996, modificado)

Fuentes de Variacion	Azúcar %	Caña/Ha	Azúcar/Ha
Lugares (L)	166,44**	24 021,84**	406,68**
Bloques (L)	6,51*	2 116,79*	30,37*
Genotipos (G)	4,88*	1 690**	48,42**
G x L	8,40**	397,49**	8,40**
G x B (L)	0,73	257, 98**	5,14**
Cosechas (C)	266,44**	584,36**	103,74**
L x C	33,47*	5 161,22**	136,44**
C x B (L)	0,21	38,52	1,36
G x C	1,02*	325,59**	8,14**
G x L x C	0,81	114,21**	2,87*
Error	0,62	74,35	2,08
C. V.	5,38	10,55	12,06

* y ** significan diferencias significativos con $p<0,05$ y $p<0,01$ respectivamente.

Tabla II. Componentes de la varianza genética y sus interacciones Jackson y Galvez, (1996, modificado).

Componentes de Varianza	Serie 1[(1)]	Serie 2[(1)]
Varianza Genética σ^2_g	89,4 ± 8,7	36,1 ± 5,9
Varianza genética x lugar σ^2_{gl}	34,3 ± 9,7	20,1 ± 6,9
Varianza genética x cosecha σ^2_{gc}	31,4 ± 8,8	13,5 ± 7,1
Varianza gen. x lugar x cosecha σ^2_{glc}	19,9 ± 8,2	16,1 ± 5,5

(1). Errores estándar de los valores de varianzas.

Tabla III. Correlaciones fenotípicas entre los niveles de algunos micronutrientes y el Componente Principal (CP) 2 para los 3 caracteres analizados.(*)

Nutrientes	T azúcar/ha	T caña/ha	Azúcar %
Calcio	**-0,72***	**-0,80***	**0,76***
Magnesio	**-0,75***	**-0,79***	**0,71***
Zinc	-0,36	**-0,77***	0,50
Manganeso	**0,80***	**0,88***	**-0,83***

(*). Significan correlaciones significativas con $p < 0,01$

La tabla III muestra resultados de correlaciones fenotípicas entre algunos de los niveles de los nutrientes de la fertilidad marginal con el CP 2. Estos resultados apuntan a que dichos nutrientes de los suelos en el Valle del rio Herbert muestran que son parte de las interacción Genotipo x Lugar. Dichos resultados apoyan la hipótesis, de que, generalmente, lugares con niveles similares de Calcio, Manganeso y Zinc tienden a discriminar de forma más similar a las familias de genotipos, que ambientes que difieren para estos nutrientes. Los resultados de este estudio apoyan los de Jackson y col, (1995) los que sugieren que debe haber más investigación sobre los efectos de Calcio y Zinc sobre la clasificación de los genotipos y los ambientes en experimentos de variedades.

Los anteriores resultados, aunque positivos, no son concluyentes y apuntan a la importancia de entender las causas biológicas de la interacción G x E.

El análisis de componentes principales de los experimentos de Australia) con las tres abscisas principales extrajo el 76 % de la variación fue estadísticamente eficiente pero no suficientes para describir los efectos aditivos principales.

La figura I siguiente muestra los dos componentes principales en la clasificación de los 8 ambientes anteriores, teniendo en cuenta el rendimiento y los análisis de suelos de 9 elementos químicos principales.

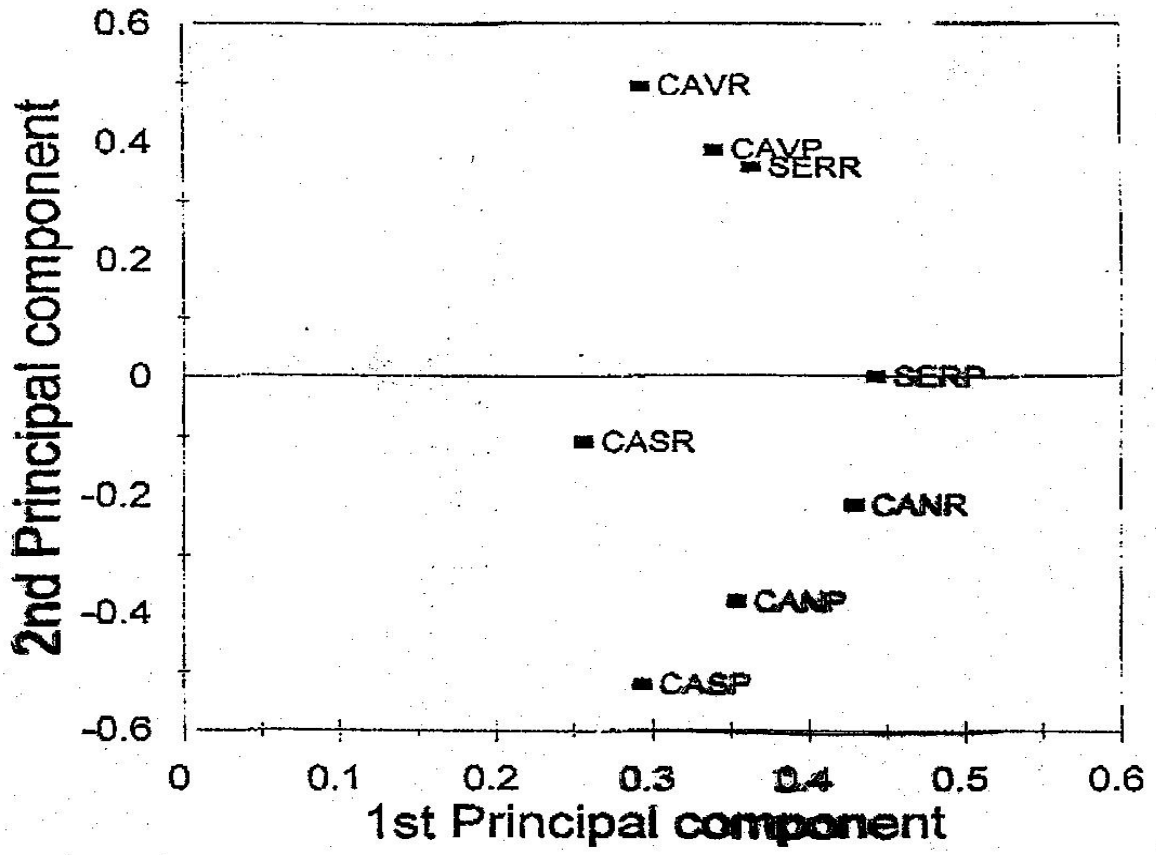


Figura I. Clasificación de 8 ambientes en experimentos METs en Australia. Las P y las R significan cosecha de cana planta y retoños respectivamente, Jackson y Gálvez (1996).

Resultados de Cuba.

Tabla IV. MANOVA para clasificar genotipos y ambientes, Gálvez y Thomas (1989)

MANOVA de los experimentos de Cuba y variables canónicas

(Galvez y Thomas, 1989, modificado)

	G. L.	F Univariado	F Multivariado	T^2 Univariado	T^2 Multivariado
Variedades	11	3,55	2,44	0,27	0,76
Error	144				

Variables canónicas (funciones discriminantes después de resolver el problema de los valores eingen).

$W_1 = 0{,}00814\ X_1 - 0{,}4597\ X_2 + 0{,}2048\ X_3 - 0{,}1114\ X_4$; $\lambda_1 = 0{,}349$
$W_2 = -0{,}05186\ X_1 + 0{,}7273\ X_2 + 0{,}3586\ X_3 + 0{,}3866\ X_4$; $\lambda_2 = 0{,}276$
$W_3 = 0{,}04652\ X_1 - 0{,}7064\ X_2 - 0{,}3637\ X_3 + 0{,}955\ X_4$; $\lambda_3 = 0{,}101$
1 = t caña/ha; 2 = relación t caña/tpol; 3= t pol/ha; 4 = estimado % azúcar

Los datos de la tabla IV muestran el Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA) de los experimentos realizados en el occidente con Genotipos (12) x Localidades (6) x Repeticiones (3). Los valores de F fueron significativos tanto para el análisis univariado como para el multivariado. Se observan, mediante las variables canónicas, el algoritmo que explica la participación ponderada de las 4 variables utilizadas en el análisis, con mayor participación de la variable 2 y la 4 (relación t cana/ t pol y estimado del % de azúcar respectivamente).

Seguidamente la tabla V muestra la distancia de Mahalanobis entre los 12 genotipos de los experimentos referidos. Pueden observarse diferencias más precisas, entre los genotipos que las brindadas por los ANOVA de los experimentos multiambientales como los que estamos tratando.

Tabla V. Distancias de Mahalanobis entre los 12 genotipos Gálvez y Thomas, 1989. Datos no publicados.(*)

Variedades	8	1	11	4	9	7	2	3	10	5	12
6	0,86	1,01	0,58	**1,23**	**1,46**	**1,39**	**2,03**	**1,89**	**3,84**	**2,42**	**1,70**
8		0,37	1,03	0,20	0,68	0,63	**1,21**	**1,22**	**2,31**	**2,41**	**2,93**
1			0,78	0,34	0,06	0,24	0,55	0,47	**1,69**	**1,35**	**1,57**
11				0,82	0,95	0,59	**1,29**	0,72	**1,89**	0,78	**1,24**
4					0,50	0,20	0,61	0,59	**1,17**	**1,50**	**2,56**
9						0,22	0,47	0,33	**1,42**	**1,13**	**1,49**
7							0,26	0,10	0,72	0,68	**1,59**
2								0,29	0,81	0,91	**1,47**
3									0,53	0,31	**1,33**
10										0,80	**3,14**
5											**1,09**

(*)Las distancias en negritas y subrayadas, expresan diferencias significativas con $p < 0{,}05$

A continuación la tabla VI muestra la distancia de Mahalanobis utilizada en este caso para conocer la distancia y clasificación entre los 8 ambientes formados con los experimentos realizados en el oriente del país.
Este autor considera que este tipo de análisis, aun con las limitaciones referidas, son una complementación a los clásicos análisis de varianza en experimentos multifactoriales o multimabientales, que siempre son generalmente necesarios como primera opción en este tipo de situación Byth, (1981), Crossa, (1990).

Tabla VI. Distancia de Mahalanobis con los 8 ambientes de los experimentos realizados en el oriente de Cuba. Gálvez y Thomas, 1989. Datos no publicados. (*)

Ambientes	2	3	4	5	6	7	8
1	**18,5**	**7,7**	**7,9**	**5,1**	**21,8**	**6,6**	2,6
2		**8,1**	**9,8**	**24,5**	**32,7**	**35,2**	**25,8**
3			**14,6**	**20,6**	**41,6**	**11,1**	**7,2**
4				**4,3**	**7,5**	**28,4**	**18,8**
5					**6,6**	**21,5**	**39,3**
6						**51,3**	**30,3**
7							**1,0**

(*)Las distancias en negritas y subrayadas, expresan diferencias significativas con $p< 0,05$

Los resultados analizados muestran, en primer lugar la importancia de realizar los estudios de experimentos replicados multiambientales para la utilización positiva de la interacción G x E en las etapas finales de selección de genotipos de caña de azúcar. Además el uso combinado de los ANOVA y los MANOVA, que se complementan, muestran que dichas metodologías, en forma conjunta, resultan más eficientes en esa etapa de selección. Resultados en esta temáticas han sido obtenidos en Cuba por Jorge y col., (1994); Jorge, (1996); García, (2004); Rodríguez y col, (2010) y en otros países al utilizar de forma positiva la interacción G x E con experimentos multiambientales, Ghaderi, y col, (1980); Crossa, (1990); Jackson y col, (1995); Brown y Glaz, (2001).
También es interesante observar como a pesar de diferencias de genotipos, tipos de suelo y lluvia las metodologías para los estudios y uso positivo de la interacción G x E son similarmente aplicables a estos estudios de Australia y Cuba.
Otro tema de gran importancia es la necesaria investigación de la naturaleza no solo agronómica sino también de tipo biológica del fenómeno de la interacción G x E. Los incipientes resultados de la tabla 3 de alta correlación entre algunos nutrientes llamados “menores o marginales” y la componente 2 del análisis de componentes principales, apuntan a la necesaria profundización de este tema.

Conclusiones.

Los resultados expuestos y discutidos nos permiten exponer las siguientes conclusiones:

- La combinación adecuada de los análisis de varianza complejos (ANOVA), seguidos de análisis multivariados de diferentes tipos, permiten una buena clasificación de genotipos y ambientes en experimentos multiambientales de caña de azúcar en estadios finales de selección. Esta conclusión ha sido apoyada por experimentos realizados en dos regiones de Cuba y una de Australia, con diferentes genotipos, tipos de suelos y regímenes de lluvia diferentes.
- Los resultados obtenidos indican que debe tenerse en cuenta los niveles de elementos nutrientes “marginales” como el Calcio, el Manganeso y el Zinc en la clasificación de genotipos y ambientes.
- Los resultados también muestran que, a pesar del cumulo de investigaciones realizadas para describir y manejar el importante fenómeno de la interacción genotipo-ambiente en caña de azúcar, son

necesarias investigaciones que profundicen en la naturaleza biológica y sus expresiones agronómicas de este importante fenómeno que afecta la selección de genotipos y la clasificación de ambientes en este cultivo.

Referencias.

- Brown, J.S., Glaz, B. (2001). Analysis of resource allocation in final sugarcane clone evaluation. Crop Sci. 41, pp: 57-62.
- Byth, D.E. (1981). Genotype x Environment Interaction and Environmental Adaptation in Plant Improvement- An Overview. In "Interpretation of Plant Response and Adaptation to Agricultural Environments. Refresher Training Workshop. Brisbane, Queensland, Editors D.E. Byth and V.E. Mungomery, pp: 2-10
- Crossa, J. (1990). Statistical analysis of multilocation trials. Advances in Agronomy, V 44: 55-86.
- Duvick, D.N. (1996) Plant breeding, an evolutionary concept. *Crop Science* 36, pp: 539–548.
- 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.
- Ghaderi, A., Everson, E.H., Cress, C.E. (1980). Classification of environments and genotypes in wheat. Crop Sci., 20, pp:707–710.
- Hallauer, A. R., Pandey, S. (2006). Defining and achieving plant breeding goals. In: A.R. Hallauer Symposium, CIMMYT, Mexico pp: 73-89.
- Hogarth, M.D. (1987). Genetics of sugarcane. In: Sugarcane Improvement Through Breeding, Edited by D. J. Heinz, Elsevier, pp: 255-272.
- Jackson, P.A., Galvez, G. (1996). The role of soil nutrient level in causing genotype x site interactions in sugarcane. Proc. f Sugar 2000 Symposium, Brisbane, Qld., Australia. In: "Sugarcane: Research towards efficient and sustainable production, CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, Brisbane, Australia. 1996, pp: 52-54
- Jorge, H., H. García. 1994. Influencia de las localidades en la segunda etapa de selección de variedades de caña de azúcar. I. Análisis univariado y Multivariado. Resumen V. Jornada Científica del INICA. p 27.
- Jorge; H. 1996. Estudio genético de los componentes agroazucareros en las etapas clonales del esquema de selección partiendo de posturas aviveradas de caña de azúcar (Sccharum spp). Cienfuegos 90h. Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Agrícolas. Ministerio del Azúcar. INICA
- Kang, M.S. (2002). Genotype-Environment Interaction: Progress and Prospects. In M.S. Kang, Editor, Quantitative Genetic, Genomics and Plant Breeding. pp: 221-243
- Milanés, N. Enríquez, V., Bello, M. Ordoñez, P (2010). Effects of location and time of harvest on yields of the three main sugarcane varieties in Mexico. Proceedings of ISSCT 27 Congress, Veracruz, Mexico.
- Rodríguez, R. N. Bernal, H. Jorge, H. García, Puchades, Y. (2010). Genotype by environment interaction for yield in sugarcane performance trials: A comparison of frequently used models. Proceedings of ISSCT, 27 Congress, Veracruz, Mexico.
- Searle, S.R. (1971). Linear Models. John Willey and Sons, New York.
- Skinner, J. C.; Hogarth, M. D., Wu, K. K. (1987). Selection methods, criteria and indices.In: Sugarcane Improvement through Breeding. Edited by D. J. Heinz, Elsevier, pp: 409-453.

- Thomas, E., Galvez, G. Study genotype-environment interaction in sugarcane (Saccharum sp.). A proposal for the use of univariate and multivariate analysis. Proceedings of the XX International Society of Sugarcane Technologists. Sao Paulo, Brazil. 1989

COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL CARBONO Y VARIABLES QUÍMICAS DEL SUELO EN DOS ECOSISTEMAS DIFERENTES

COMPARISON OF CARBON VARIATION AND SOIL CHEMICAL VARIABLES IN TWO DIFFERENT ECOSYSTEMS

Maribel González Hidalgo, P. Pablos Reyes, M. E. de León Ortiz, R. Villegas Delgado, F. J. Arcia Porrúa, E. Angarica, E. García Licea y Libia Bouzo Almeida

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). *Carretera CUJAE km 2½, Boyeros, Ciudad de la Habana; CP 1939; Tele/Fax 53(7)2602571,*
E-mail: maribel@inica.minaz.cu

RESUMEN

Se estudió la dinámica espacio–tiempo del carbono (C) y variables químicas (reacción del suelo, fósforo asimilable, N total) de un suelo Vertic Haplustepts, plantado con caña de azúcar y bosque, durante 21 años (1989 a 2009), a las profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm; con temperatura del aire media anual de 25^0C y precipitación pluvial media anual de 1.200 mm. El bosque tiene más de 70 años de establecido y el área con caña de azúcar más de 25, siempre con cosecha mecanizada. El comportamiento del C orgánico del suelo fue diferente en ambos usos de la tierra, manifestando un decrecimiento paulatino en los primeros 20 cm del suelo con bosque, con el avance del tiempo. Para el caso de la caña de azúcar, no se observaron variaciones significativas del C con el decurso del tiempo en ninguna de las profundidades estudiadas. En ambos casos la disminución del C con la profundidad fue evidente. El contenido de C fue superior en el suelo con bosque respecto al suelo con caña. En ambos ecosistemas se encontró relación directa con el N total en el tiempo. El suelo con bosque semialterado, perdió 1.52% de C en 21 años y su decrecimiento en el tiempo en el primer ecosistema se ajustó a una regresión lineal, por el contrario, el suelo con caña no sufrió variaciones significativas en todo el periodo. La RE_{MOS} entre las profundidades 0-20 y 20-40 cm, fue superior en el suelo con bosque con respecto al suelo con caña.

Palabras clave: *manejo del suelo, reservas de carbono, estratificación*

ABSTRACT

The dynamic space-time of the carbon (C) and variable chemistries (soil pH, available phosphorus, total N) was studied in a Vertic Haplustepts soil, planted with sugar cane and forest, for 21 years (from 1989 to 2009), at the depths 0-20, 20-40 and 40-60 cm; with an annual air temperature average of 25^0C and annual average rainfall of 1,200 mm. The forest has more than 70 years of established and area with sugar cane more than 25, always with mechanized harvesting. The behavior of the soil organic C was different in both land uses, demonstrating a gradually decrease in the first 20 cm of forest soil, as the time progressed. In the case of sugar cane, there were significant variations of the C with the course of time in any of the studied depths. The decrease of the C with depth was evident in both cases. C content was higher in the soil with forest from that planted with sugar cane. In both ecosystems, there were found a direct relationship of total N with the time. The soil forest, product of indiscriminate clearing, lost 1.52% of C in 21 years and the

decreasing in time in the first ecosystem was adjusted to a linear regression; on the other hand, the soil planted with sugar cane did not suffer significant changes throughout the period. Soil organic matter stratification relationship (ReMOS) between the depths of 0-20 and 20-40 cm, was superior on the soil with forest from that planted with sugar cane.

Key words*: soil management, carbon stock, stratification*

INTRODUCCION

La materia orgánica del suelo (MOS) es un determinante importante de fertilidad (Tiessen *et al*., 1994). Los suelos tropicales por naturaleza, se caracterizan por la rápida evolución de la MOS y, si a ello se suma el efecto del monocultivo, la degradación consecuente del suelo aparece más pronto, con peligro de pérdida notable de sus cualidades productivas.

El C es componente fundamental de la MOS, involucrado en sus propiedades químicas, físicas y biológicas, coadyuva de manera efectiva a mantener la capacidad del suelo para sostener a largo plazo la calidad de los cultivos. En los países tropicales la MOS cobra mayor importancia por su participación en las propiedades coloidales de los suelos, relacionadas con el crecimiento de las plantas, siendo su contenido de importancia sustancial para mantener la producción agrícola (Urquiaga, *et al,* 2006).

En los últimos años, se ha profundizado en el estudio del C del suelo al nivel mundial, por una parte por su relación directa con emisiones nocivas de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera y, por otra parte, por su secuestro en la biomasa o en el suelo (FAO, 2000; Ponce–Hernández, 2004).

Los suelos son el reservorio de C mayor de la superficie terrestre, según Schlesinger (1997) contienen alrededor de tres veces el que se encuentra en la vegetación (1.500 Pg de C). Los suelos agrícolas almacenan alrededor de 170 Pg de C en el primer metro de profundidad (Cole *et al*. 1996) y pueden constituir un reservorio o una fuente de C en dependencia del manejo que reciban. Así, prácticas como labranza–cero, enmiendas orgánicas, prácticas de conservación y mejoras en la rotación de cultivos y en las recomendaciones de fertilizantes, pueden contribuir a aumentar las reservas de C en el suelo (Paustian *et al*., 1997; Smith, 2001; Ogle *et al*., 2005). Por otra parte, el monocultivo, práctica agrícola frecuente en Cuba y en muchos otros países cañeros, implica degradación paulatina de las propiedades edáficas, como han señalado Primavesi (2002) y Pankhurst, *et al.* (2003)**,** lo que unido a un mal manejo, puede dar lugar a consecuencias catastróficas en el suelo y en el medio ambiente (IPCC, 2003).

La caña de azúcar es un cultivo promisorio en cuanto a su producción de biomasa y en consecuencia, es capaz de capturar gran cantidad de C (102,3 a 108,93 $t.ha^{-1}$ en un periodo de 7 años), comparable con la que fijan los bosques tropicales (112.6 $t.ha^{-1}$) en las condiciones de Cuba (Ponce–Hernández, 2004), lo que significa que el cultivo puede capturar cantidades de C en el periodo mencionado, similares a las que fijan los bosques, razón por la que se debe tratar que éste manifieste su potencial productivo a través de un manejo agronómico adecuado (agua, nutrientes, cultivo), que permita la máxima eficiencia de transformación de la energía luminosa en fitomasa.

La rápida degradación del suelo al nivel mundial, sobre todo en los países tropicales en vías de desarrollo, despertó en la década de los años 90 del pasado siglo XX la preocupación por la calidad del suelo y la sostenibilidad de la exploración agrícola (Sánchez, 1976, Lal, 2002). Desde entonces, varios conceptos de calidad del suelo fueron propuestos, siendo el mejor de ellos el que define la calidad del suelo como la capacidad para mantener la productividad biológica, la calidad ambiental y la vida vegetal y animal saludables sobre la faz de la tierra (Doran y Parkin, 1994, citados por Santos y Camargo, 1999). Por tanto, la

calidad del suelo es un concepto basado en la premisa de que el manejo puede deteriorar, estabilizar o mejorar las funciones del ecosistema suelo.

Para el monitoreo del suelo, de manera que puedan sugerirse modificaciones en los sistemas de manejo, a modo de evitar su degradación, es necesario definir atributos del suelo y del ambiente, sensibles al manejo y de fácil determinación. En este contexto, Larson y Pierce (1994), citados por Santos y Camargo (1999), propusieron un conjunto mínimo de variables químicas, físicas y biológicas, que acompañadas, a través del tiempo, fueran capaces de detectar las alteraciones en la calidad del suelo en función del manejo. El C orgánico y la MOS están entre esas variables y, más recientemente, la razón de estratificación de la MOS con la profundidad del perfil, expresada como relación, pudiera indicar la calidad del suelo bajo diferentes condiciones de manejo (Melero *et al*. 2012). Basado en este planteamiento, autores como Uranga (2002) utilizaron la razón entre el contenido de la MOS de la capa superficial y la subsiguiente, como indicador más confiable de la calidad del suelo que el C o la MOS por si solos. La estratificación ocurre porque los nutrientes aplicados como fertilizantes o desechos animales, generalmente se emiten sobre la superficie del suelo y también porque los residuos de cosecha que son devueltos al suelo, se descomponen poco al mezclarse con el suelo.

Los ecosistemas forestales contienen más C por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos (que contienen cerca de 40% del C total) y son de importancia primordial cuando se considera el manejo de los bosques (FAO, 2002). Por lo general, en los bosques naturales el C del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es afectado (FAO, 2002). Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos (FAO, 1993) y que muy a menudo parte del C orgánico se pierde, dando lugar a una considerable emisión de CO_2. Por tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de C. Además, la deforestación está acompañada con frecuencia de la pérdida de nutrientes esenciales a través de la erosión y por la compactación del suelo (Eneji *et al*., 2003; Cerri *et al*., 2007).

La pérdida de material húmico de los suelos cultivados es superior a la tasa de formación de humus de suelos no perturbados por lo que el suelo, bajo condiciones de cultivos convencionales, es una fuente de CO_2 para la atmósfera (Kern y Johnson, 1993; Gifford, 1994 y Reicosky, 2002).

Avilan *et al*. (1981), citados por Hernández y López (1995), midieron la contribución de la materia orgánica y algunos nutrientes por el sistema radical de la caña de azúcar y pastos cultivados, encontrando que éste hace un aporte fundamental de MOS, capaz de alcanzar 0.034 $t.ha^{-1}$ de N y 0.015 $t.ha^{-1}$ de P, lo que no compensa la exportación de nutrientes con la cosecha, especialmente de N (cuyo índice de extracción es aproximadamente de 1.5 a 1.7 $kg.t^{-1}$ de tallo, solamente restituido con la fertilización mineral).

La declinación del rendimiento azucarero está muy asociada a la disminución del C del suelo fertilidad de los suelos reflejado por el comportamiento, siendo necesario buscar de manera urgente, soluciones de manejo que conlleven a su incremento, para el rescate de las cualidades productivas. El objetivo del trabajo fue comparar el tamaño, distribución y cuantificación de las reservas de C del suelo plantado con caña de azúcar en relación con el suelo de bosque durante un periodo de 21 años, así como su relación con algunas variables químicas del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló durante 21 años (1989 a 2009, ambos inclusive), en dos ecosistemas diferentes: caña de azúcar y su correspondiente bosque; sobre suelo Vertic Haplustepts según World Reference Base for Soil

Resourses (IUSS Working Group WRB, 2006); con una temperatura media anual de 25 grados Celsius y una precipitación media anual de 1.200 mm; en la localidad Candonga del municipio Palma Soriano en la provincia Santiago de Cuba (20°16'20" Norte y 76°02'30" Este. Ambos ecosistemas estaban establecidos al comenzar el estudio, desconociéndose su historia.

El ecosistema boscoso semialterado por la tala indiscrimanda, cuenta con más de 70 años de edad y está representado en su mayoría por Hibiscus elatus Sw (majagua), 8%; Samanea saman (algarrobo), 22%; Eucalyptus spp (eucalipto), 24%; Caffea arabica Lin (cafeto), 12%; Manguifera indica Lin (mango), 10%; Psidium guajava Lin (guayaba), 6%, además de otras especies en menor cuantía (8%) como Persea americana Mill (aguacate), Pouteria sapota (zapote), Citrus limon L. Burm (limón francés), Citrus sinensis L. (naranja dulce), Citrus aurantium L. (naranjo agrio) y Citrus reticulata (mandarina).

El ecosistema con caña de azúcar, con más de 25 años, siempre con cosecha mecanizada y un rendimiento medio de alrededor de 70 $t.ha^{-1}$, pertenece al Complejo Agroindustrial «Dos Ríos». Recibió la fertilización mineral según el «Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas» (SERFE), del INICA, y en sus cuatro ciclos de cosecha se utilizaron los cultivares Ja60–5 y C87–51.

Los muestreos se realizaron anualmente, en los meses de mayo a julio, a las profundidades 0 a 20; 20 a 40 y 40 a 60 cm. Para la toma de muestras se utilizó la metodología publicada por Sánchez (1990), la que establece que el muestreo debe hacerse en forma de triángulo con barrena agroquímica. Se escogieron nueve puntos representativos de las áreas de estudio, homogeneizando las muestras de cada profundidad para formar una muestra compuesta y luego separarla por el método del cuarteo, obteniendo un total de 18 muestras por año.

Las muestras tomadas fueron secadas al aire, molidas y pasadas por tamiz de malla de 1 mm, para su posterior procesamiento. Las determinaciones y los métodos analíticos se realizaron según las «Normas Metodológicas del Departamento de Suelos y Agroquímica» del INICA (Sánchez *et al*., 1990).

Los métodos utilizados en cada determinación, así como las unidades en que se expresan, aparecen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Métodos analíticos utilizados en la caracterización química de las áreas.

Determinación	Método	Unidad	Especificaciones
Materia orgánica	Walkley & Black	Porcentaje	Titulación
Densidad aparente	Método del cilindro	$t*m^{-3}$	
Nitrógeno total	Digestión H_2SO_4 y Se	Porcentaje	Destilación y valoración
P asimilable	H_2SO_4 0.1 N	P_2O_5 mg.100 g^{-1} suelo	Colorimetría

Al inicio de la investigación se realizó un muestreo de caracterización del área de cada ecosistema, cuyos resultados analíticos aparecen relacionados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Variables químicas del suelo Vertic Haplustepts, determinadas al inicio del experimento (1989)en los ecosistemas bosque y caña de azúcar.

Ecosistema	Prof.	pH [en KCl]	MOS	N total	COT	P	K	Ca	Mg	Na	K
	cm	-log[H]	Porcentaje			mg.100 g^{-1}		Cmol (+).kg^{-1}			
Bosque	0–20	5,9	6,29	0,31	3.65	16,32	0,54	68,62	9,06	0,49	0,89
	20–40	6,1	2,48	0,12	1.44	4,86	0,40	71,08	8,05	0,76	0,71
	40–60	5,8	1,35	0,07	0.78	2,46	0,29	70,00	6,58	1,01	0,54
Caña de Azúcar	0–20	6,6	2,77	0,14	1.61	18,72	0,62	75,00	7,45	0,36	0,92
	20–40	6,6	2,43	0,12	1.41	11,64	0,46	76,09	7,52	0,42	0,76
	40–60	6,6	1,40	0,07	0.81	2,52	0,43	76,01	7,81	0,43	0,70

El cálculo de las reservas de C se realizó utilizando la fórmula:

$$RC = fC*\rho*Pm*100 \quad (1)$$

Donde: RC es la reserva de C en $t.ha^{-1}$; ρ es la densidad aparente del suelo en $t\ m^{-3}$; fC es la fracción de C; Pm es la profundidad de muestreo en cm y 100 es el factor para expresar el resultado en toneladas por hectárea.

La «razón de estratificación de la materia orgánica» se calculó mediante la ecuación:

$$RE\mathbf{MOS} = MOS\mathbf{sup}/MOS\mathbf{prof} \quad (2)$$

Donde: $RE_{\mathbf{MOS}}$ es la razón de estratificación de la materia orgánica entre los contenidos observados a las profundidades de 0 a 20 y 20 a 40 cm; MOS**sup** es el contenido de MOS cercano a la superficie o primer estrato de muestreo y MOS**prof** es el contenido de materia orgánica del suelo en la profundidad de muestreo subsiguiente. Tanto MOS**sup** como MOS**prof** se midieron en cm y ambas en la capa arable.

La información climática referida a precipitaciones, temperaturas máxima, media y mínima; humedad relativa y evaporación, se registraron mensualmente.

Tratamiento estadístico de los datos. Al hacer un análisis exploratorio de datos y comprobar que su estudio incluyendo los dos ecosistemas no se ajustaba a una distribución normal, se procedió a hacerlo por separado, donde la población correspondiente a cada conjunto de datos resultó normal, al no diferir de la prueba Shapiro-Wilk W para cada una de las variables estudiadas. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de esta prueba practicada al C del ecosistema cañero en los primeros 20 cm de profundidad, que muestra que no hay diferencias significativas entre las categorías observadas y las estimadas. El procesamiento estadístico de los datos se realizó con la utilización del paquete estadístico Statistica v6.1 y Microsoft Excel 2007.

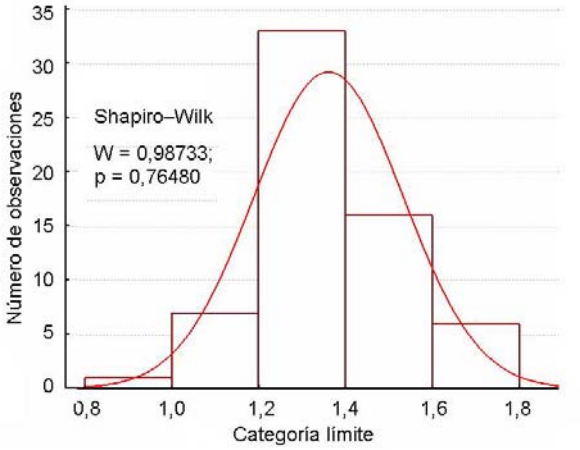


Figura 1. Histograma de frecuencias de los datos de C orgánico correspondientes al ecosistema cañero en los primeros 20 cm de profundidad. La probabilidad 0.76480 indica que no hay diferencias entre los valores observados y los estimados.

RESULTADOS Y DISCUSION

Carbono orgánico del suelo. El suelo, como reservorio de C de la superficie terrestre, interactúa enérgicamente con la composición atmosférica, el clima y los diferentes usos de la tierra. La capacidad de predecir y mejorar las consecuencias de cambio global depende, en parte, del conocimiento de la distribución y control del C orgánico en el suelo y de cómo la vegetación puede afectarlo con la profundidad del suelo. Ambos ecosistemas estudiados, mostraron comportamiento diferente en cuanto a la cantidad de C acumulado por profundidad. Así, los primeros 20 cm del suelo con bosque representaron 60.66% de todo el C del perfil y el suelo cultivado 51.13%, lo que indica que a pesar de la tala indiscriminada, la cantidad de biomasa generada por el primero es superior a la del suelo bajo cultivo (Figura 2). Se encontraron mayores variaciones de esta variable entre profundidades en el suelo con bosque que en el suelo con caña de azúcar, igualándose su contenido en la profundidad de 40 a 60 cm, lo que pudiera indicar que su existencia a esa profundidad no está influida por el tipo de vegetación bajo las condiciones estudiadas. La presencia de C en las capas subsuperficiales de los dos ecosistemas tuvieron estadísticamente igual comportamiento ($F(20, 168) = 1{,}0797$; $p = 0{,}37504$). No obstante, se observó una disminución de la diferencia existente entre el C de los dos ecosistemas, en la medida en que avanzaba la profundidad del perfil, hasta llegar a desaparecer en la profundidad de 40 a 60 cm. En ambos estudios el C decreció con la profundidad (Figura 2).

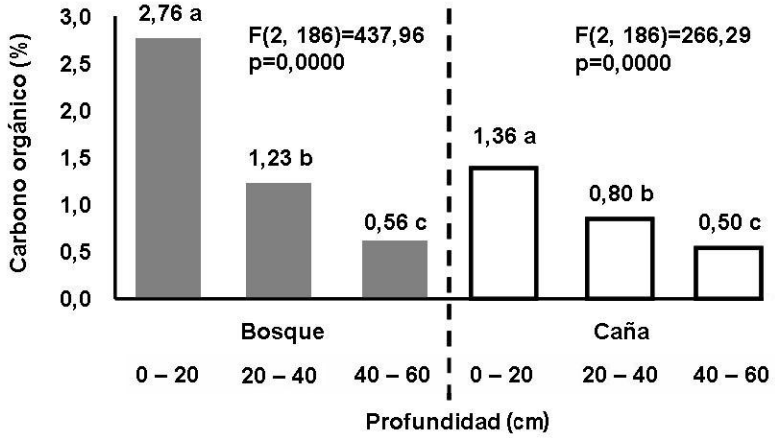


Figura 2. Resultado del análisis de varianza practicado por separado a los datos de COT de los ecosistemas bosque semialterado (F(2, 186)=437,96, p=0,0000) y caña de azúcar (F(2, 186)=266,29, p=0,0000) en las profundidades estudiadas de un suelo Vertic Haplustepts de Santiago de Cuba. Los valores representan la media de 21 años de cada profundidad.

Reservas de carbono orgánico. Las reservas de C del suelo del ecosistema boscoso fueron superiores a las del ecosistema cañero, observándose diferencias significativas entre ambos (F(20, 84) = 6,1441M; p = 0,00000*) en la capa arable (Figura 3). En su dinámica temporal, el suelo con bosque mostró una disminución progresiva de sus reservas de C a lo largo de los 21 años de estudio, perdiendo en ese periodo alrededor de la mitad de las iniciales. Este comportamiento se ajustó a un modelo lineal (Figura 3). Según FAO (2002), el C en los suelos forestales, por lo general, se encuentra en equilibrio, pero tan pronto ocurre la deforestación o reforestación, esa condición es afectada, lo que se corrobora en este trabajo, en la condición de ecosistema semialterado. Tendencias similares fueron observadas por Lal (1996) en Nigeria y por Prause (1997) en Argentina. En el caso del ecosistema cañero, no se observaron variaciones en sus reservas de C durante los 21 años de estudio, manteniéndose en alrededor de 25 t de C en todo el periodo (Figura 3). A partir de la profundidad de 20 a 40 cm, no hubo variación del C en ninguno de los ecosistemas estudiados. Resultados similares fueron reportados por Geissen (2009) en México, al estudiar la influencia de diferentes usos de la tierra sobre esta variable, entre los que se encontraba el cultivo de la caña de azúcar. Con relación a las reservas de N, el comportamiento fue muy similar a las de C para ambos ecosistemas (los datos no se muestran).

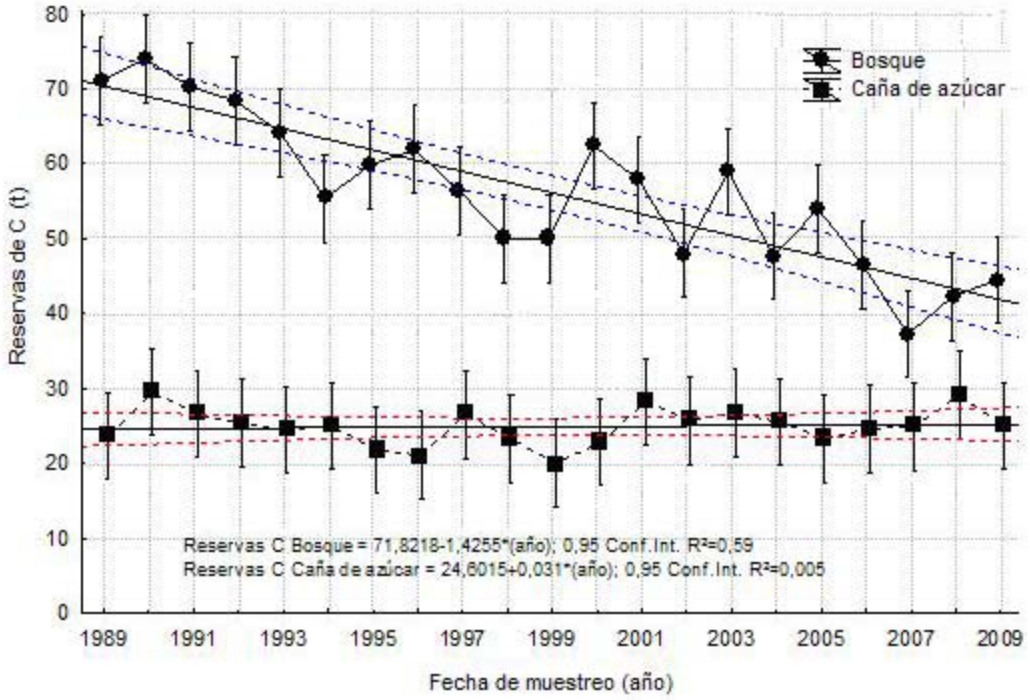


Figura 3. Variación de las reservas de C con el tiempo en los primeros 20 cm de un suelo Vertic Haplustepts plantado con caña establecida por más de 25 años y bosque por más de 70 años (F(20, 84)=6,1441, p=,00000*). Barras verticales denotan intervalos de confianza a 0.95.

Relación C/N. El C es un constituyente fundamental de la MOS, relacionado directamente con el N que, además, es parte importante de la misma y factor limitante en el secuestro del C. La relación C/N para ambos ecosistemas resultó estar alrededor de 10 unidades, siendo ligeramente inferior en el suelo con caña de azúcar (9,93) que en el suelo con bosque (10,33), lo que explica, en parte, el comportamiento estable del C en el sistema agrícola. El menor valor de la relación para el suelo con caña de azúcar pudo haber estado influido por la fertilización nitrogenada anual que recibe este cultivo. Nuestros resultados corresponden con los referidos por Urquiaga (2011). Esta relación permite deducir que el aumento de C en el suelo no sólo depende del aporte de residuos, sino también de la existencia de N disponible en el suelo para suplir las necesidades de la planta. Sisti, *et al.* (2004) encontraron una correlación muy similar a la hallada en este trabajo. El contenido de N en el suelo con bosque fue mayor que en el suelo con caña de azúcar, influida la diferencia por las variaciones experimentadas por esta variable solamente en la capa arable, pues en el resto de las profundidades y en el ecosistema cañero, permaneció prácticamente inalterable. Con respecto a la dependencia entre los contenidos de C y N en el suelo, la Figura 4, muestra la estrecha relación existente entre ambos, con una R^2=0.96.

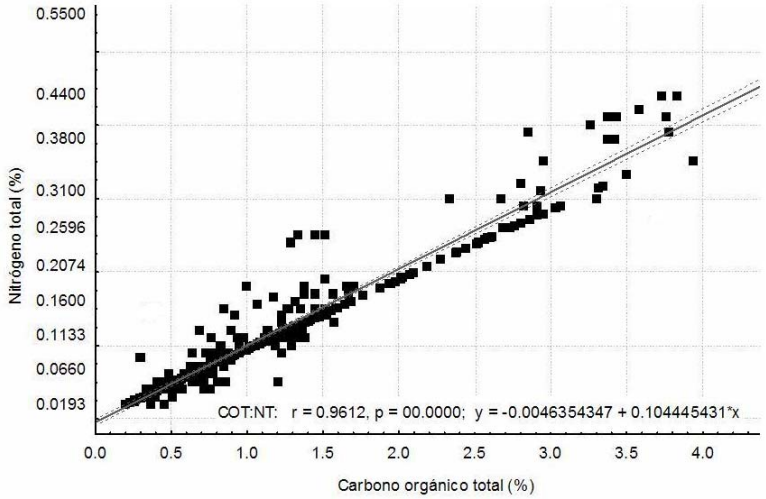


Figura 4. Relación entre el C orgánico total (COT) y el nitrógeno total (NT) de diferentes ecosistemas y profundidades de un suelo Vertic Haplustepts de Palma Soriano, provincia Santiago de Cuba (R^2 = 0,96; p = 0.0000*; NT = – 0,0046354 + 0.1044454*COT).

Carbono y fósforo asimilable. La relación observada entre el C y el P asimilable del suelo en los ecosistemas bosque semialterado y caña de azúcar se muestra la Figura 5. Se aprecia que en ambos casos existe relación lineal directa, con mejor ajuste en los valores correspondientes al ecosistema cañero (R^2= 0.87). Los mayores valores de P asimilable en el suelo con caña de azúcar se fundamentan en el hecho de que este cultivo recibe anualmente fertilización fosfórica, además de los residuos de cosecha verde que permanecen en el campo, que también representan un aporte de este elemento.

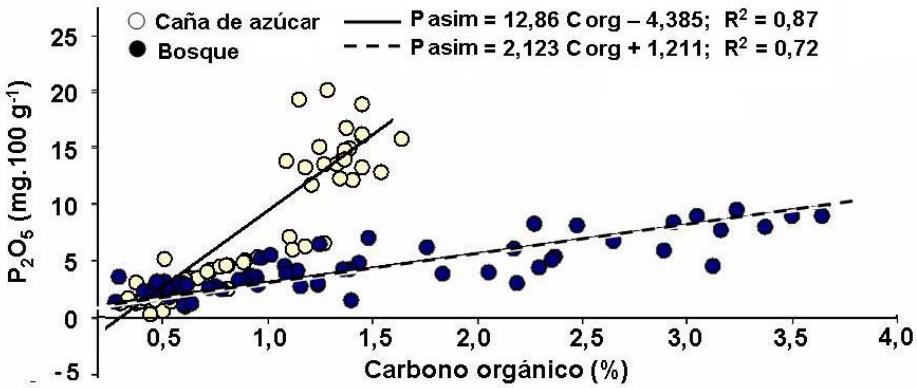


Figura 5. Relación entre el P asimilable y el C orgánico de un suelo Vertic Haplustepts plantado con caña de azúcar y bosque perteneciente a Santiago de Cuba.

El P asimilable en su dinámica temporal tuvo un comportamiento similar al presentado por el C y el N en ambos ecosistemas. En el ecosistema bosque, ambas variables se ajustaron a ecuaciones lineales con R^2 de 0,81 y 0,69, respectivamente, en la profundidad de 0-20 cm. Esto es perfectamente comprensible si se tiene en cuenta que el fósforo está sujeto a fenómenos de adsorción e intercambio aniónico en las superficies coloidales cargadas positivamente, como la materia orgánica, razón por la que aumenta o disminuye en correspondencia con sus variaciones en la capa arable del suelo (Figura 6). La similitud en las tendencias lineales negativas de estos tres elementos con el decurso del tiempo en el ecosistema boscoso, muestra su interdependencia en el suelo. Cuando la materia orgánica por alguna razón, es afectada, el desbalance

ocurrido se reflejará en todos aquellos elementos que forman parte de su estructura, como son el N, el P y el C (Figura 6).

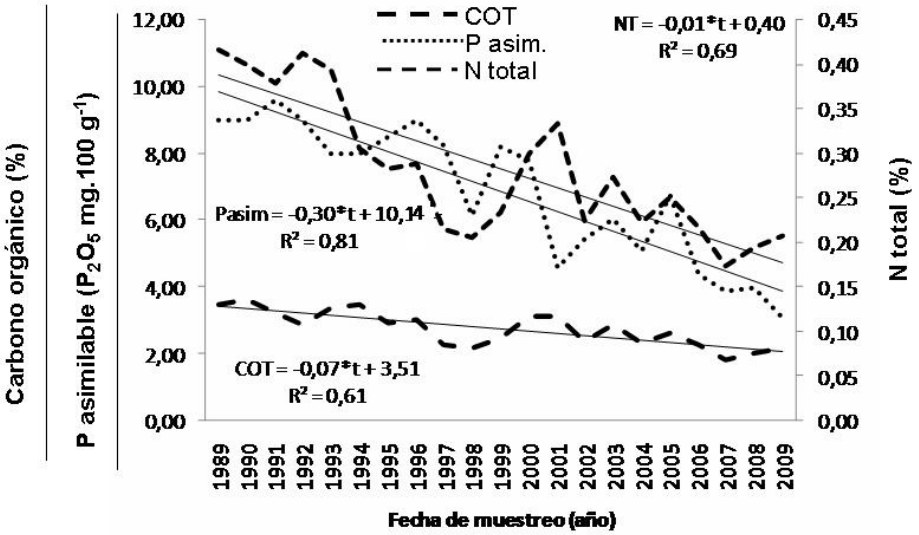


Figura 6. Comportamiento del carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT) y fósforo asimilable (P asim.) en el transcurso del tiempo (t) en la capa arable del suelo plantado con bosque perteneciente a Santiago de Cuba

Relación de estratificación (REMOS). La calidad del suelo es un concepto que comprende la premisa de que el manejo puede deteriorar, estabilizar o mejorar las funciones del ecosistema suelo. De acuerdo con Franzluebbers (2002), el grado de estratificación de las existencias de C y N con la profundidad del perfil, pudiera indicar la calidad del suelo o el funcionamiento del ecosistema, porque la MOS de la superficie es esencial para el control de la erosión, la infiltración de agua y la conservación de nutrientes. Las relaciones de estratificación permiten comparar en la misma escala de evaluación una amplia diversidad de suelos, debido a un procedimiento de normalización interna que tiene en cuenta las diferencias inherentes a los mismos.

Teniendo en cuenta las premisas enunciadas, se consideró determinar la relación que existe entre el contenido de C de la capa arable y la subsiguiente (RE**MOS**), con el objetivo de evaluar cuan fértil podía resultar el suelo. En este sentido se determinó la razón de estratificación propuesta por Franzluebbers (2001), de acuerdo con la ecuación 1. Según este autor, una relación de estratificación por encima de 2 significa alta funcionalidad del ecosistema. En este estudio ambos ecosistemas mostraron valores de estratificación por encima de dos, siendo mayor para suelo con bosque (3,82) que para aquel con caña de azúcar (2,91), lo que concuerda con investigaciones desarrolladas por el referido autor, que trabajando con suelos Ustochrept, Eutrocryept, Cryoboralf y Natriboralf, encontró que los menos perturbados tenían una mayor RE**MOS**, comparados con los mismos suelos manejados agronómicamente. Esta relación experimentó una disminución al final del periodo estudiado en el ecosistema boscoso; por el contrario, en el suelo con caña de azúcar la tendencia fue a aumentar ligeramente.

CONCLUSIONES

1. El C en la capa arable del suelo con bosque, experimentó disminución en la medida en que avanzó el tiempo a lo largo de los 21 años estudiados, mientras que, en el suelo con caña de azúcar no mostró variación en igual periodo.

2. El C de la capa arable del suelo en el ecosistema con bosque fue superior al del ecosistema con caña de azúcar, no obstante, a la profundidad subsiguiente no se observaron diferencias entre los valores de los dos usos de la tierra, por lo que en este estudio, no se detecta influencia del tipo de cultivo sobre el C a profundidades mayores que 40 cm. En ambos casos hubo decrecimiento del C con la profundidad.
3. El P asimilable experimentó un comportamiento similar al del C y el N en la capa arable del suelo con bosque, ajustándose en cada caso a regresiones lineales inversas en el tiempo.
4. La RE_{MOS} resultó ser superior en el suelo con bosque que en el suelo con caña de azúcar, sin embargo, ambos valores se encuentran dentro del rango reportado por la literatura para un suelo de buena calidad productiva.
5. La fertilidad química del suelo con caña de azúcar no sufrió cambios en 21 años de estudio, la RE_{MOS} experimentó un aumento no significativo en el tiempo, mientras que en el suelo con bosque, producto de intervención antropogénica, ocurrió un decrecimiento gradual en todo el periodo de estudio, lo que influyó negativamente en la RE_{MOS}.

REFERENCIA

1. CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C.C. (2007). Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. Scientia Agricola, v.64, p.83-99.
2. Chen, W., J.M. Chen, D.T. Price, J. Cihlar, and J. Liu. (2000). Carbon offset potentials of four alternative forest management strategies in Canada: A simulation study. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 5, pp. 143-169. 15:1-14.
3. Desjardins, T., Barros, E., Sarrazin, M., Girardin, C., Mariotti, A. (2004). Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. Agriculture, Ecosystems and Environment 103, 365–373.
4. ENEJI, A.E.; AGBOOLA, A.; AIYERLARI, E.A.; HONNA T.; YAMAMOTO, S.; IRSHAD, M.; ENDO, T.(2003). Soil physical and micronutrient changes following clearing of a tropical rainforest. Journal of Forestry Research, v.8, p.215-219.
5. FAO (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Reporte 96. Roma, 83 pp.
6. Franzluebbers, A. J., Stuedemann, J. A. (2002). Soil organic matter stratification with depth under pastures in the southern piedmont USA. Soil Science Society of America Annual Meeting.
7. Geissen, V. et al., (2009). Effects of land-use change on some properties of tropical soils. An example from Southeast Mexico, Geoderma doi:10.1016/j.geoderma.2009.03.011.
8. GIFFORD, R. M. 1994. The global carbon cycle: A viewpoint on the missing sink. Aust. J. Plant Physiol. 21: 1-15.
9. Hernández, M. E. y D. López (1995). Respiración edáfica y aportes de materia orgánica por las raíces y hojarasca en un cultivo de caña de azúcar. Agronomía Tropical, 45 (1):121-141.
10. INICA (1996). Manual de procedimiento del SERFE, Sistema de información de Laboratorios de Suelo (SISLAB), 90 pp.
11. IPCC (2003). Good Practice Guidance for Greenhouse Gas Inventories for Land-Use, Land-Use Change & Forestry. Institute of Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan.
12. IUSS Working Group WRB; *World Reference Base for Soil Resources 2006, 2nd edition,* World Soil Resources Reports: 103, FAO, Rome (2006).
13. KERN, J. S. y JOHNSON, M. G. (1993). Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. Soil Sci. Soc. Am J. 57: 200-210.

14. Lal, R. (1996). Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. III. Soil erosion and nutrient loss. Land Degradation & Development, Vol. 7, 87 – 98
15. Lal, R., 2002. Soil carbon dynamics in croplands and rangelands. Environmental Pollution 116, 353–362.
16. Melero, Sebastiana, R. J. López-Bellido, L. López-Bellido, Verónica Muñoz-Romero, F. Moreno, J. M. Murill o, A. J. Franzluebbers (2012). Stratification ratios in a rainfed Mediterranean Vertisol in wheat under different tillage, rotation and N fertilization rates. Soil and Tillage Research. Volume 119, March 2012, Pages 7–12.
17. Nissen, Todd M. and Wander, Michelle M. (2003). Management and Soil-Quality Effects on Fertilizer-Use Efficiency and Leaching. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:1524–1532.
18. OGLE, S.M.; BREIDT, F.J.; PAUSTIAN, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. Biogeochemistry, v.72, p.87-121.
19. Pankhurst, C. E.; Magareyb, R. C.; Stirlingc, G. R.; Blaird, B. L.; Belle, M. J.; Garside and Sugar Yield Decline Joint Venturef (2003). Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia Soil and Tillage Research. Volume 72, Issue 2, August 2003, 125-137 p.
20. Paustian, K., Andrén, O., Janzen, H.H. Lal, R., Smith, P., Tian, G.,Tiessen, H., van Noordwijk, M. & Woomer, P.L. 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO_2 emissions. Soil Use and Management 13: 1-15.
21. Ponce-Hernandez, R. (2004). Assessing carbon stocks and modeling win–win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rome, 2004, pp 166.
22. Prause, J. (1997). Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y los nutrientes en un monte nativo del Parque Chaqueño Húmedo. 205 p. Tesis Magister Sciences. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
23. Primavesi, A. (2002). Manejo Ecológico do solo. A agricultura em regiões tropicais. São Paolo, Nobel. Pp. 350.
24. REICOSKY, D. C. (2002). Long – Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage – Induced CO_2 Loss. In: J. M. Kimble, R. Lal and R. F. Follet (Editors), Agricultural Practices and Polices for Carbon Sequestration in Soil. Lewis Publishers. Papers form symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 87-96.
25. Sanchez, P. A. (1976). Properties and management of soils in the tropics. New York. Jhon Wiley. 618 pp.
26. Santos, G. A; Camargo, F. A. O. (1999) (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis. p: 227-244.
27. Sisti, C. P. J.; SANTOS H. P.; KOHHAN R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. (2004). Changes in carbon and nitrogen stocks in soils under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. Soil and Tillage Research. V 76, p 39-58.
28. Smith, B. and O. Pilifosova, (2001). Adaptation to climate change in context of sustainable development and equity. In Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. J. J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K. White (ed.), Cambridge University Press, Cambridge.
29. TIESSEN, H.; J.W.B. STEWART and A. OBERSON. (1994). Innovative soil phosphorus availability indices. Assessing organic phosphorus. En: J.L. Havlin y J.S. Jacobsen (eds.) Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations. SSSA Spec. Publ. 40, Madison, WI. 143-162 pp.

30. Uranga, M. (2002). SOIL PHOSPHORUS STRATIFICATION AND THE PHOSPHORUS NUTRITION OF SOYBEAN. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the College of Agriculture at the University of Kentucky. 105 pp.
31. Urquiaga, S., Rodrigues Alves, B. J. Pozzi Jantalia, Claudia e Boddey, R. M. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma analise critica. 30 pp.
32. Walkley, A., y I.A. Black. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29–38.
33. Yoo, Gayoung, Todd M. Nissen, and Michelle M. Wander (2006). Use of Physical Properties to Predict the Effects of Tillage Practices on Organic Matter Dynamics in Three Illinois Soils. J. Environ. Qual. 35:1576–1583.

PERFECCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE PROPAGACIÓN "IN VITRO" DEL CULTIVAR DE CAÑA DE AZÚCAR C 96-435.

IMPROVEMENT OF *IN VITRO* PROPAGATION SYSTEM OF SUGARCANE CULTIVAR C 96-435.

Mayra Jiménez Vázquez*, Jorge L. Montes de Oca, Zenaida Occeguera Águila, Pablo Machado, Aydiloide Bernal, Ana Rosa Hernández, José R. Garcías Fardales.

1. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. (ETICA Centro Villa Clara).
Autopista Nacional Km. 246. Ranchuelo. Villa Clara.
E- mail: biofábrica@.vc.azcuba.cu

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo perfeccionar el comportamiento de la regeneración *in vitro* de los meritemos en la fase de establecimiento. Se compararon dos variantes de incubación de los meristemos durante la primera semana después de la implantación. Los cuales crecieron en incubadora termostatada, logrando un 93.3 % de regeneración con diferencia significativa en relación a los que crecieron bajo condiciones de oscuridad en la cámara de crecimiento (86.5%). Se sustituyó la esterilización química por la cocción del medio de cultivo. Como resultado se obtuvo que la cocción del medio de cultivo tuvo mayor efectividad durante el proceso de micropropagación en las diferentes fases evaluadas; lográndose el incremento de los siguientes indicadores: de un 20 a 30% del coeficiente de multiplicación *in vitro*, desarrollo vegetativo, mayor longitud y número de raíces. Se disminuyeron las contaminaciones in vitro, por lo que la calidad de las vitroplantas obtenidas influyó de forma significativa en los resultados alcanzados en la fase de aclimatización.

Palabras clave: caña de azúcar, cultivo de tejidos, meristemos

Abstract

The objective of the present work was to improve the behaviour of *in vitro* regeneration of the meristems in the establishment phase. Two incubation variants were compared during the first week after the establishment phase. Which grew in thermostated incubator, achieving a regeneration rate of 93.3% with significant difference in relation to those that grew under darkness conditions in growing chambers (86.5%). the chemical sterilization was substituted by the cooking of the culture medium. The cooking of the culture medium showed a bigger effectiveness during the micro propagation process in the different evaluated phases; achieving the increase of the following indicators: a 20 to 30% of the in vitro multiplication coefficient, a better vegetative development, a greater longitude and number of roots. The *in vitro* contaminations, so the quality of the *in vitro* plantlets obtained influenced significantly in the results reached in the acclimatization phase.

Key words: sugarcane, tissue-cultured plantlets, meristems

Introducción

Las biofábricas o laboratorios comerciales de cultivo de tejidos están sometidas a las exigencias del entorno, que se caracteriza por una creciente competencia, basada en la disminución incesante de los precios a pesar de que los niveles de eficiencia y eficacia productiva alcanzados no son suficientes para competir con éxito en este mercado; sin embargo, la búsqueda de soluciones para el aumento de la productividad y la disminución de los costos, tiende a la modificación y/o sustitución de las tecnologías actuales por otras más modernas, desconociéndose en muchos casos, las reservas potenciales que aún existen en la fuerza de trabajo y en la aplicación de nuevas metodologías de trabajo que conllevan a impulsar los resultados productivos a niveles relevantes en los marcos de la micropropagación *in vitro.* Suárez (2000).

El principal problema que ha presentado la producción masiva de plantas *in vitro* en los laboratorios comerciales en Cuba y a escala mundial son los altos costos de producción. Algunas de las causas que lo originan lo constituyen las pérdidas en el proceso dado por los altos índices de mortalidad y contaminación microbiana durante el cultivo *in vitro* y la disminución de los coeficientes de multiplicación provocados por la falta de aplicación de un adecuado manejo en las tecnologías de micropropagación con los sistemas organizativos como requiere. Pérez (1994).

Esta búsqueda trajo consigo otras alternativas para el establecimiento de ápices meristemáticos de caña de azúcar y de esterilización de los medios de cultivo que superan los métodos precedentes, constituyendo esto el objetivo principal para el desarrollo de este trabajo

Materiales y Métodos

El presente trabajo se desarrolló en la Biofábrica de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara – Cienfuegos, en el período comprendido entre enero y junio del 2010 donde se estudió el comportamiento en la regeneración del meristemo apical por el método tradicional (cámaras de crecimiento, temperatura semi controlada y luz natural) y en incubadora termostatada con temperatura controlada. También se evaluó la sustitución de la esterilización química empleando Hipoclorito de sodio y Vitrofural (G-1) por la esterilización a través de Hipoclorito de sodio y el medio de cultivo esterilizado por ebullición durante 5 minutos

Procedimientos generales

Material vegetal

Se utilizaron donantes de caña de azúcar del cultivar C96 435, con 6 meses de edad, procedente del Banco de Semilla Registrado de las Tunas, implantándose un total de 80 meritemos.

Medio de cultivo

El medio de cultivo utilizado para el establecimiento y multiplicación de la caña estuvo compuesto por las sales MS propuestas por Murashige y Skoog (1962), suplementado con 1mg.L^{-1} de Tiamina, 0,2 mg.L^{-1} de 6 BAP y 3% de sacarosa y se le ajustó el pH a 5.8 previo a la esterilización. Jiménez (1995).

Esterilización del medio de cultivo

El medio de cultivo de establecimiento se esterilizó en autoclave a 121ºC y 1.2 kg.cm^{-1} de presión durante 15 minutos y en el medio de multiplicación y enraizamiento se probó la esterilización con el uso Vitrofural (G-1) a razón 115 mg. L^{-1} y la ebullición del medio de cultivo durante 5 minutos (sin Vitrofural). El pH fue

ajustado con el uso del ácido clorhídrico (HCl) 0.1M y/o el hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M previo a la esterilización del medio de cultivo.

Procedimientos específicos

Experimento # 1: Se realizó con el objetivo de determinar la eficiencia de dos métodos de incubación y crecimiento en la regeneración de los meritemos en la fase de establecimiento

Procesamiento de la muestra
Los 80 spindles procedentes del banco de donantes se llevaron al laboratorio y se eliminaron las hojas más maduras que envuelven el ápice, dejándose un cilindro central de 10cm de longitud y 1,5cm de diámetro. Posteriormente se lavaron cuidadosamente con agua y detergente y se sometieron a un tratamiento de saneamiento con hidrotermoterapia a 50.5 ºC durante 10 minutos, seguido de un enfriamiento inmediato en agua a temperatura ambiente.

Desinfección
La desinfección se realizó con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 3% de producto activo durante 10 minutos y seguidamente se realizaron 3 enjuagues con agua destilada estéril. En condiciones asépticas bajo cabina de flujo laminar se eliminaron las hojas que envuelven al meristemo hasta llegar a la zona de tejido más joven, obteniéndose un explante de un tamaño entre 0.5 y 1cm que incluye el meristemo apical y varios primordios de hojas. La inoculación del tejido vegetal se realizó en tubos de ensayo de 14.5 cm. x 2.5 cm. conteniendo el medio de establecimiento con un volumen de 10 mL y los 80 tubos se incubaron en condiciones de oscuridad durante la primera semana para reducir la fenolización de los explantes (40 en la cámara de crecimiento con fluctuaciones en la regulación en la temperatura y 40 dentro de la incubadora termostatada a 28ºC). Transcurrido 7 días fueron trasladados y colocados en condiciones de iluminación (1500 - 2000 lux).
Parámetros evaluados:

- Explantes muertos
- % de regeneración
- Índice de contaminación (%)
-

Experimento #2: Se realizó con el objetivo de evaluar la respuesta fisiológica del material vegetal y los niveles de contaminación en la fase de multiplicación y enraizamiento con la utilización de dos métodos de esterilización del medio de cultivo.

Procedimiento realizado

- Esterilización del medio de cultivo con la utilización de Vitrofural (G-1)

El medio de cultivo se cocinó y se dejó hervir durante 5 minutos. Para añadir el Vitrofural se esperó a que el medio de cultivo tuviera aproximadamente 90°C y se añadió la dosis establecida del producto (115 mg. L^{-1}), diluido previamente en etanol absoluto agitando fuertemente hasta lograr una dispersión homogénea del producto en el medio de cultivo.
La dosificación del medio de cultivo se realizó en un ambiente con higiene adecuada y climatizado, y los frascos se enjuagaron previo a la dosificación del medio de cultivo con una solución de hipoclorito de sodio al 0.01%

- Esterilización del medio de cultivo por ebullición durante 5 minutos.

El procedimiento de cocinado y dosificación del medio de cultivo se realizó de la forma anteriormente descrita pero sin la adición de Vitrofural

Parámetros evaluados en la fase de multiplicación

- Coeficiente de multiplicación
- Números de hojas por explantes
- Mortalidad
- Índice de contaminación (%)

Parámetros evaluados en la fase de enraizamiento

- Número de raíces
- Longitud de las raíces.
- Índice de contaminación (%)

Resultados y Discusión

Experimento #1

Como resultado de este experimento se logró mejorar la eficiencia en la regeneración de los meritemos del cultivar de caña C96 435, cuando el proceso se desarrolló durante la primera semana de crecimiento dentro de una incubadora termostatada

Como se aprecia en la tabla I, en la fase de establecimiento se observó un comportamiento superior y con significación estadística en los parámetros explantes muertos y % de regeneración de los meristemos que se mantuvieron durante la primera semana en incubadora termostatada, comparados con los que estuvieron todo el tiempo de esta fase en las cámaras de crecimiento

Tabla I: Comportamiento de los explantes en la fase de establecimiento in vitro del cultivar C96 435 bajo la influencia de dos métodos de incubación.

Variables	Explantes muertos	% de regeneración	Índice de Contaminación (%)
Cámaras de Crecimiento (tradicional)	6b	84.5b	5.16a
Incubadora	2a	93.3a	4.81a
MG ± ES	4.0 ± 0.51	88.9 ± 0.41	4.98 ± 0.48

* Nivel de significación ($p < 0.05$)

Este resultado puede estar dado a que en la incubadora puede regularse de manera permanente las condiciones de temperatura garantizando de forma estable las exigencias del material vegetal para su adecuado desarrollo, no siendo así en las cámaras de crecimiento que constantemente presenta fluctuaciones y resulta imposible mantener un control estable de los indicadores de temperatura e iluminación exigidos por el material vegetal.

Experimento #2

En la fase de multiplicación (ver tabla II) se observó un comportamiento ligeramente superior del medio hervido y con significación estadística en el parámetro de coeficiente de multiplicación sobre el tratamiento con Vitrofural. El comportamiento superior del medio hervido pudo estar relacionado con la supresión del efecto negativo del agente químico (Vitrofural) sobre el medio de cultivo, relacionado con la presencia de sustancias nocivas para los tejidos vegetales como el Polyethylenglycol

Tabla II. Efecto de los dos métodos de esterilización del medio de cultivo en la fase de multiplicación.

Método	Coef. de multiplic.	Longitud del tallo	Índice de contaminación (%)
Vitrofural	3.73 b	3.67	2.30
Hervido	4.32 a	3.95	2.12
MG ± ES	4.02 ± 0.51	3.81 ± 0.26	2.21 ± 0.23

* Nivel de significación ($p < 0.05$)

En las restantes variables evaluadas no se aprecian diferencias significativas con lo cual se lograron valores similares en la longitud del tallo y el índice de contaminación, que son parámetros fundamentales en esta etapa de la micropropagación.

En la fase de enraizamiento (Tabla III), se observó que continúa el efecto logrado en la etapa de multiplicación con valores similares, de forma general, en todos los parámetros analizados para el tratamiento con el medio hervido que fueron superiores al tratamiento con Vitrofural.

Tabla III. Efecto de los dos métodos de esterilización del medio de cultivo en la fase de enraizamiento.

Método	Número de raíces	Longitud del tallo	Índice de contaminación (%)
Vitrofural	3.87 b	5.22 b	3.91
Hervido	4.98 a	7.01 a	3.64
MG ± ES	4.42±1.08	6.11 ± 1.72	3.77 ± 0.29

* Nivel de significación ($p < 0.05$)

Las variables número de raíces y longitud del tallo en las plantas *in vitro* enraizadas en los medios de cultivo esterilizados por ebullición presentaron diferencia estadística con las enraizadas en medios con Vitrofural, obteniéndose valores acordes con las especificaciones de calidad para las plantas de caña en la fase de enraizamiento para ser transferidas a la fase de aclimatización. El sistema de aseguramiento de calidad para Biofábricas exige que las plantas enraizadas deban presentar un tamaño mayor o igual a 4 centímetros y un sistema radical bien desarrollado con al menos 2 raíces (Suárez *et al*, 1998).

Impacto económico, social y medio ambiental del resultado.

Desde el punto de vista económico arribamos al siguiente análisis: teniendo en cuenta que en el trabajo desarrollado y escalado a niveles productivo en la Biofábrica, eliminamos del proceso la utilización del Vitrofural podemos concluir que para la producción de 1 millón de vitroplantas dejamos de consumir 1kg de este producto y por tanto nos ahorramos un total de $2500 CUC y $ 600MN

Por otra parte se logra disminuir los porcientos de mortalidad en esta etapa del proceso, disminuyendo consigo las pérdidas del material vegetal, lo cual representa un incremento de un 10% en los niveles productivos.

La eliminación de productos químicos para lograr una disminución del impacto nocivo ambiental ha sido una tendencia en incremento en el mundo actual. Este trabajo produce un evidente impacto ambiental ya que propicia la eliminación de un reactivo químico (Vitrofural) usado en el proceso de esterilización de los medios de cultivo en la Biofábrica, provocando una evidente protección del entorno ambiental, al eliminar los efectos nocivos que provocan los químicos.

Desde el punto de vista social se logra una disminución de las pérdidas en el proceso productivo, logrando un mayor nivel de eficiencia; posibilitando con ello mayores ingresos en la Biofábrica por concepto de producción.

Conclusiones

1. La utilización de incubadora termostatada durante la primera semana de implantación de los meristemos de caña de azúcar elevó la eficiencia en la regeneración de los mismos.
2. Es factible la utilización de la esterilización del medio de cultivo a través de su ebullición.

Referencias

1. Agramonte, D. (1999). Métodos biotecnológicos para la producción de semilla original de papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
2. Alvarado, Y. (1998). Contaminación microbiana en el cultivo in vitro de plantas (Capítulo 5). En: Propagación y Mejora Genética de Plantas por Biotecnología. Editado por el Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 81 – 104.
3. Cassells, A. (1991). Problem in tissue culture: culture contamination micropropagation: Technology and application. Kluwer Academic Publisher. Printed in Netherlands. pp. 31 – 45.
4. George, E. (1993). Plant propagation by tissue culture. Chapter 5, Part 1. 2nd Ed, Exergetics Ltd.pp. 130-143.
5. González, O. (1993). Mínima concentración inhibitoria (MCI) del G- 1 frente a bacteria y levaduras del género Candida. Registro de Medicamentos Queratifural. C.B.Q. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. Cuba.
6. Herman, E. (1996). Microbial contaminations of plant tissue culture. Agritech Consultants, INC, SHRUB OAK. Pp. 1- 68.
7. Hernández, M. y Alonso, A. (1989). Evaluación de los parámetros enzimáticos y hermatológicos del preparado bioactivo G- 1. Trabajo de Diploma. Facultad Química farmacia. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. Cuba.
8. Herrera, A. (1985). Manual de medio de cultivo. Editorial Científico- Técnica. Cuidad de La Habana, Cuba.
9. Hurtado, M. (1987). Cultivo de tejidos vegetales. Merino M. Editorial Trillas, abril.
10. Leifert, C. (1994). Ecology of microbial saprophytes and pathogens in tissue culture and field grown plants: reason for contamination problems *in vitro*. Critical Reviews in Plant Sciencies. 13: 139.
11. Leifert, C. y Woodward, S. (1998). Laboratory contamination management: the requirement for microbiological quality assurance. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 52: 83- 88. Kluwer Academic Publishers.

12. Monteagudo, D. (1993). Evaluación de propiedades químico- físicas del G- 1 que pueden afectar su biodisponibilidad por vía oral. Trabajo de Diploma. Facultad Química Farmacia. Universidad Central de Las Villas. pp. 55.
13. Oquendo, J. (1990). Comportamiento *in vitro* del G- 1 frente a diferentes bacterias, acción *in vivo* frente a pseudomona aeuroginosa. Trabajo de Diploma. Facultad Química Farmacia. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. Cuba.
14. Pérez, A. (1983). Evaluación de la efectividad del G- 1 aplicado contra la sarna en conejos de experimentación. III Seminario de CENSA. Resumen 305.
15. Pérez, J. (1994). Informe sobre la situación de la red de biofábricas para la agricultura no cañera. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
16. Plant Cell Technology Inc. (1998). PPM. Data sheet.
17. Roca, W. (1991). Cultivo de tejidos en la Agricultura. Fundamentos y Aplicaciones. CIAT. Santafé, D.C., Colombia.
18. Salazar, S. (1985). Cultivo de meristemos en cormos, raíces y tubérculos tropicales.
19. Suárez, M. (1998). Sistema de Control de la Calidad para Biofábricas de múltiples cultivos. Informe Final de Investigación. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 12- 16.
20. Suárez, M. (2000). Presupuesto de gasto para Biofábricas. Manuscrito. Informe Final de Investigación. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
21. Suárez, M. (2000). Presupuesto de gasto para Biofábricas. Manuscrito. Informe Final de Investigación. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
22. Torriente, J. (1996). Susceptibilidad *in vitro* del G- 1 frente a candida. Trabajo de Diploma. Facultad de Química farmacia. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. Cuba.
23. Triana, R. (2000). Introducción de una nueva metodología para la esterilización de los medios de cultivo. Tesis en opción al Grado Científico de Master en Biotecnología Vegetal. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. Cuba.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO UNA HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN Y MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA EMPRESA CAÑERA HÉCTOR MOLINA.

THE GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM AS A TOOL FOR PLANNING OPERATION OF THE IRRIGATION AND DRAINAGE SYSTEMS IN THE SUGARCANE ENTERPRISE HÉCTOR MOLINA

Carlos Lamelas Felipe[1], Ledya Benítez Puig[1], Reynaldo Roque Rodés[1], Idarmis Fernández Valdés[1], Maira Ferrer Reyes[1] y Judith Viñas Quintero[1]

1: Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
lamela@inica.azcuba.cu

Resumen

La Empresa Héctor Molina se localiza al Suroeste de La Habana en la provincia de Mayabeque, limita al Norte con la Empresa Agrícola Miguel Sonerías y Pecuaria El Cangre, por el Sur con la Ensenada de la Broa, por el Este con el municipio de Unión de Reyes y por el Oeste con el municipio de Batabano, posee un potencial de riego de 10540 ha y tiene en la actualidad 3529.4 ha bajo riego, de las cuales 2292.7 ha están aptas para regar. Los requerimientos de agua medios para cepas de caña planta y retoños variaron entre 158.8 y 560.5 mm, entre 5 y 17 riegos y frecuencias o intervalos entre 7 y 9 días para las condicionales de los suelos Rhodic Ferralsols y Eutric Ferralsols con el método de riego por aspersión y el método de riego por gravedad en los suelos Eutric Gleysols. En el caso del drenaje las soluciones deben estar orientadas con el uso de la tecnología 1 para resolver el drenaje superficial de los primeros suelos cuyas medidas fundamentales deben ir dirigidas a la nivelación y el diseño y construcción de una red parcelaria superficial como solución de los escurrimientos. En los suelos Eutric Gleysols se recomienda la tecnología 2 (drenaje superficial y subsuperficial), con medidas dirigidas a evitar las inundaciones, nivelación, red de badenes y canales de drenaje, así como el uso de la siembra en banco o semibanco como solución complementaria del drenaje superficial y el arado topo para los problemas de drenaje interno.

Palabras claves: SIG, zonificación, riego, drenaje, caña de azúcar.

Abstract

Sugar Mill Hector Molina is located at southheast of Havana City, belonging to Mayabeque province, limits at North with Miguel Soneiras Agricultural Company and Cattle Farm El Cangre, at South with Ensenada of the Broa bay, at East with Union de Reyes municipality and the West with Batabano municipality possesses en irrigation potential of 10540 ha there end has 3529.4 ha at the present are under watering, of which 2292.7 ha ara capable to be irrigated.The average water requirements for plant cane and first ratoon varied between 158.8 and 560.5 mm, between 5 and 17 irrigations and frecuencies of intervals between 7 and 9 days for conditions of Rhodic Ferralsols and Eutric Ferralsols soils with the irrigation method for splinkler and also Eutric Gleysols. In the case the drainage solutions should be guided with the use of technology 1 to solve the

surface drainage of the first soils whose fundamental measured should go directed to the leveling and design and contruction of a field net would superficial as solution of the glides. In Eutric Gleysols soil the technology is recommended 2 (surface and subsurface drainage), with measureds directed to avoid the floods, leveling, crossing passage net and drainage channels, as well as the use of the bank planting or semibank like coplementary solution of the superficial drainage and the plow mole for the problem of internal drainage.

Key words: System of Geographical Information, zone classification, irrigation, drainage, sugar cane.

Introducción

El papel del agua en los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar es de vital importancia, Sagardoy (1998), señaló que con la disminución de los recursos hídricos, la competencia por el agua ha reducido la disponibilidad de la misma para cada usuario, el cual se ve forzado con frecuencia a disminuir su uso. Por otra parte la reducción de las áreas productivas motivadas por el uso excesivo del agua y las pérdidas, así como las afectaciones por mal drenaje y salinidad son causas más que suficientes para tener una fundamentación y proyectar trabajos dirigidos a hacer un uso racional del recurso agua. Por tanto la solución tecnológica, la capacitación dirigida a la gestión en el uso del agua, así la valoración del posible impacto ambiental son indispensables en la actividad de explotación (Vermillion y Sagardoy, 2001)

El problema actual con la explotación de los sistemas de riego y drenaje, permite lanzar la hipótesis de que aumentando la productividad agrícola de las áreas de riego y con un uso eficiente del agua se puede incrementar la producción cañera; por tanto es objetivo fundamental del trabajo brindar los elementos básicos para la planificación y manejo de los recursos hídricos en la Empresa Héctor Molina.

Materiales y métodos

La Empresa Héctor Molina tiene un potencial de riego de 10 540 ha. En estos momentos poseen 3259.4 ha bajo riego, de las cuales 2292.7 ha son con valor de uso. La fuente de abasto es subterránea.

Las características hidrogeológicas corresponden a un acuífero del Mioceno perteneciente al la cuenca HI-5, Melena-Nueva Paz. Este tramo tiene un área de 1514 km^2. La profundidad en el nivel freático se comporta entre 15 y 20 m en la porción Norte, de10 a 15 m., en la parte Central y menor de 10 m al Sur del área de la Empresa.

Un resumen de las series históricas climáticas se presenta en la Figura 1. La precipitación media total anual es de 1451 mm, para el caso de la precipitación del 75 % de probabilidad es de 1172 mm. De las precipitaciones medias caen el 81 % en el período húmedo comprendido entre mayo y octubre y el 19 % en el período seco de noviembre a abril; lo cual es típico para el territorio nacional. La evapotranspiración de referencia media fue determinada por el método de Penman- Monteith y alcanzó un valor de 1447.4 mm anual.

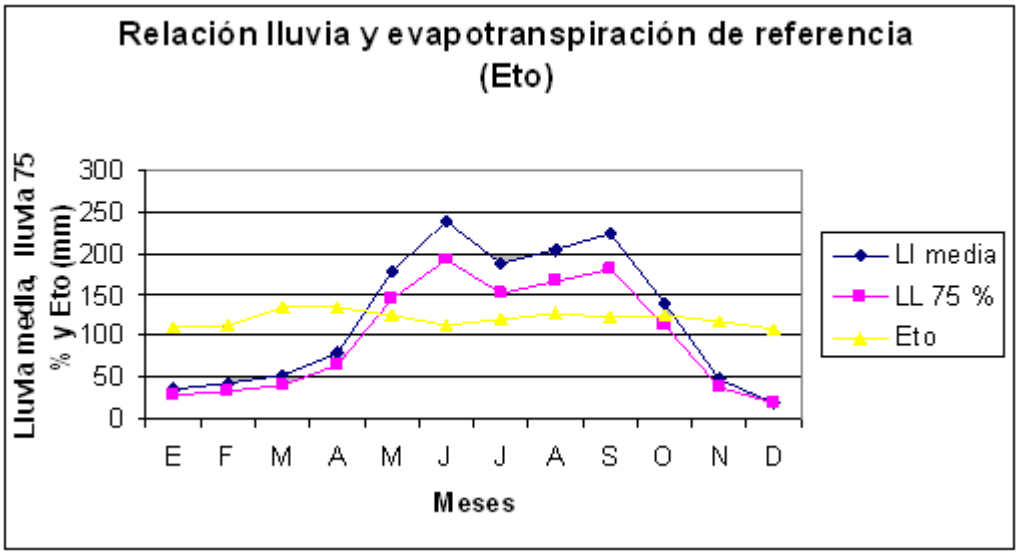


Figura 1. Precipitaciones y evapotranspiración de referencia**.**

La clasificación de los suelos se realizó a partir de los criterios aportados por MINAZ (1996) y FAO (1999).Los requerimientos de agua de la caña de azúcar fueron determinados por los sistemas automatizados CROPWAT y SIERIED reportados por Smith (1992) y Lamelas y Vázquez (2011) respectivamente. La estimación de los rendimientos agrícolas se realizó a partir de la reducción del consumo de agua y rendimiento potencial y se obtuvo por intermedio de la expresión de Doorenbos y Kassam (1986). Para la zonificación de los métodos de riego por aspersión y gravedad y las tecnologías de drenaje superficial y subsuperficial o interno, se utilizó el sistema automatizado SIERIED, a partir de los criterios aportados por FAO (1990) y FAO (1995). En el caso de la elaboración de los mapas temáticos fue utilizada la metodología para la utilización de un SIG divulgado por Pérez y Valdés (2005).
La tabla I, brinda los elementos considerados para la selección de las tecnologías de riego y drenaje por tipos de suelos.

Tabla I. Elementos considerados para la zonificación de las técnicas de riego y drenaje.

Tipos de suelos	P (%)	V_i (mm/h)	P_e (m)	N (mm)	I (días)	M (m^3 /ha)
Rhodic Ferralsols	0.6 - 2	24 - 72	0.6 – 1.0	< 50	<15	> 150
Eutric Ferralsols	1.0 – 4.0	24 - 30	0.25 –0.4	< 50	<15	> 150
Eutric Gleysols	0.6 – 1.0	12	0.4 – 0.5	> 50	> 15	< 150

P: Pendientes V_i: Velocidad de infiltración básica N: Norma parcial de riego I: Intervalos de riego M: Microrelieve del terreno

Resultados y discusión

Las Figuras 2, 3,4 y 5 muestran los requerimientos de agua para las cañas plantas y retoños. La norma neta total varió entre 159 y 561 mm, los riegos oscilaron entre 7 y 16, con intervalos entre 7 y 9 días, todo en dependencia del tipo de cepa, edades y de los suelos.

Figura 2.Cepas de primavera con ciclos de 12 meses. (Régimen reducido).

Figura 3.Cepas de primaveras con ciclos mayores de 16 meses (régimen reducido).

Figura 4.Cepas de fríos con ciclos de 16 meses (régimen reducido).

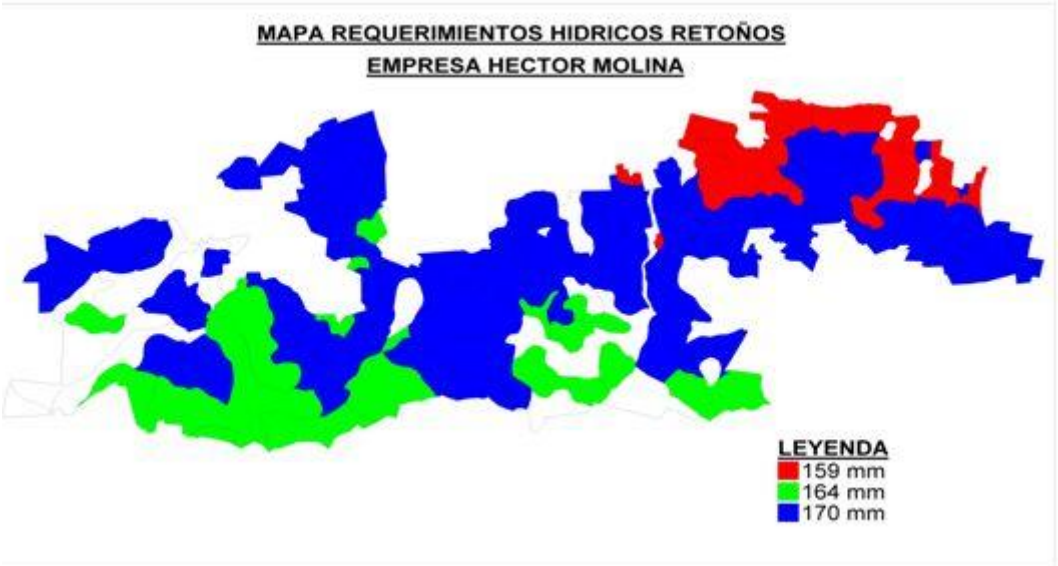


Figura 5.Cepas de retoños con ciclos de 12 meses (régimen reducido).

La Figura 6, permite ver la relación agua y rendimiento de la caña de azúcar. Una planificación de reducción entre 15 y 25 % del consumo de agua potencial, permitió obtener entre 75 y 82 t/ha, lo que representa una disminución entre un 18 y 25 % del rendimiento potencial de la caña, en este caso 100 t/ha de promedio por cepas. El análisis estadístico, mostró el modelo lineal como el de mejor ajuste, con un coeficiente de correlación de 0.9860 el cual resultó altamente significativo ($P < 0.01$). Los rendimientos agrícolas antes señalados, son aproximados a los rendimientos promedios expuestos por Moore (2010) citado por Lamelas (2012) para las condiciones de regadío de Australia, Colombia y Sudáfrica.

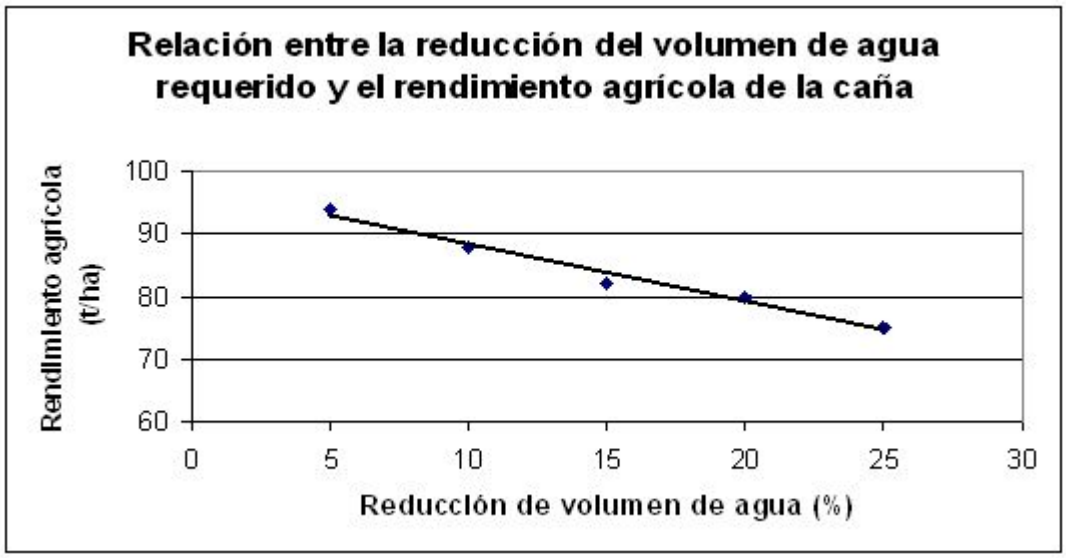


Figura 6. Relación agua agrícolas. y rendimientos

La Figura 7 muestra la distribución de los diferentes métodos de riego por tipos de suelos. En el caso de los suelos Rhodic Ferralsols, la topografía más representativa es de llana a casi llana y la velocidad de infiltración oscila entre moderada a moderadamente rápida, lo cual fundamenta la propuesta del método de aspersión con las variantes de técnicas por carretes o pívot, en dependencia de la conformación geométrica del área, magnitudes de la velocidad del viento predominantes y los caudales disponibles. Otra variante a valorar en estos suelos es el método localizado con la técnica de goteo, el cual es factible cuando exista alguna limitación para utilizar la aspersión, teniendo a favor los bajos costos de operación, la alta eficiencia en el uso del agua, pero en contra los altos costos de inversión. En el caso de los suelos Eutric Ferralsols, los cuales son de poca profundidad efectiva, la velocidad de infiltración es moderada, la plasticidad es de poca a media, de forma general la topografía es de casi llana a ligeramente ondulada, por lo que se sugiere al método por aspersión con la técnica de carretes como lo recomendable para estos suelos en este lugar. Para el caso de los suelos Eutric Gleysols, los cuales son plásticos con velocidades de infiltración moderadamente lentas, ubicados en zonas llanas, es sugerente el método superficial con la técnica de riego por surcos.

Figura 7. Zonificación de los métodos de riego.

En la Figura 8 se detalla la zonificación de las diferentes tecnologías de drenaje para el territorio. Se observa que para los suelos Rhodic Ferralsols no se requieren complicadas soluciones de drenaje, sus características ya fueron descritas por lo que la tecnología propuesta es la 1, cuyas medidas fundamentales deben ir dirigidas a la nivelación y diseño y construcción de una red parcelaria superficial como solución de los escurrimientos. Similares medidas pueden ser utilizadas para los Eutric Ferralsols cuyas características de drenaje tanto superficial como internas son buenas, pero que empeoran en lugares más llanos. Con respecto a los suelos Eutric Gleysols, con un proceso de gleyzación a partir de los 40 cm y con drenaje superficial e interno deficientes se recomienda la tecnología 2, con medidas dirigidas a evitar las inundaciones, nivelación, red de badenes y canales de drenaje, así como el uso de la siembra en banco o semibanco como solución complementaria del drenaje superficial, también el uso del arado topo para los problemas de drenaje interno.

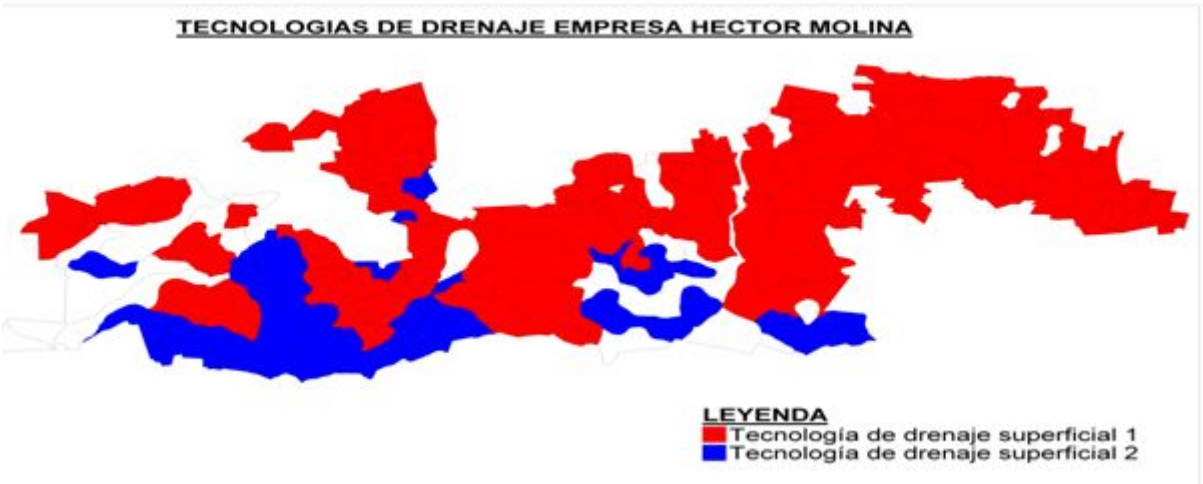


Figura 8. Zonificación de las tecnologías de drenaje.

Los resultados obtenidos, permiten una planificación de la operación de los sistemas de riego y drenaje en la Empresa Héctor Molina y tienen su basamento en las experiencias divulgadas por Del Rosario y colaboradores (1993) en la Empresa Batalla de Santa Clara, Del Rosario y colaboradores (1994) en la CPA Cuba – Laos, Lamelas y colaboradores (2003) en la UBPC Ciro Redondo (Unidad Productiva) de la Empresa Gregorio A. Mañalich**,** Lamelas (2004) en la propia empresa, Hernández (2005) en varias empresas azucareras del Valle de Guantánamo y del INICA (2006).

Conclusiones y recomendaciones

- Un régimen de riego racionalizado con reducciones del consumo potencial de agua en las condiciones edafoclimáticas de la Empresa Héctor Molina, mantiene rendimientos agrícolas entre 75 y 82 t/ha.
- El método de riego por aspersión debe ser utilizado en los suelos Rhodic Ferralsols y Eutric Ferralsols, Con relación al método de riego por gravedad y la técnica por surcos, su ubicación debe ir dirigida hacia los suelos Eutric Gleysols, tratando de lograr aumentar en este lugar la eficiencia a nivel parcelario en las áreas de bombeo tanto de consumo eléctrico como diesel.
- Con relación al drenaje de los suelos Eutric Gleysols las acciones inmediatas deben orientarse a resolver el drenaje superficial con soluciones de drenaje elemental (más barato) o de drenaje de tipo semi – ingeniero o ingeniero, en ambos casos con nivelación cuando las condiciones lo permitan; priorizando el mantenimiento de las redes tanto internas como externas existentes.

Referencias

- Del Rosario, J; C. Aguilar y D. Delgado (1993). Caracterización del mal drenaje y la salinidad del CAI Batalla de Santa Clara. AGROMEC 93. La Habana. 131 pp.
- Del Rosario, J; C. Lamelas y A. Báez (1994). Solución integral para la mejora de la producción cañera en la CPA “Amistad Cuba- Laos”. Informe Final. INICA. 31 pp.
- Doorenbos, J y A. H. Kassam (1986). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 33. 212 pp.
- FAO (1990). Evaluación de tierras para la agricultura de regadío: directivas. Boletín de suelos de la FAO No 55. Servicios de recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de fomento de tierras y agua. 289 pp.
- FAO (1995). Prospects for the drainage of the soils. Irrigation and Drainage 51. 134 pp.
- FAO (1999). Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos. No 84. Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo. Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos. 90 pp.
- Hernández, I (2005). Reordenamiento de las tecnologías de riego y drenaje para el manejo eficiente del agua en el territorio cañero del Valle de Guantánamo. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas.
- Lamelas, C (2004). Planificación y manejo eficiente del riego en el CAI Gregorio A. Mañalich. Tesis para optar por el Grado de Master en Ciencias en Agroecología y Agricultura Sostenible Universidad Agraria de La Habana. 63 pp.
- Lamelas, C; C.Balmaceda y Y.Viñas (2003). Una proyección sobre la actividad de riego y drenaje en la Unidad Básica de Producción Cañera (UBPC) “Ciro Redondo”. Cuba – Caña 1, 15 -19
- Lamelas, C y C.Vásquez (2011). Manual de Procedimiento del Sistema Automatizado “SIERIED”. INICA. 20 pp.

- Lamelas, C (2012). Servicio Integral de Explotación de Riego y Drenaje. Informe Final de Proyecto Científico-Técnico.93 pp.
- MINAZ (1996). Los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar. Curso del SERFE. Departamento de Suelos y Agroquímica. 45 pp.
- Pérez, E. y J. Valdés (2005). Curso de Sistemas de Información Geográfica. INICA. 47 pp.
- Sagardoy, J (1998). La sostenibilidad de la gestión de los sistemas de riego y drenaje y el proceso de transferencia a los usuarios. Primer Taller de Riego y Drenaje. C. de la Habana. Cuba. 17 pp.
- Smith, M (1992).CROPWAT. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudio FAO 46; Riego y Drenaje. 133 pp.
- Vermillion, D y J. Sagardoy (2001). Transferencia de la gestión del riego. Directrices. Estudio FAO Riego y Drenaje 58. 102 pp.

PÚSTULA MAYOR Y PORCENTAJE DE ÁREA OCUPADA POR PÚSTULAS, DOS ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN LAS EVALUACIONES DE LA ENFERMEDAD ROYA PARDA DE LA CAÑA DE AZUCAR

BIGGER PUSTULE AND PERCENTAGE OF AREA OCCUPIED FOR PUSTULES, TWO IMPORTANS ASPECTS TO TAKE INTO ACOUNT IN SUGARCANE BROWN RUST DISEASE.

Joaquín Montalván Delgado, Isabel Alfonso Terry, Félix Valladares Arrocha, Isabel Torres Varela, Yoslen Fernández Guevara, Mónica Tamayo, José Rodríguez, Osmany Aday, Antonio Chinea Martín y Javier Delgado.

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), AZCUBA. Km 1½ carretera a la CUJAE, Boyeros, CP 19390, La Habana, Cuba. Fax: (53-7) 260-2571. Tel. (53-7) 260-2571
Email: jmontalvan@eticacm.azcuba.cu

RESUMEN

Con la finalidad de elevar la eficiencia del procedimiento metodológico para evaluar la enfermedad de la roya parda de la caña de azúcar en las condiciones de Cuba, se llevaron a cabo estudios plantados en las provincias de Mayabeque, Matanzas, Villa Clara, Camagüey, Holguín y Santiago de Cuba, los cuales se evaluaron durante dos cepas. Los cultivares evaluados fueron C1051-73, C132-81, C266-70, C323-68, C86-12, C86-503, C86-56, C88-380, C90-530, Co997 y SP70-1284. Se emplearon además los patrones de resistencia utilizados en las metodologías actuales: PR980, Ja64-11, C334-64, My5514, Ja60-5 y B4362. De cada cultivar se plantaron dos réplicas. Cada parcela contó con un surco de 6 metros, cada dos cultivares se plantó un surco de B4362 y todo el estudio se rodeó de esta variedad altamente susceptible. Las evaluaciones se realizaron a los 3, 4, 5, 6 y 9 meses de edad en las hojas +1, +3 y +5 según nomenclatura de Kuijper. En una estación de muestreo de 2 cm^2 se estudiaron las variables Tamaño de la pústula mayor (TPM) y Porcentaje de área ocupada por pústulas. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS, además del modelo AMMI. Las mayores afectaciones ocurren en plantaciones de 5 meses de edad, mostrándose los mejores resultados en la hoja +3. Se recomienda el uso de las variables Porcentaje de área ocupada por pústulas y TPM como dos importantes caracteres a tener en cuenta en las evaluaciones para determinar la resistencia de los cultivares ante la enfermedad. Se recomiendan patrones de comportamiento intermedio para incluirlos en los estudios metodológicos actuales.
Palabras Claves: Enfermedades, Roya Parda, Caña de Azúcar, Modelos AMMI.

ABSTRACT

With the purpose of elevating the efficiency of the methodological procedure to evaluate the sugarcane brown rust diseases under the conditions of Cuba, were carried out studies planted in the provinces of Mayabeque, Matanzas, Villa Clara, Camagüey, Holguín and Santiago de Cuba, which were evaluated during plant and ratoon. The cultivars C1051-73, C132-81, C266-70, C323-68, C86-12, C86-503, C86-56, C88-380, C90-530, Co997 and SP70-1284 were evaluated. The resistance patterns used in the current methodologies were also used: PR980, Ja64-11, C334-64, My5514, Ja60-5 and B4362. Of each cultivated were planted two replicas. Each parcel had a row of 6 meters, each two cultivars in study a row of B4362 was planted, whole

study was surrounded of this highly susceptible variety. The evaluations were carried out at the 3, 4, 5, 6 and 9 months of age in the leaves +1, +3 and +5 according to nomenclature of Kuijper. In a station of sampling of 2 cm^2 the variable TPM and pustule occupied area Percentage were studied. For the statistical analysis the statistical package SPSS was used, besides the AMMI models. The biggest affectations occur in plantations of 5 months of age, being shown the best results in the leaf +3. The use of the variable pustule occupied area Percentage and TPM are recommended as two important characters to take into account in the evaluations to determine the resistance of the cultivars before the disease. There are recommendations of new patterns of intermediate behavior to include them in the current methodological studies.
Key words: Diseases, Brown Rust, Sugarcane, AMMI models.

INTRODUCCIÓN

En Cuba la caña de azúcar constituye uno de los principales renglones económicos, como fuente de divisas y de recursos para el desarrollo perspectivo del país. Por tal motivo se le ha prestado mayor atención, dedicación e incluso inversiones sustanciales, con el propósito de profundizar en el conocimiento del cultivo, sus rendimientos y las causas que lo afectan.

Las enfermedades de la caña de azúcar son un gran obstáculo para la obtención de buenos rendimientos agrícolas e industriales en la producción azucarera, por lo que han provocado cuantiosas pérdidas directas e indirectas al cultivo, constituyendo una de las preocupaciones principales de los productores cañeros del mundo.

La roya parda (común) de la caña de azúcar es causada por el hongo fitopatógeno ***Puccinia melanocephala*** Sydow & P. Sydow. Esta enfermedad es una de las de mayor importancia que afecta al cultivo (Egan y otros, 1989) y está ampliamente distribuida en casi todas las áreas cañeras del mundo (Asnaghi y otros, 2001), originando importantes pérdidas económicas, estimadas en más del 50% de rendimiento del cultivo, en variedades susceptibles como la B4362 (Comstock y Ferreira, 1986).

A finales del año 2006 se recibieron informes de ataques intensos de roya parda en las provincias de Pinar del Río, La Habana, Villa Clara, Cienfuegos y Guantánamo con una sintomatología atípica en producción y algunas áreas de semilla, fundamentalmente en los cultivares C90-530, SP70-1284 y C88-380, lo que hizo necesario intensificar la vigilancia, teniendo en cuenta que la distribución de cultivares susceptibles a nivel nacional en esa etapa alcanzaba el 24,6% del total de área plantada y en algunas provincias, sobrepasaba este valor.

Considerando que en la actualidad aún existe un alto porcentaje de área con cultivares susceptibles, unido a los cambios en el comportamiento ante la roya parda de algunas de estos, nos evidencian la necesidad de emprender estudios que nos permitan determinar la respuesta de los cultivares en diferentes condiciones agroclimáticas y establecer nuevos criterios que permitan perfeccionar la metodología vigente de evaluación ante esta enfermedad. El objetivo de nuestro trabajo fue definir mediante el uso de variables cuantitativas la reacción de un grupo de cultivares de caña de azúcar y de los patrones de resistencia a roya parda en diferentes ambientes evaluativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los datos correspondientes a seis experimentos en foco de infección de roya parda en los ciclos de caña planta y primer retoño. Los estudios se plantaron en las provincias de Mayabeque, Matanzas, Villa Clara, Camagüey, Holguín y Santiago de Cuba.

De cada cultivar a evaluar se plantó un surco de 6 m de longitud en cada réplica (2 réplicas), en un foco infeccioso de la enfermedad brindado por el cultivar altamente susceptible B4362,ubicados en surcos alternos cada dos cultivares. Los experimentos fueron bordeados con este mismo cultivar lo que nos permitió uniformar la presión de inóculo. Se estudiaron los genotipos C1051-73, C132-81, C266-70, C323-68, C86-12, C86-56, C88-380, C90-530, Co997 y SP70-1284. Se emplearon, además, los patrones de resistencia a la enfermedad, PR980 (AR), Ja64-11 (R), C334-64 (MR), Ja60-5 (S), My5514 (S) y B4362 (AS), recomendados según Jorge y otros (2002) para los estudios en foco infección de roya (FIR).

Las evaluaciones se realizaron en las hojas +1, +3 y +5, según notación de Kuijper, durante las edades de 3, 4, 5, 6 y 9 meses del cultivo. Se analizaron 2 cm^2 del tercio central de cada hoja evaluando las variables, cantidad de pústulas (CPUST), largo de la pústula más frecuente (LPUST), tamaño de la pústula mayor (TPM) y porcentaje de área ocupada por pústulas.

El cálculo del porcentaje de área ocupada por pústulas se obtuvo utilizando la siguiente ecuación propuesta por Rodríguez y otros (2007).

% de pústulas / cm^2 = ((CPUST * LPUST (mm) *0.5 mm) /2) * 100

Donde:
% de pústulas / cm^2 = área ocupada por las pústulas en cada cm^2.
CPUST = Número de pústulas en dos cm^2.
LPUST = Longitud de la pústula más frecuente en la muestra en mm.
0.5 = Ancho medio de la pústula más frecuente en el tercio medio de la hoja + 3 (TVD) en mm.

Los datos de porcentaje se transformaron según el seno inverso para su posterior procesamiento.
Para el procesamiento de la información se utilizó el paquete estadístico SPSS. Se realizaron análisis de varianza y la prueba de Tukey de comparación múltiple de medias para determinar diferencias de respuesta entre los cultivares, los momentos y las hojas de evaluación.

Con el objetivo de definir individuos resistentes(R), medianamente resistentes (MR) y medianamente susceptibles (MS) y patrones intermedios se aplicó el modelo $AMMI_1$ a todos los genotipos evaluados. Analizando las variables % de área ocupada por pústula y TPM. Los mismos fueron analizados de conjunto con los patrones de resistencia de comportamiento conocido y estable frente a la enfermedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza en caña planta (Tabla I), para las variables TPM y % de área ocupada por pústulas mostró diferencias significativas para todas las fuentes de variación estudiadas, así como en las interacciones de primer y segundo orden, a excepción de las interacciones Hoja x Localidad para el carácter % de área ocupada por pústulas. Para el porcentaje extraído en la suma de cuadrados, la mayor fuente de variación es atribuida a los cultivares (54.35% y 39.12%), seguida de la interacción Cultivar x Localidad (14.78%) para el primer carácter, siendo en el caso del porcentaje de área ocupada por pústula el 19.30% extraído por la interacción de segundo orden. Los siguientes porcentajes de extracción fueron aportados por la interacción Cultivar x Evaluación x Localidad (8.69%) para la primera variable así como la interacción Cultivar x Localidad para la segunda variable con un a extracción de la varianza de 13.74%.

Al analizar similares variables en la cepa de retoño (Tabla II) se pudo apreciar que el análisis de varianza arrojó diferencias significativas para el TPM y no así para el carácter % de área ocupada por pústulas. No se encontraron diferencias para las interacciones de primer orden Hoja x Evaluación para las variables % área

ocupada por pústulas, además se encontró diferencia para este carácter en las interacciones Variedad x Evaluación y Hoja x Localidad. En las interacciones de segundo orden, Cultivar x Hoja x Evaluación y Hoja x Evaluación x Localidad no se encontraron diferencias para la variable % área ocupada por pústulas, en la interacción Cultivar x Hoja x Localidad no se encontró diferencias para el parámetro % área ocupada por pústulas y en la interacción de tercer orden solo se encontró diferencias para el parámetro TPM. La mayor contribución a la suma de cuadrados lo aportó en sentido general el Cultivar, seguido por aquellas interacciones donde intervienen el cultivar y la localidad, denotando la importancia de estas en la interacción genotipo ambiente como parte influyente en la reacción, frente a la enfermedad.

Estudios realizados en Cuba por Alfonso y otros (1994), al registrar la variabilidad patogénica de ocho aislamientos de *P. melanocepahala* colectados de diferentes provincias del país, determinaron que podían utilizarse 15 cultivares diferenciadores y consideraron la presencia de una población muy heterogénea del patógeno que mostraba indistintamente más agresividad hacia B4362 y Ja60-5. Estos aislamientos se incluyeron en seis grupos de acuerdo al nivel de agresividad mostrado, principalmente hacia estos dos cultivares mencionados, obtuvieron resultados que apoyan los obtenidos en el presente trabajo.

Tabla I: Resultados del análisis de varianza para las variables TPM y % de área ocupada por pústulas en la cepa planta.

	Variables Caña Planta							
	TPM				% área ocupada por pústulas			
Fuentes de variación	GL	CM	Sig	%SC	GL	CM	Sig	%SC
Cultivar	16	230.98	**	54.35	16	623.29	**	39.12
Localidad	5	35.62	**	2.62	5	95.85	**	1.88
Evaluación	4	20.19	**	1.19	4	24.85	**	0.4
Hoja	2	44.96	**	1.32	2	118.56	**	0.9
Cultivar x Hoja	32	3.37	***	1.58	32	23.41	**	2.93
Cultivar x Evaluación	64	2.09	**	1.97	64	13.06	**	3.28
Cultivar x Localidad	80	12.57	**	14.78	80	43.79	**	13.74
Hoja x Evaluación	8	0.86	**	0.1	8	2.46	**	0
Hoja x Localidad	10	3.90	**	0.6	10	1.41	Ns	0
Evaluación x Localidad	20	12.34	**	3.63	20	35.40	**	2.78
Cultivar x Hoja x Evaluación	128	0.25	**	0.5	128	1.64	**	0.8
Cultivar x Hoja x Localidad	160	0.78	**	1.83	160	4.30	**	2.7
Cultivar x Evaluación x Localidad	320	1.85	**	8.69	320	15.38	**	19.30
Hoja x Evaluación x Localidad	40	1.05	**	0.6	40	3.89	**	0.61
Cultivar x Hoja x Evaluación x Localidad	640	0.28	**	2.64	640	2.04	**	5.20
Error	1530	0.16			1530	1.02		

** Diferencia significativa al 0.01 % de probabilidad de error.
*** Diferencia significativa a 0.001 % de probabilidad der error.
NS No existe diferencia significativa.

Nuestros resultados coinciden además con los obtenidos por Nayak y otros. (2008), quienes determinaron diferencias significativas en el nivel de patogenicidad de 52 aislamientos de Xoo (*Xanthomonas oryzae)* pv. o*rizae,* y la combinación de los aislamientos con cada uno de los genotipos inoculados, se consideró como ambientes diferentes. La mayor fuente de variación fue atribuida a los genotipos y a la interacción de los genotipos con los aislamientos (ambientes).

Alfonso y otros (2011) utilizaron el parámetro de TPM como un aspecto importante a tener en cuenta en las evaluaciones de resistencia de las variedades en diferentes localidades, estableciendo así nuevos criterios que

contribuyan a perfeccionar las metodologías actuales de evaluación. Este aspecto cuantitativo disminuye el error introducido en las evaluaciones cualitativas, al depender estas últimas de la apreciación del observador.

En las escalas de evaluación de la roya son utilizados criterios cualitativos fundamentalmente y las que se fundamentan en evaluaciones cuantitativas son bastantes disímiles e imprecisas teniendo en cuenta que incluyen síntomas en sus valores que no son de roya y que la vista humana responde a estímulos cuyas intensidades aumentan logarítmicamente, lo que trae como consecuencia que un mismo observador no pueda distinguir 15 ó 20% del área foliar, haciendo por tanto inestable a esta variable tan utilizada en el mundo, como consecuencia genotipos resistentes pueden ser juzgadas como susceptibles. (Weber y Fechmer, citados por Zadoks y Schein (1969)).

La mayor media para el TPM correspondió a la B4362 con 4.46 mm, estos valores oscilaron desde 0 hasta 10.8 mm, apreciándose la formación de 8 grupos de comportamiento diferencial para este carácter. Al analizar el área ocupada por pústulas, factor este de gran importancia pues integra aspectos medulares de la manifestación de la enfermedad como son largo y cantidad de pústulas por unidad de área se pudo apreciar que estos valores oscilaron desde 0 hasta 50 % del área con una media para el cultivar susceptible B4362 de 7.49 %. Se observa la formación de 7 grupos diferentes para la manifestación de este carácter.

Tabla II: Resultados del análisis de varianza para las variables TPM y % de área ocupada por pústulas en la cepa Retoño.

	Variables Cepa Retoño							
	TPM				% área ocupada por pústulas			
Fuentes de variación	GL	CM	Sig	%SC	GL	CM	Sig	%SC
Cultivar	16	191.63	**	49.31	16	537.80	**	10.41
Localidad	5	44.39	**	3.57	5	138.12	**	0.83
Evaluación	4	13.48	**	0.87	4	29.73	Ns	0.14
Hoja	2	27.34	**	0.88	2	128.79	**	0.31
Cultivar x Hoja	32	1.93	**	0.99	32	42.74	**	1.65
Cultivar x Evaluación	64	2.64	**	2.72	64	24.24	Ns	1.88
Cultivar x Localidad	80	12.43	**	15.99	80	62.65	**	6.06
Hoja x Evaluación	8	0.92	**	0.12	8	23.80	Ns	0.23
Hoja x Localidad	10	2.64	**	0.42	10	33.46	Ns	0.40
Evaluación x Localidad	20	17.05	**	5.48	20	49.51	**	1.20
Cultivar x Hoja x Evaluación	128	0.26	**	0.55	128	20.84	Ns	3.23
Cultivar x Hoja x Localidad	160	0.58	**	1.48	160	26.19	Ns	5.07
Cultivar x Evaluación x Localidad	320	2.27	**	11.70	320	28.58	**	11.06
Hoja x Evaluación x Localidad	40	0.39	**	0.25	40	23.13	Ns	1.12
Cultivar x Hoja x Evaluación x Localidad	640	0.18	**	1.89	640	20.59	Ns	15.94
Error	1530	0.15			1530	21.85		

Según los resultados obtenidos podemos considerar como el grupo de mayor resistencia los cultivares C266-70, C132-81, PR980, Co997, C1051-73, C86-56, C90-530 y Ja64-11, los cuales formaron el grupo de menor afectación para los parámetros analizados. El cultivar B4362 mostró los valores más altos de la media en todas las variables, lo cual era de esperar por mantener su condición de patrón de susceptibilidad. Este genotipo ocupaba más del 30 % del área cañera nacional cuando se reportó la presencia de la enfermedad en nuestro país, resultó el más afectado durante la epidemia de los años 80 en Cuba, con pérdidas que superaron los 805 millones de pesos (Cartaya, 1981; GEPLACEA, 1981; Rodríguez y otros, 2005; Alfonso y otros, 2006).

Unido al cultivar susceptible B4362, encontramos otros genotipos que aunque menos afectados, mantienen su condición de susceptibilidad, tales como, My5514, C323-68 y Ja60-5.

Se puede apreciar que los patrones utilizados en las Pruebas Estatales para definir el comportamiento frente a la roya parda (Jorge y otros, 2002) mantuvieron la reacción esperada. Los resultados obtenidos apuntan a que además de C334-64 empleado en la actualidad como patrón intermedio, pueden ser recomendados: SP70-1284 como patrón de reacción de moderada resistencia (MR) y C88-380 como patrón moderadamente susceptible.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Tamayo (2010), quien encontró un comportamiento similar de los patrones, así como la formación de grupos donde el mayor porcentaje de genotipos estudiados se comportaron en la categoría de resistentes.

Algo similar a lo observado en la cepa de caña planta se aprecia también en retoño al analizar el TPM.
El porcentaje de área ocupada por pústula fue mayor en el cultivar de extrema de susceptibilidad con media de 7.15 %, decreciendo hasta obtener valores tan pequeños en los más resistentes como son C132-81 y PR 980 con valores de 0.0003 y 0.001 respectivamente.

La reacción de los cultivares en la cepa de Caña planta y retoño (Tabla III), para los caracteres TPM y Área ocupada por pústulas, mostró claramente la formación de diferentes grupos para cada una de las variables estudiadas.

En sentido general en ambas cepas se corrobora la resistencia de la mayoría de los cultivares en estudio, catalogando como resistentes los genotipos C266-70, C132-81, PR980, Co997, C86-56, C90-530 y Ja64-11. Se corroboró el comportamiento susceptible de My5514, C323-68, Ja60-5 y B4362, así como la posible utilización de los cultivares SP70-1284 y C88-380 como patrones de resistencia intermedios para las Pruebas Estatales con la finalidad de validar la reacción de los nuevos cultivares de caña de azúcar.

Tabla III: Reacción de respuesta del hospedante para los caracteres TPM y Área ocupada por pústulas.

	Caña Planta				Primer Retoño			
	TPM		AREAPUST		TPM		AREAPUST	
Cultivar	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG
C266-70	0.0039	a	0.0001	a	0.1843	a	0.3531	ab
C132-81	0.0044	a	0.0004	a	0.0028	a	0.0003	a
PR980	0.0050	a	0.0003	a	0.0092	a	0.0010	a
Co997	0.0221	a	0.0048	a	0.0266	a	0.0039	a
C1051-73	0.0583	a	0.0413	a	0.5322	b	0.6248	abc
C86-56	0.0715	a	0.0413	a	0.1792	a	0.0963	a
C90-530	0.0844	a	0.0434	a	0.0483	a	0.0377	a
Ja64-11	0.0950	a	0.0373	a	0.5094	b	0.4214	ab
C86-12	0.1789	a	0.0408	a	0.5156	b	0.2647	a
C86-503	0.4683	b	0.2845	ab	0.6131	b	0.3738	ab
SP70-1284	0.5864	bc	0.4652	ab	0.6043	b	0.4921	abc
C334-64	0.7166	bc	0.7492	b	1.1500	c	0.9128	abc
C88-380	0.8527	d	0.8170	b	1.0262	c	0.8230	abc
My5514	1.8128	f	1.7519	c	2.0255	e	1.9663	bc
C323-68	1.6240	ef	2.3731	d	1.8214	de	2.0040	bc
Ja60-5	1.3859	e	2.1357	cd	1.5929	d	2.0978	c
B4362	4.4632	g	7.4968	e	4.0061	f	7.1501	d
Sx	0.06		0.15		0.060		0.358	

Los genotipos B4362 , Ja60-5, C323-68 y My5514 mostraron los mayores valores para las variables analizadas seguidas por los genotipos C88-380, C334-64, SP70-1284, C86-503, C86-12 y Ja64-11, en contraste con los cultivares C132-81, PR980, C90-530, C86-56 y C266-70 que mantuvieron las menores afectaciones para las variables analizadas. Estos resultados reafirman lo planteado por Sandoval y otros (1983) cuando plantearon que el cultivar B4362 es altamente susceptible a *P. melanocephala* y que adolece de genes de resistencia, siendo afectada por todas las formas patogénicas del hongo.

La existencia de diferencias significativas en la interacción cultivar x localidad en los parámetros analizados, justifica la aplicación del modelo AMMI, para determinar los genotipos y ambientes responsables de esta interacción y la estabilidad de la resistencia de los genotipos frente a esta enfermedad; en el que se consideraron ambientes las localidades.

La representación gráfica bidimensional del modelo AMMI2, para la variable % de área ocupada por pústula en la cepa de caña planta y retoño mostró que la CP1, extrae el 58.59 % y 76.49 % de la I GXA, respectivamente, la segunda componente explica un 33.19 % y 14.02 %, adicional de la I GXA. De manera acumulativa, ambos componentes contribuyen al 91.75 % y 90.52 % del total de la interacción. Resultados similares obtuvieron Nayak y otros (2008) con la aplicación del modelo AMMI para la varianza de 52 aislamientos de Xoo en las pruebas de patogenicidad, donde el mayor porcentaje del total de la suma de cuadrados fue atribuido a los genotipos y un menor porcentaje a los aislamientos. El modelo de predicción de la interacción entre los cultivares y los ambientes de evaluación se obtiene mejor con los primeros componentes (Gauch, 2006; Yan y otros, 2000). En la Figura 1 se muestra de manera representativa los resultados en la cepa caña planta.

Según la representación gráfica, bidimensional, del modelo AMMI2, los vectores cuyo punto final se encuentran más alejados del origen de coordenadas, contribuyen relativamente más a la interacción, que aquellos cuyos vectores finalizan más próximos al origen. Los puntos cuyas direcciones de vectores coinciden tienen un patrón de interacción similar.

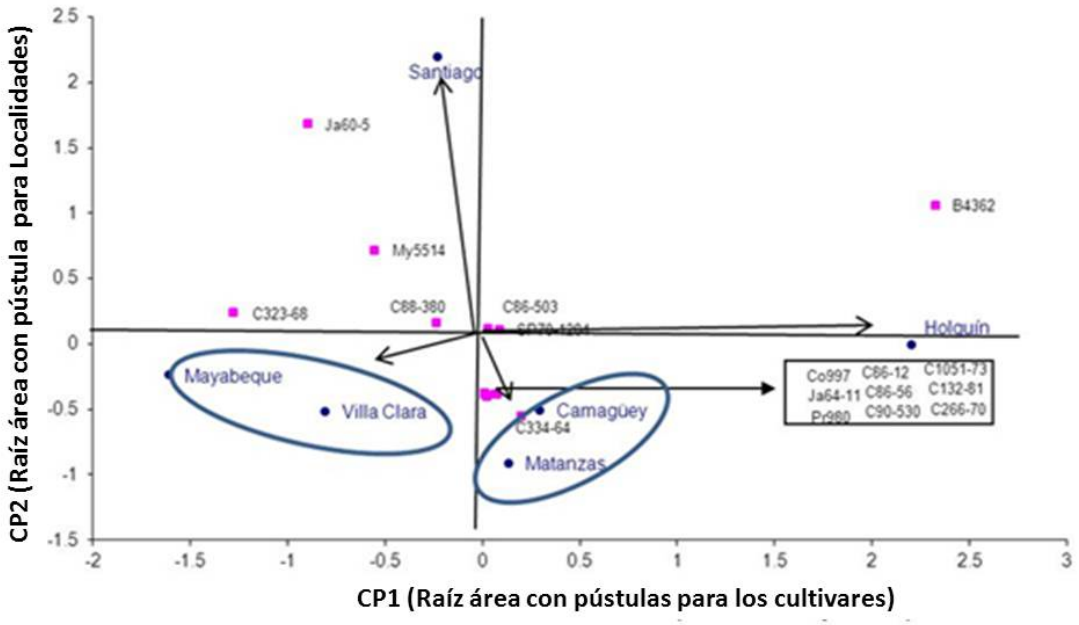


Figura 1. Representación *Biplot*, $AMMI_2$, del nivel de respuesta de los genotipos (■) en cada ambiente (●). Cepa Caña Planta para la variable % de área ocupada por pústula. Se muestran las CP1 y CP2.

De acuerdo con estas consideraciones podemos agrupar los ambientes en 4, para la variable % de área ocupada por pústula, el grupo uno formado por las localidades de Mayabeque y Villa Clara para la cepa de caña planta. A diferencia de esta en la cepa de retoño este grupo estaría formado solamente por la localidad de Mayabeque. El grupo dos lo conforman las localidades de Camagüey y Matanzas y el tres la localidad de Holguín en caña planta, y Holguín y Villa Clara en la cepa de retoño y el cuarto de Santiago en ambas cepas.

Las localidades de evaluación con direcciones opuestas de sus vectores, tienen una correlación negativa. El grupo uno tiene una correlación negativa con los grupos dos, tres y cuatro, indicando un comportamiento diferente entre estos, aspecto de suma importancia a tener en cuenta en los estudios de resistencia.

Los resultados indican que pueden ser utilizadas como localidades de prueba para evaluar la reacción de los genotipos de caña frente a la roya parda las localidades de Santiago, Holguín, Mayabeque y cualquiera de las localidades Camagüey o Matanzas.

Al analizar los diferentes parámetros estudiados para las localidades en ambas cepas (Tabla IV) se puede apreciar claramente la formación de los grupos en cada una de las variables, lo que denota un comportamiento diferente de cada uno de los genotipos en las distintas localidades de estudio. El TPM mantuvo las menores medias en la localidad de Mayabeque y las mayores en las localidades de Santiago de Cuba y Villa Clara en caña planta, y Camagüey y Matanzas en retoño.

Al analizar el parámetro porcentaje de área ocupada por pústula, los resultados corroboran lo observado en el análisis de la interacción Variedad x Localidad (Fig. 1) mostrando la formación de similares grupos. Matanzas, no se diferencia de Camagüey, manteniendo un comportamiento similar con las medias menores en lo referente a este parámetro, y la localidad de Santiago mantiene las mayores medias formando un grupo

independiente. Estos resultados nos permiten aseverar el comportamiento diferencial que mantienen los cultivares en las diferentes localidades como una manifestación de la interacción Genotipo Ambiente.

Al analizar las edades de evaluación con relación a las variables estudiadas en ambas cepas (Tabla V), se pudo apreciar que las menores afectaciones para todos los parámetros correspondió en sentido general con la evaluación de los 9 meses, y las mayores afectaciones a la edad de 5 meses, esto corrobora lo planteado por diferentes autores de que con la llamarada de crecimiento de los cultivares posterior a los 6 meses la velocidad de producción de tejido sano es mucho mayor que la capacidad que tiene el patógeno para infectarlo, además con este crecimiento logarítmico se crea un microclima que no le es favorable al desarrollo del patógeno por lo que las afectaciones son menores al final del ciclo vegetativo, incluso en variedades susceptibles.

Tabla IV. Resultados de la prueba Tukey para los parámetros analizados en las localidades de estudio.

	Caña Planta				Primer Retoño			
	TPM		AREAPUST		TPM		AREAPUST	
Localidades	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG
Holguín	0.6525	b	0.9946	b	0.6799	b	0.4326	a
Matanzas	0.5575	b	0.5069	b	1.2365	d	1.3623	b
Villa Clara	1.0455	d	0.8444	d	0.7018	b	0.4144	a
Camagüey	0.8080	c	0.7061	c	1.0847	c	1.5341	b
Santiago de Cuba	0.9775	d	1.7689	d	0.0601	c	1.5279	b
Mayabeque	0.3472	a	0.9260	a	0.4772	a	0.9491	ab
Sx	0.05		0.12		0.036		0.213	

Tabla V. Resultados de la prueba Tukey para los parámetros analizados en las diferentes edades.

	Caña Planta				Primer Retoño			
	CPUST		LPUST		TPM		AREAPUST	
Edades	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG
3 meses	0.5618	a	0.9216	ab	0.8739	bc	0.9510	a
9 meses	0.6047	ab	0.7289	a	0.6789	a	0.9393	a
4 meses	0.6774	ab	0.8855	ab	0.9746	cd	1.0140	a
6 meses	0.7995	c	0.9740	ab	0.7861	ab	0.8603	a
5 meses	1.0136	d	1.2791	b	1.0533	d	1.4187	a
Sx	0.036		0.087		0.057		0.210	

En Mauricio la enfermedad es más severa en cañas jóvenes, pero después de la siembra o el retoñamiento, cuando se cierra el campo, se reduce notablemente la infección (Ricaud y Autrey. 1979). En Cuba estudios realizados por Recio y otros (1994) relacionados con la dinámica de la roya parda de la caña de azúcar, arrojaron que las mayores afectaciones y por ende la mayor producción de pústulas se producen entre los 100 y 145 días de edad (3 – 5 meses), coincidiendo con las primeras etapas de crecimiento del cultivo, mayor precipitación y temperatura.

En nuestras condiciones los brotes de roya parda en B4362 ocurren con severidad desde las primeras etapas del desarrollo de las plantas, por lo que el índice de infección de la enfermedad alcanza valores elevados hasta cerca de los 5 a 7 meses, con un decrecimiento posterior a medida que se acerca al final del ciclo vegetativo (Sandoval y otros, 1983).

Lo anterior corrobora lo planteado por Victoria (1990), quien expresa que las plantas jóvenes de 2-6 meses de edad son más sensibles a la roya que las plantas maduras, por lo que a menudo la severidad de la enfermedad

disminuye con la edad, debido a que hay una mayor producción de tejidos sanos y con ello la recuperación de la planta.

La máxima severidad de la enfermedad en un cultivar susceptible se registró entre dos y tres meses de crecimiento (Peros, 1993). En dependencia de las localidades, este mismo autor detectó diferencias en el comportamiento de la enfermedad.

Se plantea que la intensidad de ataque de la enfermedad disminuye de forma drástica después de los primeros seis meses de crecimiento de las plantas (Sandoval, 2001) tanto en caña planta como en retoño, por lo que los datos de Alomá y otros (1994) apoyan estos criterios al registrar en tres localidades representativas de Cienfuegos que la mayor expresión de la enfermedad se acentuaba a los seis meses y que los factores climáticos ejercían una gran influencia en este sentido.

Los resultados sugieren la posibilidad de eliminar la evaluación a los 9 meses por la menor afectación que pudieran presentar los cultivares a esta edad en dependencia del cultivar, además el proceso de evaluación debido al desarrollo fenológico del cultivo se haría muy engorroso y trabajoso, factores estos que podrían atentar contra la calidad de la evaluación y por ende con el resultado a obtener.

Al analizar el comportamiento de las variables en las hojas evaluadas (Tabla VI) se pudo constatar que en ambas cepas se manifestaron diferencias para las hojas evaluadas en todos los parámetros coincidiendo los menores valores para la hoja +1, la cual se diferenció del resto de las hojas. En la cepa de caña planta se aprecia una mayor afectación sobre la hoja +5, lo que puede estar debido a re infecciones provocadas al incrementar la presión de inóculo o por la exposición durante mayor tiempo a la incidencia del patógeno. Esta diferencia queda atenuada en la cepa de retoño al no encontrar diferencias entre la hoja +5 y +3, diferenciándose en el caso del TPM de la hoja +1 y en el parámetros área ocupada por pústulas, la hoja +3, forma un grupo intermedio, el cual no se diferencia de las hojas +1 y +5.

Estos resultados nos sugieren la posibilidad de realizar solamente las evaluaciones en la hoja +3, la cual nos brinda una acertada información teniendo en cuenta su condición de hoja intermedia con plena actividad fisiológica.

Tabla VI. Resultados de la prueba Tukey para los parámetros analizados en las diferentes edades durante la cepa de Planta.

	Caña planta				Primer retoño			
	TPM		AREAPUST		TPM		AREAPUST	
Hojas	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG	MEDIA	SIG
+1	0.5062	a	0.6002	a	0.7011	**a**	0.7354	a
+3	0.7661	b	0.9942	b	0.8921	**b**	0.9461	ab
+5	0.9218	c	1.2791	c	1.0269	**b**	1.4285	b
Sx	0.046		0.090		0.044		0.163	

Al realizar la representación gráfica de los efectos principales de genotipos y ambientes, para la variable porciento de área ocupada por pústulas en las abscisas y el valor de la CP1 en las ordenadas (Figuras 2 y 3) para ambas cepas, se obtiene el Biplot AMMI1. En este caso, la I G XA es descrita en términos de susceptibilidad diferencial de los cultivares frente a la roya parda.

Los cultivares que aparecen sobre una misma vertical tienen medias similares para el carácter evaluado, mientras que los que aparecen sobre la misma horizontal muestran patrones de interacción similares. Los genotipos con valores de la CP1, cercanos a cero son lo que muestran mayor estabilidad a través de los

diferentes ambientes de evaluación, mientras que los más alejados de cero muestran mayor inestabilidad en el carácter evaluado.

Los resultados obtenidos demuestran la estabilidad en el nivel de reacción de respuesta de los patrones en las cepas estudiadas para la variable área ocupada por pústulas y justifica su función como patrones de resistencia a la enfermedad. Los patrones PR980 y Ja64-11 expresaron resistencia a la enfermedad, C334-64 mostró comportamiento intermedio pero con tendencia a la susceptibilidad, mientras que Ja60-5, My5514 y B4362, mostraron susceptibilidad.

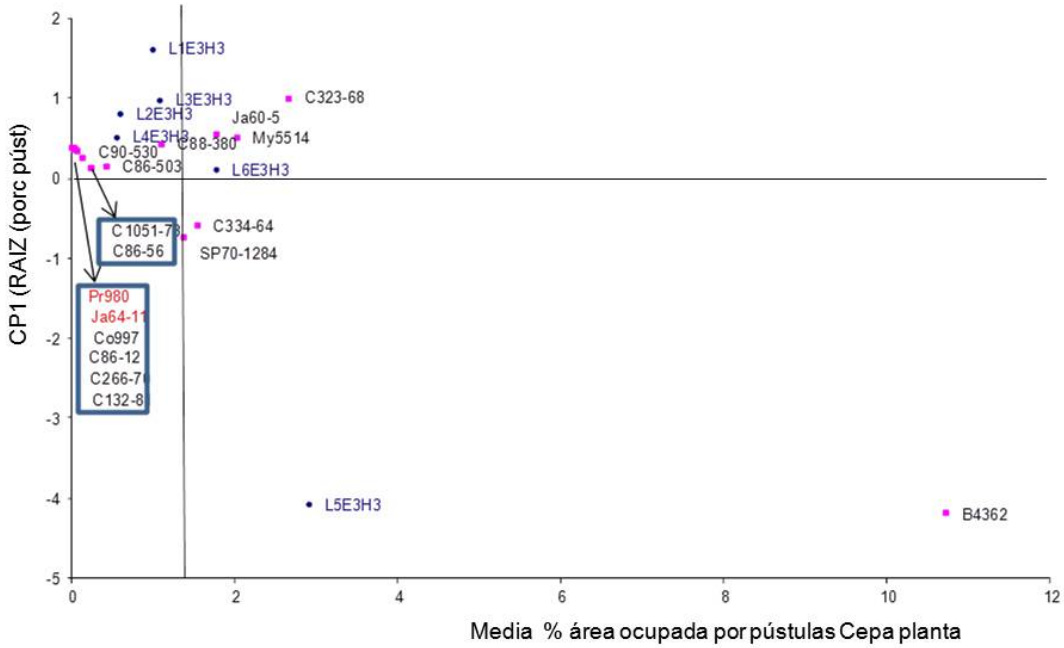


Figura 2. Representación Biplot, AMMI 1, del nivel de respuesta de los genotipos (■) en cada ambiente (●). Cepa Caña Planta para la variable Porc Pústulas.

La respuesta genética de B4362 ante el patógeno es estable en cualquier ambiente, siempre se comporta como de alta susceptibilidad. Este patrón es estable y se encuentra bien ubicado.

El comportamiento de este genotipo también podría explicarse si se tiene en cuenta lo planteado por Sandoval (2001) quien expresa que el comportamiento de la humedad relativa, la temperatura y las lluvias durante un período determinado permitieron el desarrollo biológico de *P. melanocephala* y por tanto, la manifestación de la enfermedad en el cultivar susceptible B4362.

El patrón C334-64 es considerado como intermedio, sin embargo, para el entorno de este estudio, manifiesta cierta tendencia a la susceptibilidad a la roya parda. Estas incongruencias, pudiesen deberse a condiciones ambientales específicas y sugieren que este tuvo un comportamiento distinto. Los genotipos que cambian su reacción con el ambiente son los de comportamiento intermedio y algunos susceptibles. Precisamente para eso es que se ubican los patrones de evaluación y se hacen los ajustes de curvas de regresión, de manera que se elimine el efecto ambiental (Alfonso, 2008).

Los resultados del AMMI permiten conocer los cultivares que se manifestaron como resistentes a la enfermedad: Co997, C132-81, C266-70, C1051-73, C86-56, C86-12 y C90-530 (Figuras 3 y 4).De igual forma se detectan aquellos que manifiestan susceptibilidad y el orden de ésta.

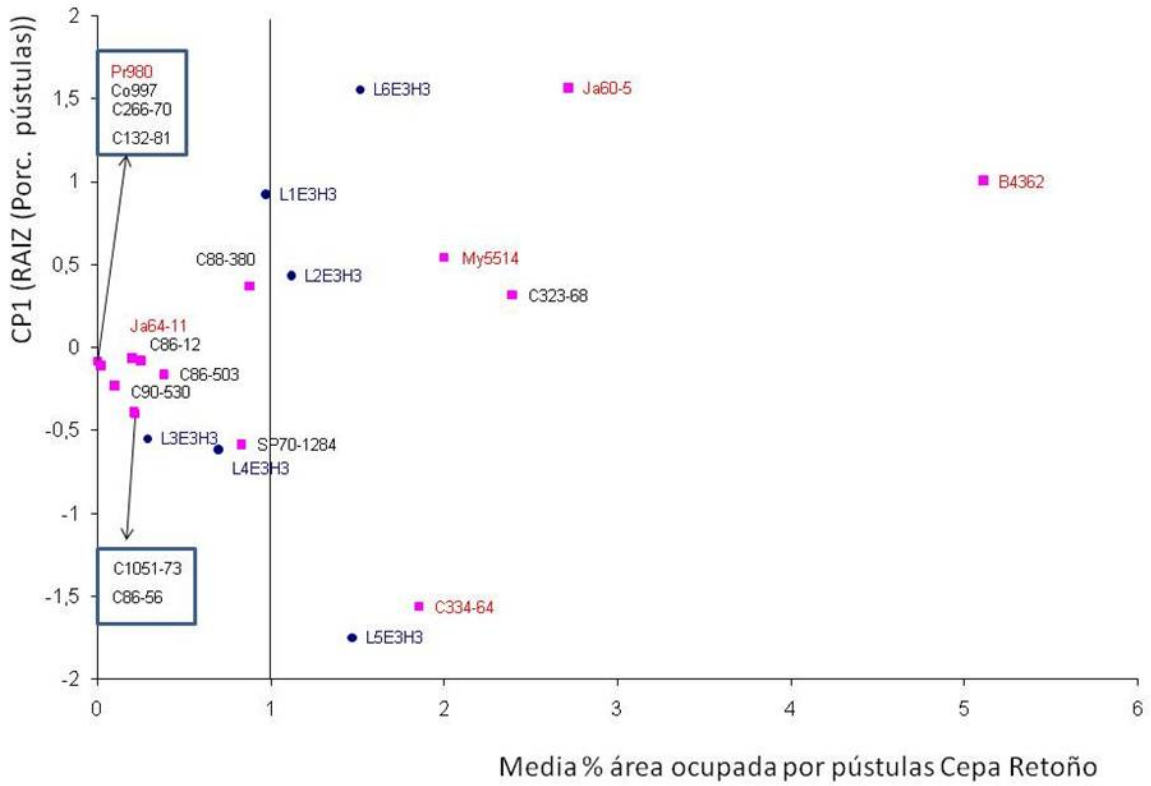


Figura 3. Representación Biplot, AMMI 1, del nivel de respuesta de los genotipos (■) en cada ambiente (●). Cepa retoño para la variable Porc Pústulas.

La representación AMMI1 para la variable TPM (Figuras 4 y 5) permite conocer que los genotipos PR980 y Ja64-11 utilizados como patrones, conjuntamente con Co997, C266-70, C132-81, C1051-73, C86-56 y C90-530 son los de mayor estabilidad y coinciden con los de mayor resistencia a la roya parda. Muy cercano a este grupo se encuentran ubicados C86-12 y C86-503, con un ligero incremento en la variable analizada.

La utilización de las variables porciento de área ocupada por pústulas y TPM serian de gran utilidad a la hora de determinar el grado de resistencia a la enfermedad, según la escala de Alfonso y González (1984).

En dependencia del cultivar la gama de síntomas puede ser desde pústulas abundantes y bien esporuladas, hasta la presencia de puntos necróticos o una ligera clorosis. No obstante, en las royas, el número de pústulas producido por hojas ha sido usado como criterio para determinar la susceptibilidad de genotipos de caña de azúcar, aun cuando en investigaciones se ha demostrado que no hay correlación entre el número de pústulas y uredosporas producidas en diferentes especies (Purdy y Dean, 1983; Hsieh y Fang, 1983).

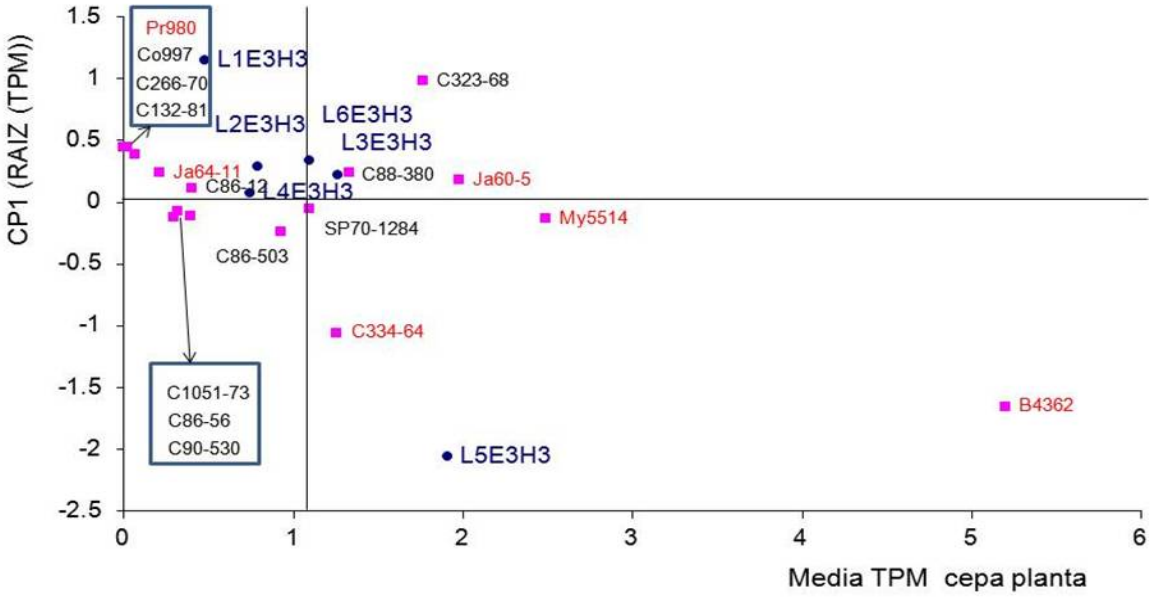


Figura 4: Representación BIPLOT AMMI1 del nivel de respuesta de los genotipos (■) en cada ambiente (●) cepa planta para la variable TPM.

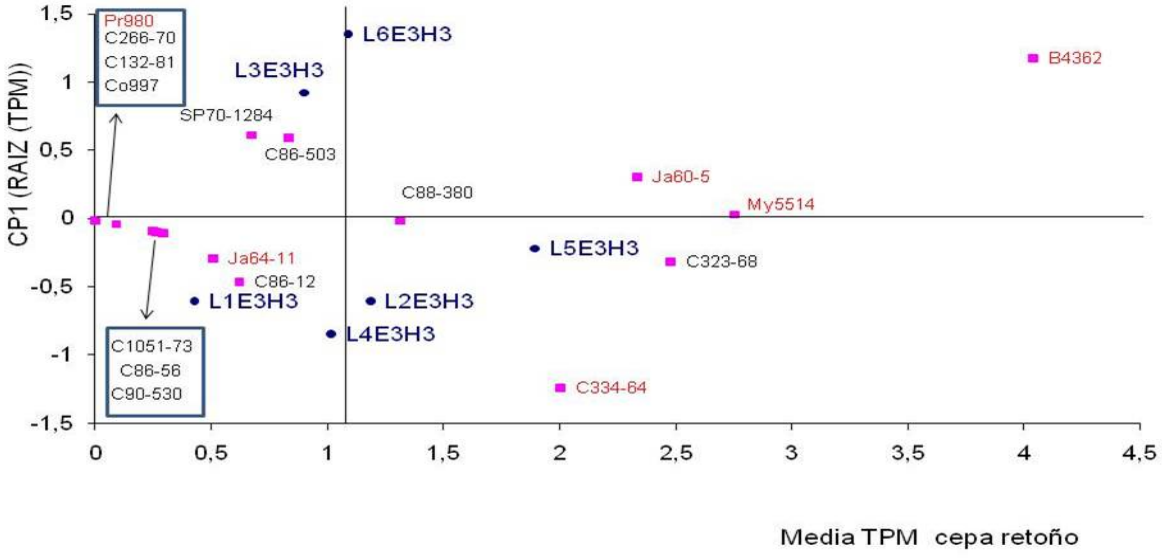


Figura 5: Representación BIPLOT AMMI1 del nivel de respuesta de los genotipos (■) en cada ambiente (●) cepa retoño para la variable TPM.

CONCLUSIONES

- El mayor porcentaje de cultivares en estudio se comportaron como resistente a la enfermedad, destacándose C1051-73, C266-70, C132-81, Co997, C86-56 y C90-530.
- Se reafirma la utilización de los cultivares PR980 y Ja64-11 como patrones resistentes y My5514, Ja60-5 y B4362 como patrones susceptibles, así como la utilización de C334-64, conjuntamente con SP70-1284(MR) y C88-380 (MS) como patrones de reacción intermedia.
- Los resultados indican que pueden ser utilizadas como localidades de prueba para evaluar la reacción de los cultivares de caña frente a la roya parda las localidades de Santiago, Holguín, Mayabeque y Camagüey o Matanzas.
- Las mayores manifestaciones de la enfermedad se encontraron en la evaluación de los 5 meses de edad.
- La utilización de las variables porciento de área ocupada por pústulas y TPM son de gran utilidad para determinar el grado de resistencia de los cultivares a la roya parda.
- Se confirma que la hoja +3 brinda los mejores resultados, permitiendo una acertada información teniendo en cuenta su condición de hoja intermedia con plena actividad fisiológica. Los resultados del AMMI1 para ambos caracteres nos permite identificar el nivel de susceptibilidad de los cultivarse evaluados, así como la estabilidad. Esto hace posible el agrupamiento de cultivares en diferentes niveles de susceptibilidad y facilita la valoración del manejo de los genotipos en cada localidad, para su empleo comercial y en los programas de mejora del cultivo.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los genotipos C88-380 y SP70-1284 como patrones intermedios en las Pruebas Estatales para determinar la resistencia de los cultivares ante la roya parda.
- Introducir en las evaluaciones de la resistencia de los cultivares a la enfermedad las variables TPM y Porcentaje de área ocupada por pústulas.

BIBLIOGRAFÍA

Alfonso Isabel y R. González. (1984). “Evaluación de algunos clones y variedades ante la roya de la caña de azúcar”. Ciencias de la Agricultura.2 (7): 11 pp.

Alfonso Isabel. (1994). “Patogenicidad de aislamientos de *Puccinia melanocephala* H. and P. Syd.”. Jornada Científica del INICA. Resúmenes: p 71.

Alfonso Isabel; González R.; Rodríguez J.; Montalván J. y Alfonso F. (2006). “La roya de la caña de azúcar en el programa de obtención y selección de variedades”. XV Congreso Científico. III Taller de Mejoramiento y Conservación de Recursos Filogenéticos; INCA: pág99.

Alfonso Isabel; Pérez J. R.; LaO María; Rodríguez Eida y Rodríguez Mérida. (2008). “Roya naranja en caña azúcar: alerta fitosanitaria para el Caribe”. En: Actas del VI Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal. Palacio de Convenciones; La Habana, Cuba: pág.22-26.

Alfonso Isabel; J. Delgado; Y. Rufin; O. Aday; J. Montalván; Mónica Tamayo; Eida Rodriguez, R. Acevedo; Maria La O y R. González. (2011). “Tamaño de Pústula mayor, una variable categórica para evaluar la roya parda en Caña de Azúcar”. Seminario Internacional de Sanidad Agropecuaria. (SISA).

Alomá Regla; García H y Jorge H (1994). La edad de evaluación y su importancia para la clasificación de los ambientes en los estudios de roya (*Puccinia melanocephala* H & P. Syd.) en la provincia de Cienfuegos. En Jornada Científica INICA; Resúmenes: pág. 82.

Asnaghi C.; D'Hont A, Glaszmann J. C. and Rott P. (2001). "Resistance of sugarcane cultivar R570 to *Puccinia melanocephala* isolates from different geographic locations". Plant Diseases; 21(3):pág 282-286.

Cartaya G. (1981). "Informe del Departamento Fitosanitario del MINAZ". Ciudad de la Habana. Cuba 21pp.

Comstock J. C. and Ferreira S. A. (1986). "Sugarcane rust: Factors affecting infection and symptom development". In: Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Congr.,Yakarta,: pág 403-410.

Egan B. T. (1989). "Rust". En: Diseases of Sugar Cane: Major Diseases. C. Ricaud, B. T. Egan, A. G. Gillaspie Jr, C.G. Hughes. (Eds). Elsevier Science Publishers B. V. 400 pp.

Gauch H. G. (2006), "Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE". Crop Sci. ; 46:pág1488–1500.

GEPLACEA. (1981). "La Roya de la caña de azúcar (*Puccinia* spp)". En Reunión de Expertos de Alto Nivel sobre la prevención y control de las enfermedades del carbón y la Roya de la caña de azúcar. (Documento Básico de Referencia). La Habana 31 marzo-3 de abril:pág50-60.

Hsieh W. H. and Fang J. G. (1983), "The uredospore production of *Puccinia melanocephala* and *Puccinia kuehnii* in sugarcanes". Plant Prot Bull. (Taiwan); 25(4):pág. 239-244.

Jorge H.; González R.; Casas M.; Jorge Ibis. (2002), "Normas y Procedimiento del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba". Boletín Cuba-Caña, INICA, 315 pp.

Nayak D. L.; K. Bose; S. Singh and P. Nayak.(2008)."Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis of host-pathogen relationship in rice-bacterial blight pathosystem".Plant Pathol. Jour.24 (3):pág.337-351.

Peros JP (1993). Host and environmental influences on infection of sugarcane by *Puccinia melanocephala*. Sugar Cane Mar-Apr; (2):pág.13-17.

Purdy L. H.and Dean J. L. (1983). "Rust, an Old disease with new importance in Sugarcane". Sugar; 78 (12):pág.30-32.

Recio A.; F. Valladares; J. Montalván y L. Pardo. (1994). "Algunas consideraciones en la dinámica de la roya de la caña de azúcar (*Puccinia melanocephala*)". Caña de Azúcar. Volumen12 No. 2 Julio – Diciembre. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Venezuela.pág.73 -84.

Ricaud C. and J. C. Autrey. (1979). "Identify and importance of sugar cane rust in Mauritius". Sugar Cane Pathologist News Letter. 22: pág.. 15-16.

Rodríguez J.; A. Molina; Céspedes A. y L. Cabrera. (2007). "Consideraciones sobre la evaluación de la roya común de la caña de azúcar. Problemas de la escalas". Estación Provincial de Investigaciones de la EPICA Mayarí. 15 pp

Rodríguez J.; Rodríguez Y.; Martín G.; Peña L.; Ibarra J. y Leticia Daley. (2005). "Recomendaciones para un Manejo Integral más eficiente y sostenible de plagas y enfermedades de la caña de azúcar en la Empresa Azucarera Fernando de Dios". EPICA Holguín, 15 pp.

Sandoval I.; V. Picornell;, R. Chavez y A. Ramos. (1983). "*Puccinia melanocephala* H. and P. Sydow".Biologic and Ecological Aspects.XVIII Congress ISSCT.Biological Commission.Tomo I, pág.. 539-561.

Sandoval Ileana. (2001). "La roya de la caña de azúcar en Cuba". Ed. Berta G. González, Sánchez AVR, Lazo R. La Habana: INISAV. Centro de Información y Documentación de Sanidad Vegetal (CIDISAV). Ciudad de la Habana, Cuba. ISBN 959-246-040-X: 107 pp.

Tamayo Mónica. (2010). Perfeccionamiento Metodológico para evaluar roya parda *Puccinia melanocephala* Sydow y P. Sydow en caña de azúcar. Tesis Presentada en opción al título académico de Master en Sanidad Vegetal. Mención Fitopatología. Universidad Agraria de la Habana. 88 pp.

Victoria J.; Moreno C.; and Cassolett Ch. (1990). "Genotype-environment interaction and its effect on sugar cane rust incidence". Rev. Sugar Cane, No. 4: pág. 13-14.

Yan W.; Hunt L. A.; Sheng Q. and Szlavnics Z. (2000). "Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot". CropSci.; 40: pág.597.

RESULTADOS DEL PROGRAMA DE FITOMEJORAMIENTO EN LA EPICA HOLGUÍN
RESULTS OF THE BREEDING PROGRAM IN THE EPICA HOLGUÍN

R. Cruz S.; J. Rodríguez Z.; A. Solís B.; Y. Mendoza B.; J. Ibarra R.; Y. Vaillant C. y E. Fernández P.

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín.
e-mail: rubisel.cruz@inicahl.azcuba.cu

Resumen

En este trabajo se ofrece una panorámica sobre los resultados obtenidos por el Programa de Fitomejoramiento de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín durante los últimos 20 años. Se abordan aspectos relacionados con la evaluación de la Colección de Germoplasma, el trabajo de hibridación y selección en las diferentes etapas del esquema y la recomendación e introducción de nuevos cultivares de caña de azúcar en áreas de producción, con énfasis en el programa de mejoramiento para la tolerancia al estrés por sequía y la contribución de éste a la sostenibilidad de la agroindustria azucarera en la provincia, así como las proyecciones y perspectivas.

Palabras clave: caña de azúcar, germoplasma, selección, sequía

Abstract

In this article is offered a panoramic on the results obtained by the Phytobreeding Program at the Provincial Station of Sugarcane Research of Holguín during the last 20 years. Aspects related with the evaluation of the Germplasm Collection, the hybridization work and selection in different stages of the scheme and the recommendation and introduction of new sugarcane cultivars in production areas, are approached, with emphasis in the program of improvement for the tolerance to the drought stress and the contribution of this to the sustainability of the sugar agroindustry in the province, as well as the projections and perspectives.

Key words: sugarcane, germplasm, selection, drought

Introducción

La caña de azúcar es un cultivo con características excepcionales desde diversos puntos de vista, capaces de satisfacer no solamente necesidades alimentarias, sino también otras igualmente importantes, que nos brindan la posibilidad de desarrollar una agricultura sobre bases sostenibles, a este aspecto se han referido diversos autores, entre ellos Cuéllar (2003), Suárez y Morín (2005), citados por Jorge y otros.(2011).

Para lograr producciones altas y estables, se requiere la conjugación de múltiples factores, fundamentalmente varietales, agrotécnicos, fitosanitarios y gerenciales; al respecto, Revilla y Cáceres (2006) citados por Jorge y otros (2007) plantean que según algunos autores, las variedades pueden representar el 50% de la producción.

El Programa de Fitomejoramiento tiene como misión obtener variedades de alto potencial agroazucarero, adaptadas a las principales condiciones edafoclimáticas del país, con tolerancia a diferentes condiciones de

estrés ambiental, resistencia a las principales plagas que afectan al cultivo y aptas para la diversificación, constituyendo el eslabón primario y base del mantenimiento de la agroindustria azucarera (Jorge y otos., 2011).

La Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) Holguín es una de las cinco de la red del INICA que desarrollan el programa completo de mejoramiento genético, es una de las tres que posee una réplica de la Colección de Germoplasma y realizó hibridación desde el año 1952 hasta el 2005.

El objetivo de este trabajo es mostrar resumidamente, los principales resultados obtenidos por el Programa de Fitomejoramiento de la EPICA Holguín durante los últimos 20 años.

Materiales y métodos

Los resultados que se exponen corresponden a estudios realizados en la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín, incluyendo sus Bloques Experimentales, lotes de floración y demás áreas de investigaciones, durante el período comprendido entre el año 1992 y el 2011.

En la Colección de Germoplasma se evaluaron los caracteres siguientes: comportamiento ante la roya común (en fondo de infección), carbón y VMCA (inoculación artificial), pudrición roja (condiciones naturales), brix, porcentaje de pol, pureza, número de tallos, diámetro y longitud.

La conducción de las investigaciones se realizó según las Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (Jorge y otros., 2002), cuando no fue así, se señala oportunamente.

Los estudios metodológicos para la estimación de parámetros genético– estadísticos se realizaron en poblaciones derivadas de tres diseños de cruzamientos factoriales (Hogarth, 1968), evaluadas en las fases de posturas (en tres ciclos de siembra y cosecha) y clones, en caña planta y primer retoño en todos los casos, según las normas vigentes en ese momento (INICA – MINAZ, 1987).

Resultados y discusión

En la figura 1 se muestra la evolución del germoplasma durante el periodo 1991 – 2011, pudiéndose observar que en la primera mitad del mismo se produjo un crecimiento discreto, mientras que al cierre de la segunda hubo un decrecimiento, el cual estuvo dado por la demolición de la Colección de la EPICA Holguín en el primer semestre del 2011, para su posterior traslado desde Matanzas, actividad que debe concluir antes de finalizar el año 2013.

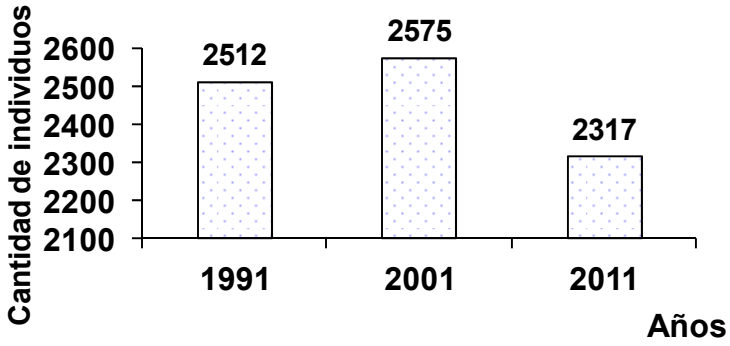


Fig. 1. Evolución de la Colección de Germoplasma. EPICA Holguín 1991-2011

En la figura 2 se muestra la composición de la Colección de Germoplasma, observándose la necesidad de continuar incrementando el genofondo con materiales de diferente origen genético, fundamentalmente con formas originales, híbridos interespecíficos y géneros afines, corroborando lo expuesto por Cruz y otros (2009a).

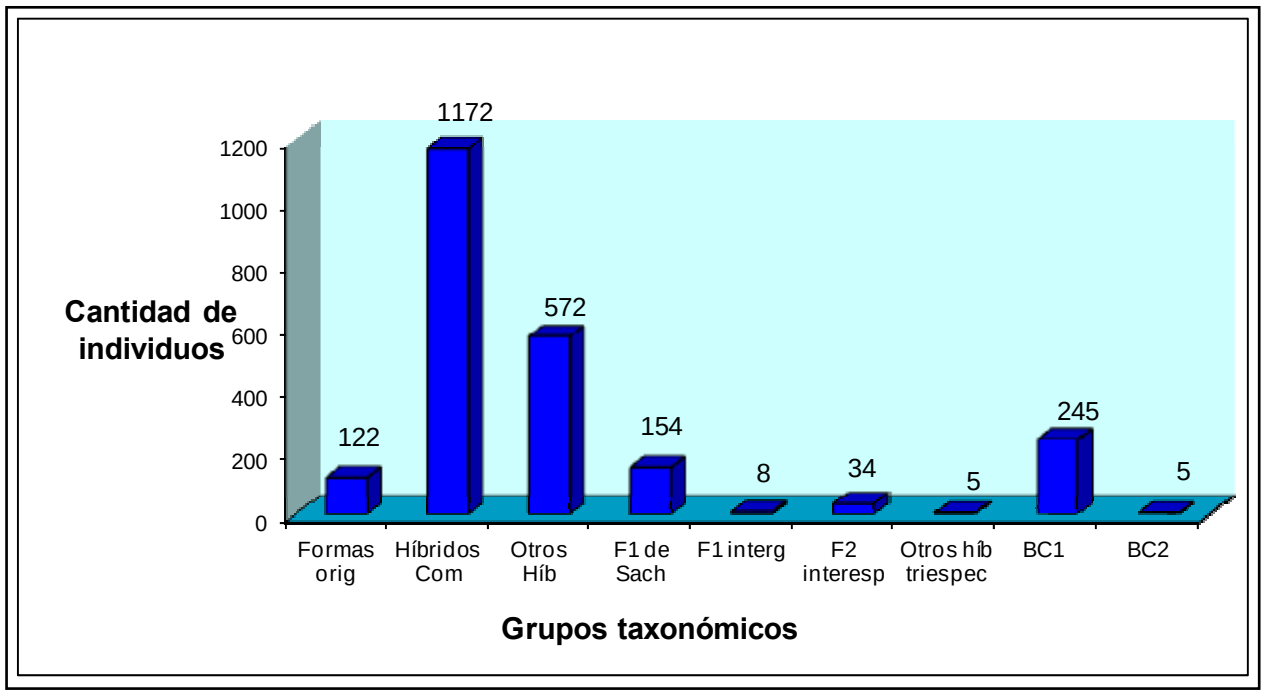


Fig. 2. Composición actual de la Colección de Germoplasma.

En las figuras 3 y 4 se muestran los resultados de las evaluaciones del germoplasma ante las enfermedades roya común y carbón, así como VMCA y pudrición roja, respectivamente, los que conjuntamente con los de los estudios metodológicos referentes al modo de herencia de la resistencia y/o susceptibilidad a las mismas

y de la evaluación de progenies, han permitido hacer un empleo más adecuado de los progenitores en la hibridación.

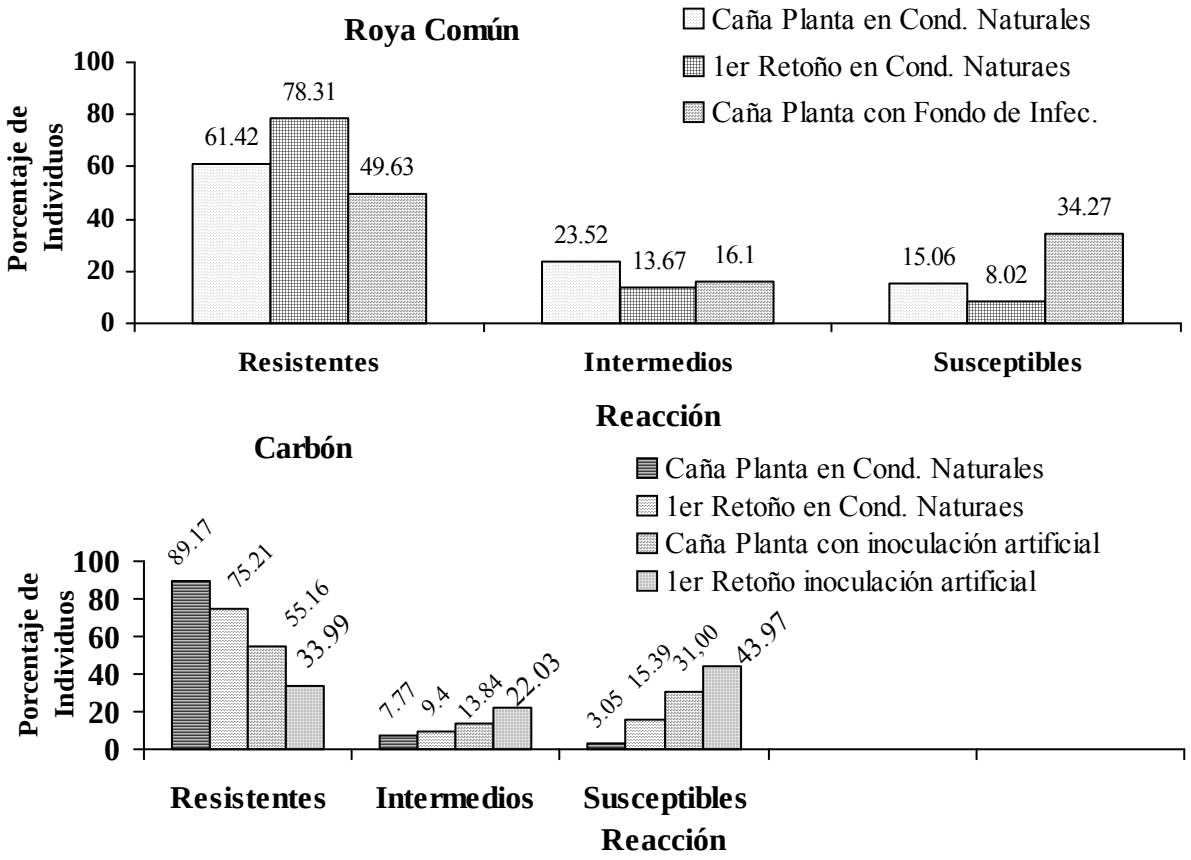


Fig. 3. Resumen de los resultados de las evaluaciones del germoplasma ante las enfermedades de la roya común y el carbón

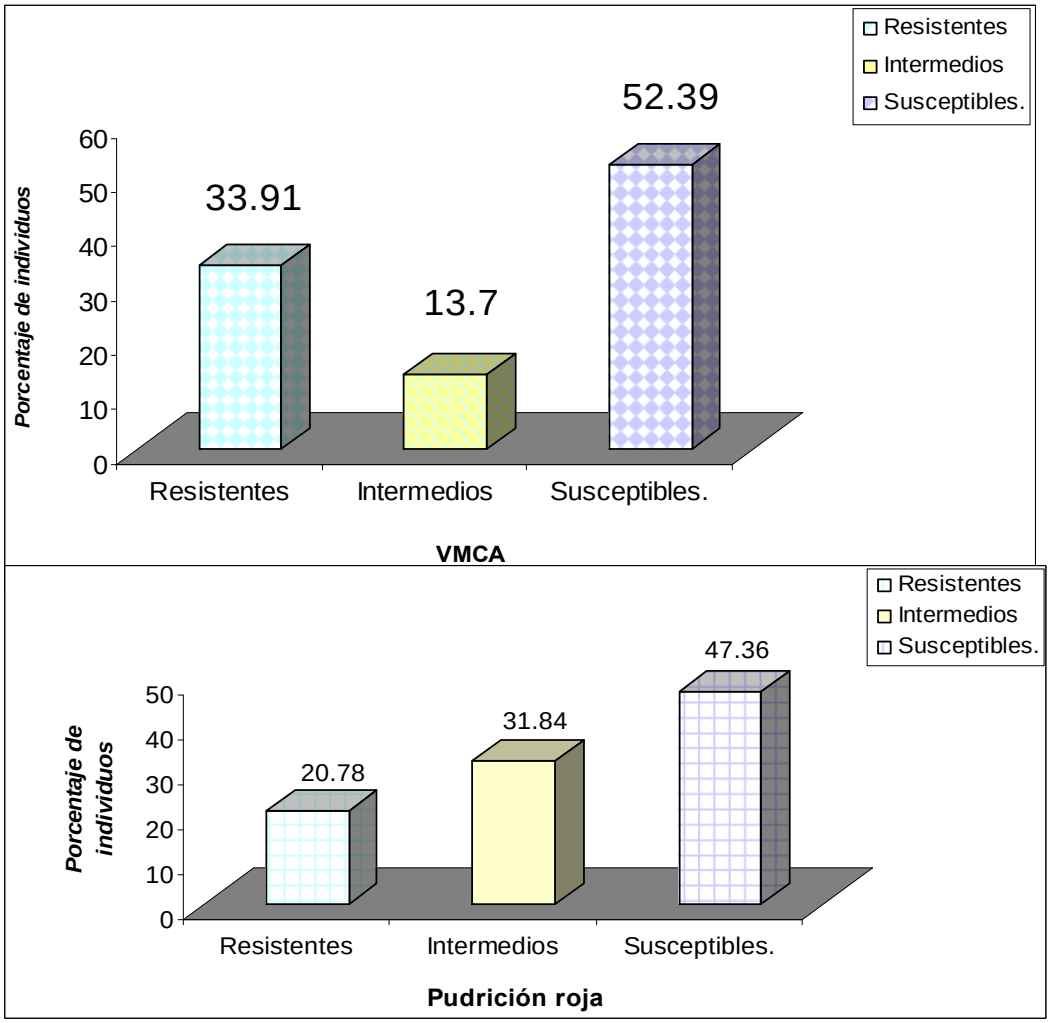


Fig 4 . Resumen de los resultados de las evaluaciones del germoplasma ante el VMCA y la pudrición roja

El programa de mejoramiento ha estado estructurado en tres componentes fundamentales:

- Cruces para el programa comercial de obtención de variedades para condiciones normales.
- Cruces para el programa de obtención de variedades tolerantes a condiciones de estrés por sequía.
- Cruces de avance generacional para ampliación de la base genética.

Teniendo en cuenta las múltiples exigencias que deben cumplir las variedades modernas, ha sido necesario manejar un elevado número de posturas y clones en las diferentes etapas del esquema de selección. En la tabla I se expone un resumen parcial (*) correspondiente al período.

Tabla I. Resumen de los trabajos de selección. Período 1992-2011

Conceptos y etapas	Cantidad de individuos
Posturas llevadas al campo	394991
Posturas evaluadas	230173
Posturas seleccionadas	85333
Clones evaluados en Lote Clonal 1	87758
Clones seleccionados en Lote Clonal 1	10738
Clones evaluados en Lote Clonal 2	8661
Clones seleccionados en Lote Clonal 2	552
Clones en Estudios Replicados	387
Clones seleccionados en Estudios Replicados	26
Variedades recomendadas	6

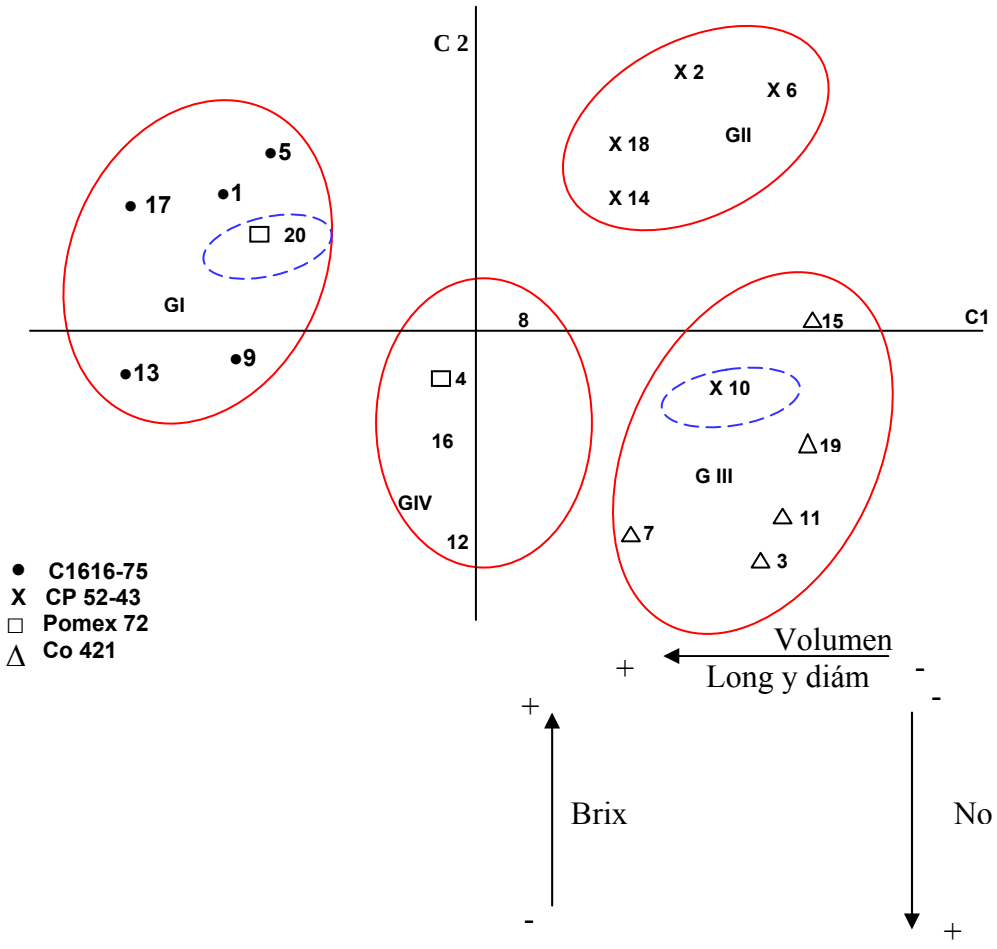
(*) Son resultados parciales debido a que no han concluido todas las etapas en la totalidad de las series (pendiente la selección de las series 04 y 05 en LC2 y etapas sucesivas y los clones seleccionados en Estudios Replicados de la serie 98 en adelante)

Paralelamente a los Estudios Replicados, se han realizado las Pruebas Estatales de Resistencia frente a la roya común, carbón y VMCA, cuyos resultados se presentan en la tabla II.

Tabla II. Clones y variedades que se han evaluado en Pruebas Estatales de Resistencia.

Enfermedades	Clones y variedades que se han evaluado	Comportamiento		
		Resistentes	Intermedios	Susceptibles
Roya común	709	295	258	156
Carbón	579	360	93	126
VMCA	497	172	135	190

Como ya expresamos, el trabajo de mejoramiento varietal para condiciones normales se ha complementado con el de tolerancia al estrés por sequía y el de avance generacional para ampliación de la base genética; respecto al primero de ellos, se han evaluado colecciones de trabajo y realizado estimaciones de parámetros genético – estadísticos en diferentes caracteres de interés, que han posibilitado obtener resultados de gran importancia para el mejoramiento; algunos de los cuales se muestran en las figuras 5, 6 y 7.



Valores y vectores propios.				
	C1	C2	Variables más importantes	
			C1	C2
Valores prop.	2,35	1,71	Vol. (- 0.61)	No Tallos (0.67)
%	46,9	34,2	Log. (- 0.59)	Brix (0.54)
% acuml.		81,1	Diam. (-0.52)	

Fig.5. Resultados del Análisis de Componentes Principales. Variables de rendimiento.

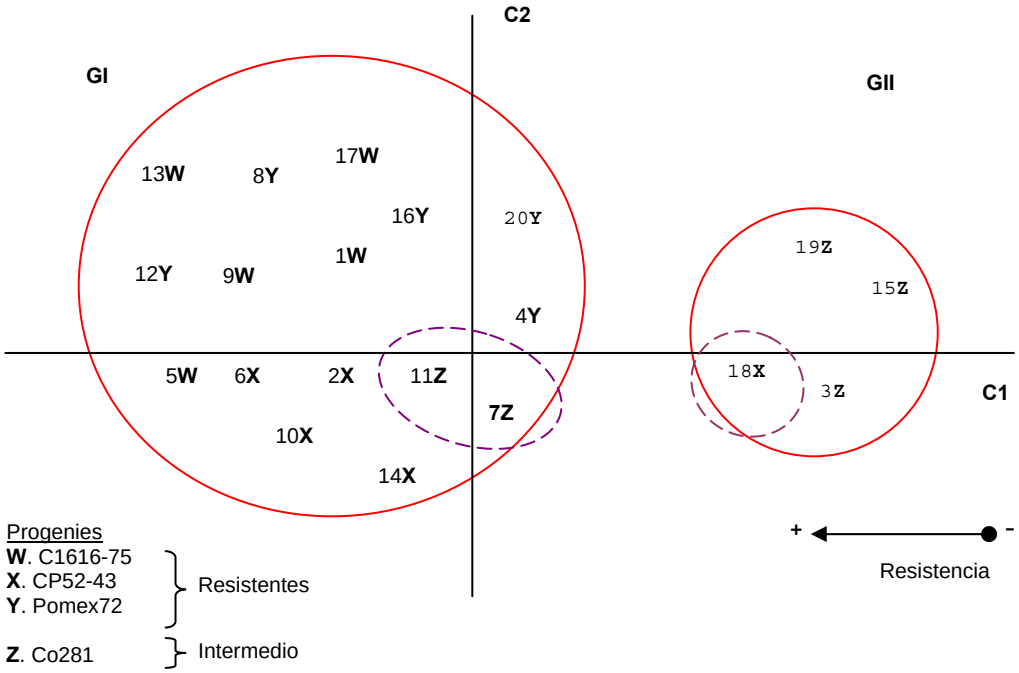


Fig. 6 Resultados del Análisis de Componentes Principales. Variables de comportamiento ante la roya común .

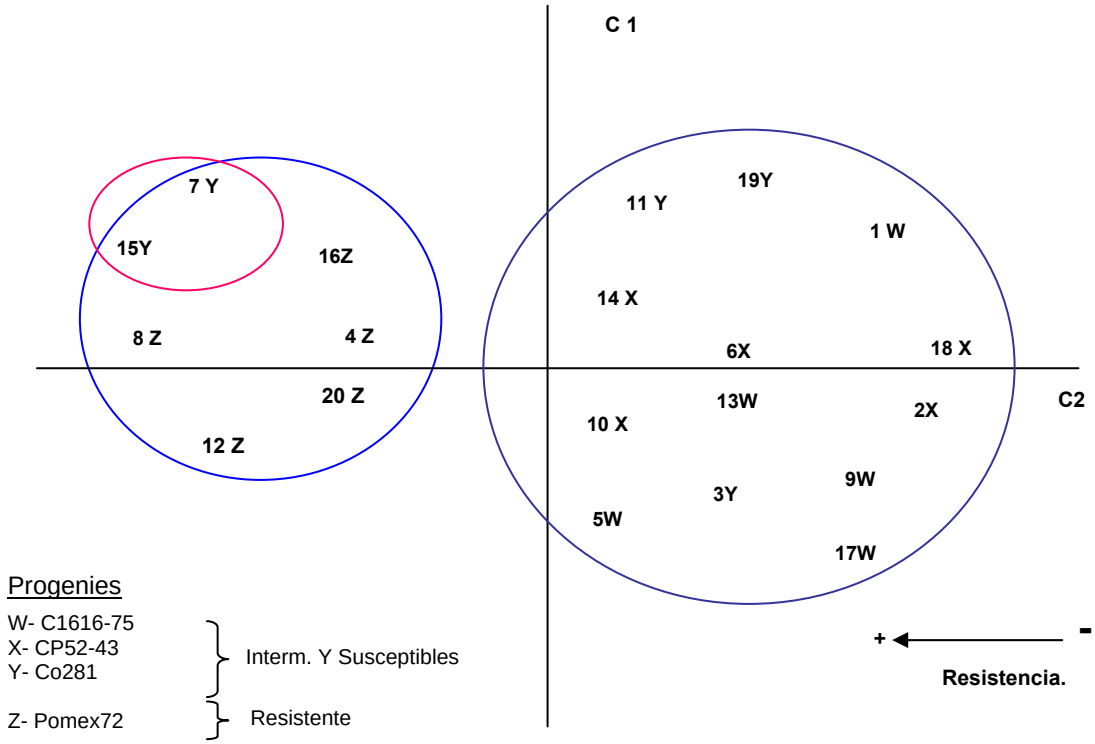


Fig. 6. Resultados del Análisis de Componentes Principales. Variables de comportamiento ante el carbón.

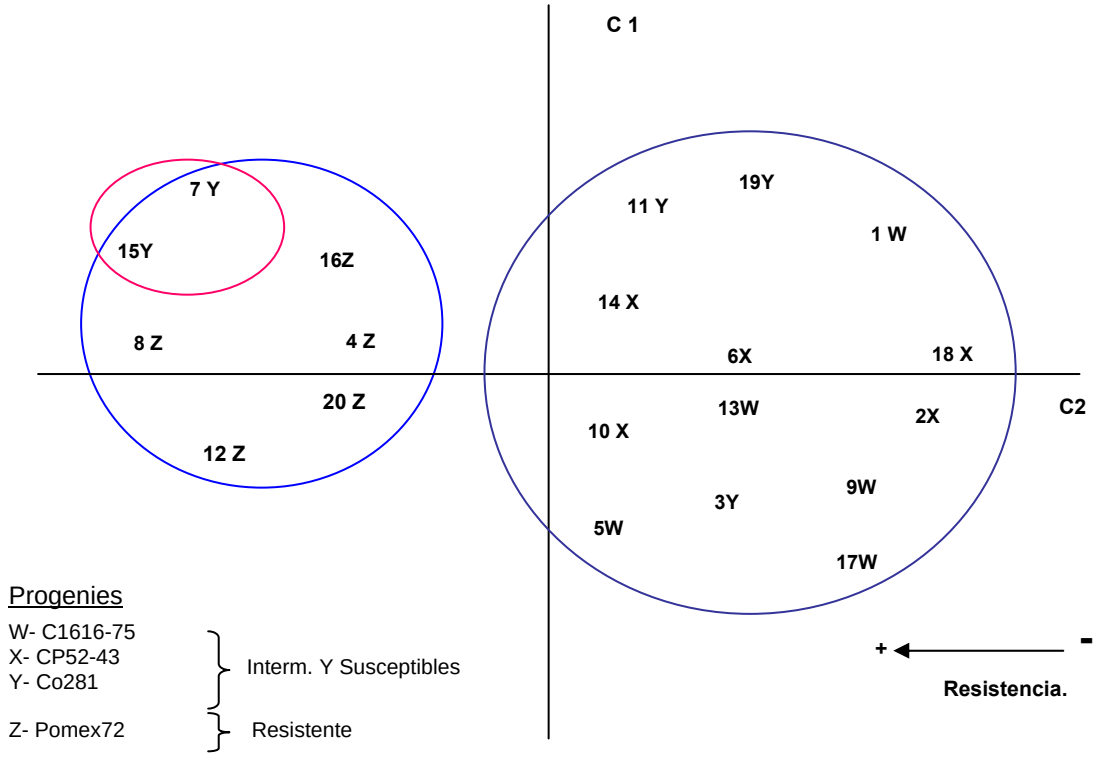


Fig. 7. Resultados del Análisis de Componentes Principales. Variables de comportamiento ante el carbón.

En el mejoramiento para avance generacional y ampliación de la base genética, se recomendaron 51 clones como progenitores potenciales; esta línea se ha llevado a cabo a través de las vías siguientes.

- Obtención de individuos F1 a partir de S. officinarum con *S. barberi* y *S. robustum*.
- Nobilización de individuos F1 y generaciones sucesivas.
- Cruzamientos intraespecíficos de F1 no emparentados.
- Obtención de híbridos complejos a través de cruces interespecíficos.
- Selección recurrente en poblaciones F1 y generaciones sucesivas.

Los trabajos de hibridación y selección realizados en el período 1992-2011, han posibilitado la recomendación de seis nuevas variedades para la producción comercial (C92-514, C92-524, C93-540, C94-504 C97-538 y C97-539), caracterizadas por poseer altos potenciales agroproductivos, expresados tanto a escala experimental como de producción bajo diferentes condiciones. Según Cruz y otros (2009b), en la provincia de Holguín, el rendimiento de las nuevas variedades recomendadas hasta ese momento superaba en aproximadamente 10 t caña/há al de las principales variedades comerciales con más años de explotación (C120-78, C323-68, C1051-73 y C87-51) y como resultado de ello, entre 1.04 y 1.16 t azúcar / há.

En la figura 8 se muestra la composición de variedades de la provincia al cierre de diciembre / 2011.

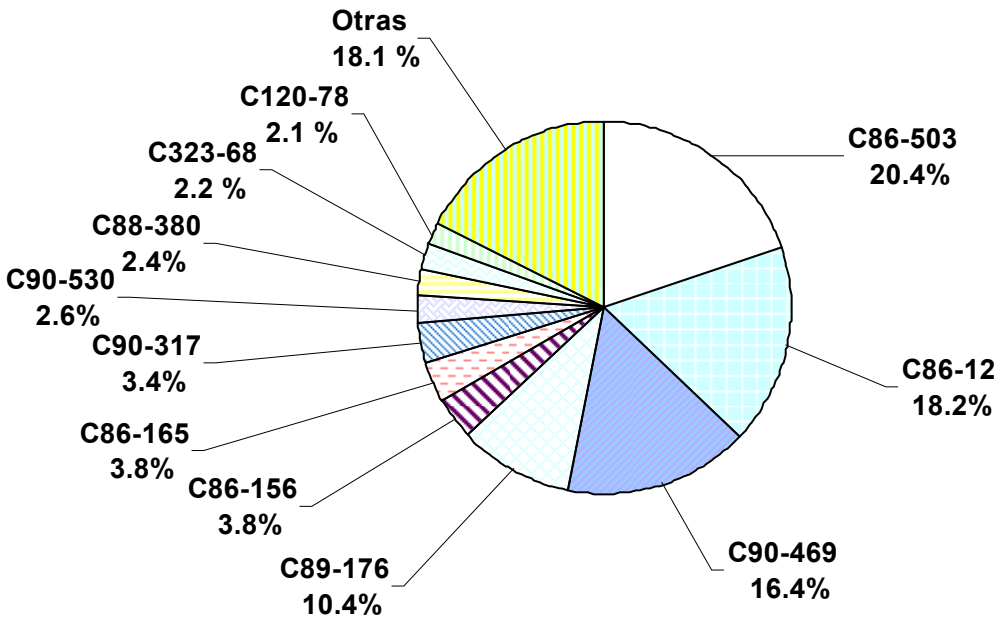


Fig. 8. Composición de variedades de la provincia de Holguín. Diciembre 31/ 2011.

Teniendo en cuenta las proyecciones de la agroindustria azucarera, se está trabajando en una línea de mejora con los siguientes objetivos:

- Tolerancia al estrés por sequía y elevada productividad en diferentes ciclos de plantación y cosecha.
- Alto contenido azucarero y resistencia a las principales enfermedades.

Conclusiones

- ✓ La evolución de la Colección de Germoplasma durante el periodo no ha sido satisfactoria, produciéndose una ligera reducción al final del mismo.
- ✓ Los resultados de la caracterización de la Colección de Germoplasma, conjuntamente con los de los estudios sobre el modo herencia de los componentes del rendimiento y la resistencia a enfermedades y de la evaluación de progenies, han hecho posible un empleo más adecuado de los progenitores.
- ✓ Durante el periodo se ha manejado un elevado número de posturas y clones en las diferentes etapas del esquema de selección, que han dado lugar a la recomendación de seis nuevas variedades para la producción.

Recomendaciones

- Completar la Colección de Germoplasma y su caracterización y continuar su ampliación, con énfasis en las formas originales, híbridos interespecíficos y géneros afines.
- Desarrollar la línea de mejora para tolerancia al estrés por sequía, elevada productividad en diferentes ciclos de plantación y cosecha, alto contenido azucarero y resistencia a las principales enfermedades.

Referencias

- Cruz, R, G. Pérez, H. Jorge y otros (2009a) Genetical resources of sugarcane in Cuba: evaluation, broadening and impact on breeding, 9th Sugarcane Breeding and Germplasm Workshop, South Africa.
- _____; N. Bernal, S. Castro y otros (2009b). Impacto del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar y el Servicio de Variedades y Semilla en la provincia de Holguín. Premio Provincial de Innovación Tecnológica.
- Cuéllar, I. y col. (2003). Caña de Azúcar, paradigma de sostenibilidad. Edición Publinica, ISBN: 959 – 7023-24-6, 175pp.
- Hogarth, D. (1968). A review of quantitative genetics in plant breeding with particular reference to sugarcane. The Journal of Australian Institute of Agricultural Science, Sep: 108-120.
- INICA – MINAZ. (1987). Normas y Procedimientos del Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. 147pp.
- Jorge, H; R. González, M.A Casas y otros (Editores). (2002). Normas y Procedimientos del Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Boletín No 1 Cuba & Caña, 315pp.
- _____, H. García, N. Bernal y otros (2007). Variedades de caña de azúcar en Cuba. Una nueva concepción y manejo. Memorias XXX Convención ATAM.
- _____, Ibis Jorge, J.M Mesa y otros (2011). Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba. Actualización 2011, 346pp.

POTENCIAL AGROPRODUCTIVO DE LOS SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA UEB 30 DE NOVIEMBRE, PROVINCIA ARTEMISA

YIELD POTENTIAL OF SOILS DEDICATED TO THE SUGAR CANE CROP IN THE SUGAR CANE PLANT 30 DE NOVIEMBRE, ARTEMISA PROVINCE

Libia Bouzo Almeida,Bárbara Hernández Santallana R. Hernández Macías.

Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Mayabeque– Artemisa, Carretera a Santana Central José Martí. San Cristóbal CP 22800. Artemisa. Cuba, Email: libia.bouzo@eticaar.azcuba.cu, barbaram.hernández@eticaar.azuba.cu.

RESUMEN

El estudio se ejecutó en el área de abastecimiento cañero de la Unidad Empresarial de Base 30 de Noviembre, de la provincia Artemisa, Cuba, con el objetivo de estimar el potencial agroproductivo de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, en correspondencia con el nivel tecnológico actual en el área estudiada. Para la estimación de los rendimientos mínimos potenciales se utilizó el método deductivo del tercer cuartil. Toda la información utilizada: edafológica, climática, agroestadística (condiciones de producción y experimentales) fue introducida en el sistema de información geográfica MapInfo, lo que facilitó la manipulación y sobreposición de las capas temáticas correspondientes a clima, suelos y registro de la producción. Los resultados obtenidos permitieron establecer los pronósticos de la producción posible alcanzar por tipo de suelo y cepa a nivel de bloque cañero en condiciones de secano. Para la zafra 2013 se estimó un rendimiento potencial de 55.5 t caña/ha, que representa un aprovechamiento del 77% del potencial posible a alcanzar. Los resultados obtenidos constituyen una herramienta útil para guiar las decisiones encaminadas a maximizar la compatibilidad entre el manejo del suelo y su capacidad productiva específica, tomando las medidas que permitan elevar los coeficientes de aprovechamiento del potencial de estos suelos, por lo que ello representa para la economía del país.

Palabras claves: Caña de azúcar, potencial agroproductivo, evaluación de tierras.

ABSTRACT

The study was done in cane areas of the sugar cane plant 30 de Noviembre, located in Artemisa Province of Cuba, with the goal of estimate the yield potential of soils dedicated to the sugar cane crop at the technological present-day level in the studied area. For the estimate of the potential minimum yields the deductive method of the third quartile was used. The whole used information: edapholgy, climatic, agro-statistic (production and experimental conditions) was introduced in the geographical information system MapInfo, that made easy the manipulation and over-position of the thematic capes corresponding to climate, soils and record of production. The obtained results allowed establishing the cane production prediction that it is possible obtaining for soil type in not irrigated conditions. For the sugar cane harvest in the year 2013 was estimate a yield potential of 55.5 tons sugar per hectare, that represents an use of 77 % of the possible potential to reach it. The obtained results constitute an useful tool to direct the decisions for maximize the compatibility

between the soil management and their specific production capacity, taking the measurements that they permit to increase the efficient co of use of these soils potential.

Key words: Sugar cane, yields potential, land evaluation.

INTRODUCCION

El proceso de determinación y predicción del comportamiento de la tierra usada para fines específicos, considerando aspectos físicos, económicos y sociales se denomina “Evaluación de Tierras”, según FAO (1985). Es una de las herramientas necesarias para una planificación racional de los recursos naturales y humanos, cuyo propósito principal es que cada área deba ser usada de tal manera que provea el máximo beneficio para la sociedad, sin una degradación de los recursos.

Van Diepen et al. (1991), plantea que la Evaluación de Tierras, en su forma tradicional puede definirse, como el proceso de estimación del potencial de la tierra para un tipo de uso específico o como: "Todos los métodos para explicar o predecir el potencial de uso de la tierra". Como toda ciencia aplicada, en la medida que la evaluación de tierras puede expresar sus predicciones en términos cada vez más cuantitativos, es más útil.

La clasificación agroproductiva constituye uno de los procedimientos más importantes dentro del campo de la agricultura, muy particularmente dentro del contexto de la Edafología como ciencia, se inscribe dentro de la Evaluación de Tierras, y resulta de la unificación y organización de los conocimientos sobre el potencial agroproductivo de los suelos para cada cultivo específico, donde se conocen las relaciones entre las unidades clasificadas y la influencia de sus propiedades sobre los rendimientos, constituyendo un aspecto de particular importancia en la agricultura que permite, entre otros, realizar pronósticos acerca del rendimiento potencial de las especies agrícolas evaluadas y proyectar las inversiones de recursos, el empleo de insumos y el desarrollo de la infraestructura.

Los trabajos más relevantes desarrollados en nuestro país para evaluar la calidad de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar y otros, fueron realizados por la Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes (1980); Mesa et.al. (1982); Sulroca (1982); ISA (1984); citados por Roldós (1986) los que categorizaron la calidad de las tierras haciendo una escala evaluativa de acuerdo con los factores limitativos que más inciden y basándose, además, en los rendimientos obtenidos.

Un esquema agroecológico donde se sugerían valores de agroproductividad para la caña de azúcar en diferentes tipos de suelos estudiados fue presentado por Arcia *et.al.* (1995), trabajos posteriores han sido realizados por Sulroca (1999) que define valores agroproductivos de agropaisajes cañeros, sugiriendo tecnologías; y De León et.al. (2001) que analizaron la producción obtenida en diferentes tipos de suelos y propusieron producciones mínimas sin fertilizantes. El estudio más reciente de evaluación agroproductiva de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Cuba por un método inductivo cuantitativo fue realizado en el año 2000, tomando como base el mapa de suelos escala 1:25000.

A la clasificación agroproductiva se llega por aproximaciones sucesivas de acuerdo al nivel de conocimiento y tecnológico de cada momento atendiendo además a las especificidades de cada cultivo, por lo que aún cuando en el país se han realizado numerosos estudios no puede considerarse la evaluación agroproductiva de los suelos como un proceso concluido, esto es un reto imposible dado que, entre otras cuestiones, el universo de los recursos naturales es demasiado variable.

Por otra parte la nueva forma organizativa de AZCUBA y su sistema de pago, establecen que para recibir el precio máximo por tonelada de caña (de 104.00 CUP/TM) el productor debe cumplir una de las premisas siguientes:

- Aumentar 5% del volumen de caña al obtenido en la zafra anterior.
- Alcanzar el 80 % del potencial productivo de los suelos.

Estas premisas constituyen elementos importantes para incentivar la necesidad de determinar los potenciales agroproductivos de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar.

El procedimiento utilizado se limita al caso particular de los rendimientos probables a alcanzar para el nivel tecnológico actual, en condiciones de secano en la caña de azúcar en Cuba en correspondencia con la información disponible y previsible para pocos años (máximo 5 años); alcanzarlos constituye un estímulo y a la vez permite vislumbrar las posibilidades productivas futuras.

Se asume como principio básico que los rendimientos logrados en los suelos de un determinado lugar, son reproducibles si las condiciones climáticas y agrotécnicas se mantienen.

Los objetivos que se proponen cumplir son los siguientes:

Objetivo general

- Estimar el potencial agroproductivo de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en correspondencia con el nivel tecnológico actual en la Unidad Empresarial de Base 30 de Noviembre.

Objetivos específicos

- Determinar los rendimientos mínimos potenciales (RMP) por tipo de suelo y cepa en la UEB 30 de Noviembre.
- Calcular los índices de aprovechamiento del potencial Agroproductivo en la UEB 30 de Noviembre.
- Generar bases de datos espacial y temática (SIG) relacionadas con el registro de la producción, información edafoclimática y potencial productivo de los suelos dedicados a caña de azúcar que sirvan de instrumento para una planificación racional de las inversiones y el manejo del cultivo de la caña de azúcar en la UEB 30 de Noviembre.

Limitaciones

- Los RMP se han calculado considerando la variabilidad del rendimiento atribuible a los diferentes tipos de suelo, cepa, condiciones de clima y nivel tecnológico para el cultivo de la caña de azúcar en la UEB 30 de Noviembre. Aún cuando se estima que se han establecido con aceptable grado de confiabilidad, la influencia de múltiples factores no considerados que influencian el rendimiento, tales como variedad utilizada, nivel de insumos, maquinaria, etc., le infieren cierto grado de incertidumbre a los resultados obtenidos.

- A partir de abundante información edafológica, climática, agroestadística (condiciones de producción y experimentales), de manejo, etc., es posible obtener ecuaciones múltiples con las variables más importantes incluidas las del suelo, el clima, e incluso de insumos como cantidad de fertilizantes, dotación de agua de riego, pesticidas, etc., que permitan estimar para cierto nivel de probabilidades cuales son los rendimientos a esperar, aumentando la precisión del proceso de

estimación, por lo en la predicción del rendimiento deberá proyectarse en una etapa posterior el uso de herramientas como los modelos de simulación estadística y/o dinámica y las funciones de transferencia.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló en las áreas de abastecimiento cañero de la UEB 30 de Noviembre ubicadas en la llanura costera sur de la provincia Pinar del Río, que se extiende en una amplia franja de terreno con relieve suave situada al sur de la Sierra de los Órganos, desde Cortés hasta las cercanías de Artemisa.

En la región estudiada el clima coincide con el de la mayor parte de Cuba. Es del tipo cálido tropical, con estación lluviosa en el verano. Dado que las precipitaciones constituyen el aspecto de mayor variabilidad espacial y temporal en Cuba en la Figura 1 se presenta la distribución de las mismas, a partir de la información de la red de pluviómetros de la UEB "30 de Noviembre", para una serie histórica de 20 años (1992 – 2011). Las precipitaciones se distribuyen en dos épocas bien definidas, una seca (Noviembre a Abril) y otra lluviosa (Mayo a Octubre) donde ocurre un 79.0 % del volumen anual de las lluvias (1203 mm).

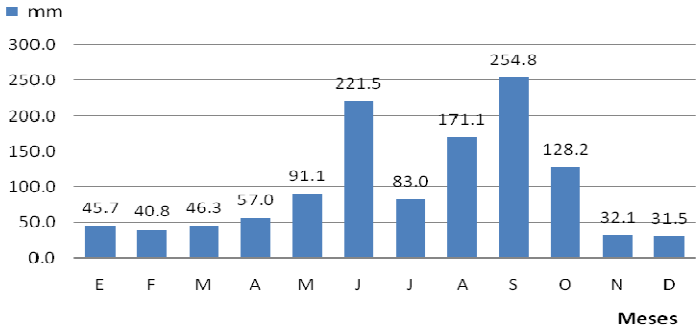


Figura 1. Distribución de las precipitaciones en la UEB 30 de Noviembre. Promedio para una serie histórica de 20 años (1992 – 2011). Información proveniente de la red de pluviómetros de la UEB "30 de Noviembre".

El proceso de estimación de los potenciales agroproductivos se realizó considerando las siguientes premisas:

1. Bajo las condiciones actuales de agrotecnia, a nivel de bloque y para cada tipo de suelo y cepa, se determinarán los rendimientos mínimos potenciales (RMP) en condiciones de secano.
2. Se tomará como base la información de una serie histórica de 10 años de rendimientos por cepas para cada UMM (campo de caña), no obstante se aceptará el procesamiento de la información que contenga 5 años como mínimo, lo que debe ser debidamente señalado dentro de las limitaciones del trabajo desarrollado.
3. Se considerarán los rendimientos por cepa correspondientes a las siguientes edades de cosecha:
   I. Primaveras quedadas (18-22 meses) y rendimientos mayores a 60 t/ha.
   II. Primaveras (11-13 meses) y rendimientos mayores a 40 t/ha.
   III. Fríos (16 – 18 meses) y rendimientos mayores a 55 t/ha.
   IV. Socas (12-13 meses) y rendimientos mayores a 45 t/ha.
   V. Retoños (12-13 meses) y rendimientos mayores a 30 t/ha.
   VI. Retoños quedados (20-24 meses) y rendimientos mayores a 53 t/ha.
4. La base para la realización del trabajo, serán los resultados obtenidos en el proceso de evaluación de tierras, realizado por el INICA en el año 2001.

5. La información edafológica se tomará a partir del mapa de suelo 1:25000, utilizado como base para la evaluación de tierras.
6. La información climática se tomará de los últimos veinte años, existente en cada Unidad Empresarial de Base (UEB) y/o la perteneciente al Grupo Empresarial Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (GEARH).
7. Se consideran las siguientes categorías por rangos de rendimiento (t/ha):

   I. $\geq 34 < 43$
   II. $\geq 43 < 51$
   III. $\geq 51 < 60$
   IV. $\geq 60 < 69$
   V. $\geq 69 < 77$
   VI. $\geq 77 < 90$
   VII. ≥ 90

8. La información gráfica y tabular a utilizar será la correspondiente a la estructura territorial, con cierre Junio 30/2012.

Para el desarrollo del trabajo se siguió el procedimiento desarrollado por Bouzo et. al., 2012., utilizándose como fuentes de datos fundamentales para la realización del estudio las siguientes:

a) Mapas de Suelos y sus perfiles asociados.
b) Mapas catastrales.
c) Capa **CAÑA** actualizada[1].
d) Datos climáticos.
e) Información de series de rendimientos históricos que incluyó:
- Rendimientos históricos a nivel de unidad mínima de manejo (campo de caña) provenientes de las liquidaciones de estimados del Sistema Informático para el Control del Estimado (SICE).
- Rendimientos históricos a nivel de UEB provenientes de las liquidaciones de zafra por cepas durante 34 años (1979 - 2012).
- Otras fuentes: Encuestas a los productores, rendimientos obtenidos por productores líderes y otras.

f) Consulta de los resultados correspondientes a los siguientes estudios previos:
- Primer cálculo de los potenciales de todas las empresas cañeras del país. Trabajo desarrollados por la dirección de Suelos y Fertilizantes del MINAGRI en conjunto con la Dirección de Agrotecnia del MINAZ. 1978 – 1979. Bases desarrollada por Mesa et. al. (1980).
- Potenciales productivos resultantes de la Evaluación de Tierras reportados por Bouzo Libia et. al., (2001).
- Mapas de Suelos y sus perfiles asociados. (Mapa Genético de los Suelos de Cuba. Escala 1:25000. Ministerio de la Agricultura).
- Resultados de los estudios de zonas edafoclimáticas cañeras y potencial productivo realizados por Mesa et. al. (1980), Sulroca et. al. (1980) y Álvarez (1997).
- Resultados de experimentos de nutrición desarrollados en la red experimental INICA.
- Base cartográfica 1:10 000 actualizada y validada por el Grupo de Ordenamiento Territorial de la UEB 30 de Noviembre, 2012.

[1]La capa **CAñA** contiene información gráfica y tabular del catastro de las áreas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar. Suministrada por el grupo de Ordenamiento Territorial de la UEB 30 de Noviembre

Se procesaron los datos provenientes de las liquidaciones de estimados (SICE) durante 8 años (2005 – 2012). Estas bases de datos contenían información de cosecha de 10515 campos de caña (Figura 2). Al realizar el proceso de depuración de datos se seleccionaron 3431 campos (No. Campos RHAP)[2], los que se redujeron a 3076 (No. Campos Caña ET RHAP)[3] debido a la pérdida resultante del enlace con la capa **CAÑA ET[4],** que representa el 29% de los datos inicialmente compilados, resultando esta información la utilizada finalmente para el proceso de estimación de los potenciales agroproductivos[5]

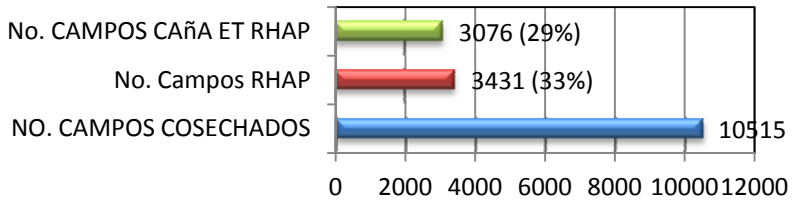


Figura 2. Distribución de los datos analizados en el proceso de estimación de los RMP. UEB "30 de Noviembre". Datos provenientes de las liquidaciones de estimados (SICE) durante 8 años (2005 – 2012).

Toda la información fue introducida en el SIG MapInfo para el ordenamiento, manipulación y procesamiento de la misma, lo que permitió la representación espacial de los resultados en mapas temáticos en correspondencia con los rangos de RMP establecidos en las premisas del presente estudio.

Como paso preliminar al proceso de estimación de los RMP se realizó la actualización de la evaluación de la aptitud física de la tierra ajustada a la cartografía actual de la UEB. La actualización de la evaluación de tierras se realizó de acuerdo con los procedimientos descritos en el Manual de Procedimientos para la Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras de Balmaceda y Ponce de León (2000). El modelo de base empleado para la evaluación posee para su implementación un Sistema Automatizado denominado AGRO24.

Para la estimación del rendimiento mínimo potencial se utilizó el método deductivo del tercer cuartil, considerándose que el valor de rendimiento obtenido en el tercer cuartil para cada suelo y cepa representa el RMP. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores reportados por trabajos anteriores realizados en el país, rendimientos históricos de liquidaciones de zafra, criterios de expertos, para detectar valores atípicos. A partir de este análisis y cuando se consideró necesario se realizaron las correcciones pertinentes mediante coeficientes de cepa. A tales efectos se procedió al cálculo de coeficientes modificadores sobre la base de la metodología propuesta por Mesa et. al. (1980), modificada por Bouzo et. al. (2012).

Los datos de RMP por suelo y cepa obtenidos en el presente estudio fueron comparados con las producciones reales de la UEB 30 de Noviembre para el período 1981-2012 y los resultados de estudios de potenciales productivos por suelo y cepa en dos condiciones de manejo: experimentales y de producción.

---

[2] **RHAP:** Información resultante de la base de datos de rendimientos históricos una vez realizada la depuración de datos descrita en el epígrafe **Depuración de datos** en correspondencia con las premisas previamente establecidas.
[3] **Caña ET RHAP:** Información resultante del enlace de la capa CAÑA ET con la base de datos RHAP.
[4] **CAÑA ET**: Corresponde a la base de datos (en SIG MapInfo) resultante del enlace de la capa **CAÑA** con la base de datos de evaluación de tierras.
[5] La perdida de datos ocurre cuando los códigos correspondientes a la estructura territorial no coinciden debido a cambios realizados en los mismos.

Para la obtención de los RMP en condiciones experimentales se procesaron los datos correspondientes a 4 experimentos de campo desarrollados en el área de estudio en suelos Gley Ferralíticos, a los que se les realizaron 20 cosechas. Cada cosecha se analizó mediante un modelo lineal discontinuo (Figura 3) según lo describe Cate y Nelson (1973). Los valores obtenidos en la meseta (rendimiento máximo estable) fueron agrupados por cepas, determinándose el tercer cuartil para cada grupo conformado, valor que se consideró como RMP.

El aprovechamiento del potencial agroproductivo (APP) se evalúo mediante la expresión: **APP**=RR/RAP, donde RR: Rendimiento real y RAP= Rendimiento agropotencial.

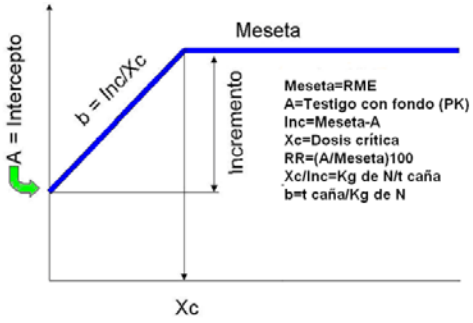


Figura 3. Modelo discontinuo utilizado en el ajuste de los resultados de las cosechas realizadas en experimentos de campo. Estudio de caso proveniente de un ensayo de niveles de nitrógeno desarrollado en Suelos Gley Ferralíticos. UEB 30 de Noviembre.

RESULTADOS Y DISCUSION

- **Rendimientos mínimos potenciales por suelo y cepa**

Los RMP por suelo y cepa para la UEB 30 de Noviembre se muestran en la Tabla I, estos representan un reflejo de los rendimientos alcanzados en las plantaciones de caña de azúcar establecidas en las condiciones edafoclimáticas propias del área estudiada.

Tabla I. Rendimientos mínimos potenciales (RMP) por suelo y cepa. UEB 30 de Noviembre. Empresa Azucarera Artemisa.

TIPO DE SUELO	ÁREA (ha)	RENDIMIENTO MÍNIMO POTENCIAL (t/ha)					
		PRIM.Q	PRIM	FRÍO	SOCA	RET.	RET.Q
Gley Ferralítico	7660.4	82.5	56.4	68.4	58.1	42.7	65.0
Aluvial	5954.8	97.5	67.6	88.6	65.6	50.1	77.3
Ferralítico Cuarc. Amarillo R. Lix..	2408.0	85.8	60.8	70.4	60.6	43.5	70.7
Ferralítico Rojo Lixiviado	723.8	83.3	58.4	65.9	60.2	47.6	68.5
Oscuro Plástico Gleysoso	446.9	86.4	59.0	91.1	60.8	50.1	67.7
Pardo Con Carbonatos	428.4	93.8	66.9	73.7	67.3	52.0	80.2
Fersialítico Pardo Rojizo	364.3	89.3	59.2	74.8	61.0	47.0	71.3
Ferralítico Cuarc.AmarilloLix.	286.2	91.1	60.5	71.0	60.4	47.5	73.0
TOTAL / (MEDIA)	**18272.8**	(88.5)	(61.1)	(76.0)	(61.3)	(46.0)	(70.6)

El método utilizado para la estimación del rendimiento mínimo potencial (método deductivo del tercer cuartil), se encuentra dentro de los métodos empleados en la clasificación cuantitativa reportados por Balmaseda y Ponce (2009), concebido para cuando existe información estadística en series históricas de los datos de rendimientos para evaluar los suelos (información agroestadística de los campos).

En contraposición al valor medio de una serie histórica de varios años, que puede estar determinado por una agrotecnia deficiente u otros problemas, el tercer cuartil representa un rendimiento que se ha obtenido, por lo tanto, es alcanzable, no exagerado, pues queda un 25% de la población con rendimientos superiores, estableciendo un límite justo y fundamentado para cada suelo y cepa a la vez que garantiza el margen para la incertidumbre asociada al intento de predecir la evolución de sistemas complejos presente en todos los métodos utilizados para estimar el potencial de uso de la tierra, en relación a lo cual Rossiter (1994), al tratar de expresar la incertidumbre de los resultados de la estimación reporta que la misma puede producirse por: la incertidumbre de datos debido a muestreo y medición de un punto; la incertidumbre de datos debido a la variabilidad espacial en la unidad de evaluación; la incertidumbre sobre los procedimientos de evaluación y el riesgo.

Dado que los valores del RMP representan estimaciones cuantitativas para la relación entre la productividad y los factores edáficos y climáticos, en los suelos Aluviales y Pardos con Carbonatos se obtuvieron los valores más altos de RMP, en correspondencia con la mayor aptitud de estos tipos de suelos para el cultivo de la caña de azúcar, resultando los suelos Gley Ferralíticos los de menor potencialidad agroproductiva, asociado al elevado grado de conflicto existente en estos suelos entre el tipo de utilización de la tierra y los requisitos para su uso, que conduce a una baja aptitud de los mismos, evaluados por Bouzo, et. al. (2001), como no aptos y marginalmente aptos para el cultivo de la caña de azúcar.

Tomando como base los RMP estimados por tipo de suelo y cepa es posible realizar pronósticos acerca del potencial de rendimiento a alcanzar bajo condiciones de producción comercial de la caña de azúcar, esta información puede servir de referencia para medir la eficiencia de las unidades productivas, a la vez que facilita el desarrollo de estrategias tales como: recomendaciones en áreas específicas, suministro de insumos agrícolas, desarrollo de la infraestructura y proyección de las inversiones de recursos, constituyendo una herramienta para la gestión de los recursos agrícolas con un fundamento racional en correspondencia con el potencial productivo de suelo.

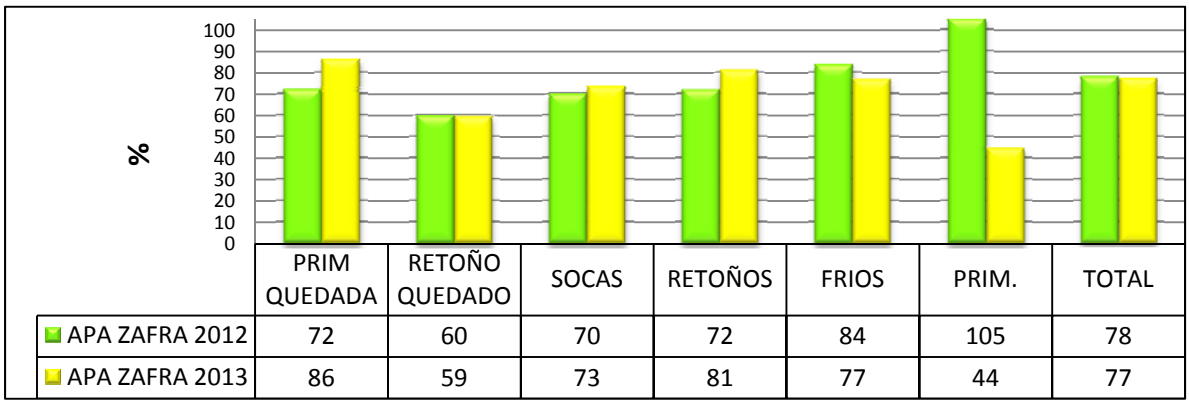
En la Tabla II se muestran los rendimientos medios de los 5 mejores años por cepa en el periodo 1981 – 2012 (32 años) en comparación con la producción real, estimada y potencial de las zafras 2012 y 2013 en la UEB 30 de Noviembre. No se valoraron para este análisis las dos primeras zafras del ingenio, en las que se alcanzaron los valores máximos de rendimiento agrícola por no considerarlas representativas debido a la menor área cosechada en relación a los años posteriores.

Las producciones reales obtenidas en el año 2012 fueron inferiores a las producciones potenciales y a los rendimientos medios por cepa de las máximas producciones obtenidas en los 5 mejores años del periodo 1981 – 2012 en la UEB 30 de Noviembre. Similar comportamiento se obtiene al comparar los rendimientos estimados para la zafra 2013, excepto para la cepa frio, lo que está asociado a que sólo se llevará a corte de esta cepa un área de 18.30 ha, plantada sobre suelos Aluviales, los de mayor RMP, resultando lógico que el RMP en estas condiciones supere el valor de las máximas producciones obtenidas, dado que estos records constituyen valores medios que incluyen diferentes tipos de suelos extendidos en las áreas de abastecimiento cañero de la UEB 30 de Noviembre, con menores potencialidades agroproductivas que los Aluviales.

Tabla II. Rendimientos medios de los 5 mejores años por cepa en el periodo 1981 – 2012 en comparación con la producción real, estimada y potencial de las zafras 2012 y 2013. UEB 30 de Noviembre. Empresa Azucarera Artemisa.

CEPA	REAL ZAFRA 2012	RMP ZAFRA 2012	ESTIMADO ZAFRA 2013	RMP ZAFRA 2013	MEDIA 5 MEJORES AÑOS
	(t/ha)				
PRIM QUEDADA	64.8	90,5	74.8	86.9	93,1
RETOÑO QUEDADO	43.3	72,5	41.8	70.5	95,9
SOCAS	43.7	62,5	45.8	62.5	65,6
RETOÑOS	34.2	47,6	37.7	46.6	51,7
FRIOS	61.8	73,9	67.9	88.6	77,9
PRIMAVERA	61.5	58,5	26.1	58.7	60,6
TOTAL	**41.9**	**53,7**	**42.8**	**55.5**	**64,4**

El aprovechamiento del potencial agroproductivo (APA) se expone en la Figura 4. El menor APA se presenta en las primaveras (año 2013) y los retoños quedados (años 2012 y 2013). La producción real y estimada para las zafras 2012 y 2013 representa 78% y 77% respectivamente del potencial, evidencia de una reserva productiva que aún queda sin explotar, por lo que de particular importancia resulta la aplicación de las medidas de manejo agronómico apropiadas, teniendo en cuenta los factores edáficos limitantes presentes en cada área que inciden en su productividad y en el rendimiento potencial del suelo.



	PRIM QUEDADA	RETOÑO QUEDADO	SOCAS	RETOÑOS	FRIOS	PRIM.	TOTAL
APA ZAFRA 2012	72	60	70	72	84	105	78
APA ZAFRA 2013	86	59	73	81	77	44	77

Figura 4. Aprovechamiento del potencial productivo para producción real (año 2012) y estimada (año 2013), UEB 30 de Noviembre. Empresa Azucarera Artemisa.

En la Figura5 se presentan los rendimientos promedios obtenidos durante 34 años (1979 – 2012) en comparación con la producción potencial (RMP) para la zafra 2013 y el rendimiento medio de los 5 mejores años en el periodo 1981 – 2012. El valor del rendimiento medio alcanzado durante el periodo de 34 años evaluado fue de 43.9 t/ha, este valor fue superado en 13 zafras y resultó inferior en 21 zafras. Los valores máximos de rendimientos se alcanzaron en las dos primeras zafras después de establecido el ingenio, 1979 y 1980, con producciones medias de 85.3 y 82.1 t/ha respectivamente. El área cosechada durante estos dos años representó aproximadamente el 35% del área actual a cosecha, por lo que se considera que estos valores no son representativos de las producciones alcanzadas. Al excluir estas zafras la mayor producción se obtiene en el año 1984 con un rendimiento medio de 74.3 t/ha.

Los rendimientos obtenidos durante el periodo 1979 – 2012 resultan superiores al RMP estimado para la zafra 2013 (55.5 t/ha) en 8 ocasiones entre los años 1979-1990, incuestionablemente un período de alta y estable provisión de insumos en la agricultura cañera. Por otra parte el RMP estimado para la zafra 2013 es inferior al rendimiento medio de las máximas producciones obtenidas en los 5 mejores años del periodo 1981 – 2012.

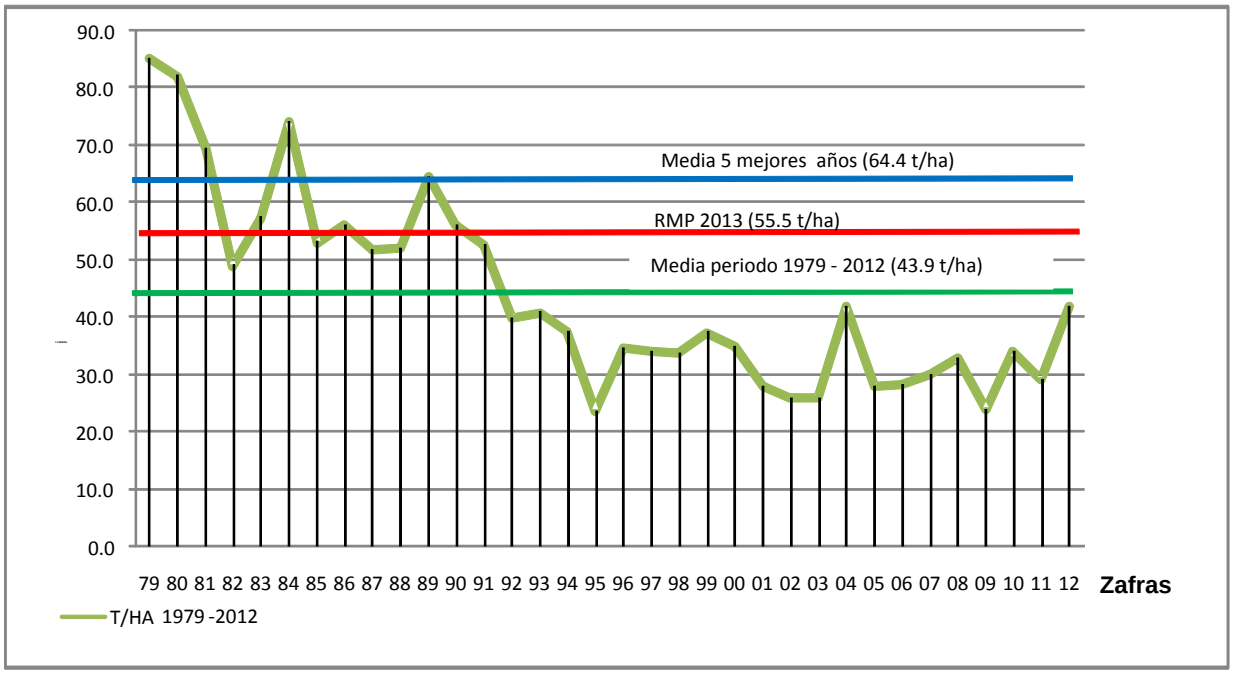


Figura 5. Rendimientos promedios obtenidos durante 34 años (1979 – 2012) en comparación con la producción potencial (RMP) para la zafra 2013 y el rendimiento medio de los 5 mejores años en el periodo 1981 – 2012. UEB 30 de Noviembre. Empresa Azucarera Artemisa.

Si consideramos que el rendimiento agronómico potencial se define por FAO 1997, como el rendimiento máximo que puede ser alcanzado por un cultivo determinado en un área específica teniendo en cuenta las limitaciones biofísicas preferentemente de clima y suelo, es evidente que los potenciales agroproductivos estimados para el nivel tecnológico actual resultan inferiores a los rendimientos máximos probables a alcanzar en la UEB 30 de Noviembre.

Aún cuando en Cuba los rendimientos agrícolas no han sido tradicionalmente altos, y durante las 10 zafras del período 1977 a 1986 donde se obtuvo, establemente, un buen rendimiento agrícola, el promedio nacional fue 52.9 t caña/ha (3.78 t/ha/mes) existen potencialmente posibilidades productivas mayores (hasta 10.8 t/ha/mes) que se pueden obtener con cuidados intensivos a este cultivo, según Álvarez (1997). Por su parte Irvine (1981) cita a 7 áreas productivas en el mundo que en la década de los años 80 encabezaban la lista de productores con 100 t/ha (8.3 t/ha mes) o más como rendimiento promedio a escala comercial: Rhodesai, Colombia, Hawaii, Suazilandia, Perú, Malawi e Irán.

Los datos expuestos en la Tabla III muestran la comparación de las producciones reales obtenidas en la UEB 30 de Noviembre para el período 1981-2012 y los resultados de estudios de potenciales productivos por suelo y cepa en dos condiciones de manejo: experimentales y de producción.

El potencial propuesto es inferior a los valores máximos de rendimientos obtenidos en la UEB 30 de Noviembre en el período 1981-2012, lo que está en correspondencia con los resultados expuestos anteriormente relacionados con los rendimientos medios de los 5 mejores años durante este período. De igual forma los rendimientos mínimos potenciales estimados resultan inferiores a los reportados por INICA, MINAZ, 2007, aún cuando es preciso considerar que este autor hace referencia a rendimientos máximos históricos. Un comportamiento similar al anterior se obtiene cuando se comparan los RMP propuestos para los suelos Gley Ferralíticos con los RMP derivados de ensayos experimentales desarrollados sobre estos suelos en la UEB 30 de Noviembre. El RMP propuesto para las diferentes cepas en condiciones de producción comercial en suelos Gley Ferralíticos representa entre un 36-63% del RMP obtenido en condiciones experimentales, con una media de 52% (Figura 6).

Tabla III. Comparación de las producciones máximas medias en el período 1981-2012 con las obtenidas en estudios de potenciales productivos por suelo y cepa en diferentes condiciones de manejo de la caña de azúcar: experimentales y de producción. UEB 30 de Noviembre. Empresa Azucarera Artemisa.

DESCRIPTOR	FUENTE	PRIM.Q	PRIM	FRÍO	SOCA	RET.	RET.Q	COND. DE MANEJO
		(t/ha)						
Liquidaciones de zafra. 1981-2012. (Máximos)	Liquidaciones de estimados (SICE)	103.4	66.0	86.6	71.5	53.3	110.0	Producción
Rendimiento máximo potencial	INICA, MINAZ, 2007[6]	107.0	62.0	105.0	84.0	72.0	99.0	
RMP (3er Cuartil)	Base de Datos[7] Suelos GF[8]	130.3	-	188.1	84.6	76.8	-	Experim. (n=4)
RMP (3er Cuartil)	Potencial propuesto. Suelos GF.	82.5	56.4	68.4	58.1	42.7	65.0	Producción
RMP (3er Cuartil)	Potencial propuesto Zafra 2013.	86.9	58.7	88.6	62.5	46.6	70.5	

La comparación de la producción obtenida en experimentos con la de los campos comerciales ha sido un tema polémico del que mucho se ha discutido. Thompson (1983), según Menéndez (1999) planteó que en las condiciones de Sudáfrica los campos comerciales sólo alcanzaban 60 % de la producción de los experimentos; por otra parte Pineda (2001) al comparar los niveles de producción en campos comerciales y experimentos de fertilizantes para las condiciones de Villa Clara reporta que el rendimiento experimental sin fertilizante es 90 % del obtenido con fertilizantes, mientras que los campos comerciales solo alcanzan 69 % de la producción experimental sin fertilizantes explicando que las causas fundamentales de estas diferencias están asociadas al manejo del cultivo que en los ensayos experimentales es más preciso, adecuado y oportuno, lo que genera mayor cantidad de labores de más calidad y en el momento óptimo.

[6] Agropaisaje: Llanuras o sabanas de suelos cuarcíticos concrecionarios de evolución ferralítica.Zona climática: Húmeda.
[7] Base de Datos Digital. Sistema de Experimentos (SIDE). Patrimonio Institucional INICA.
[8] GF: Gley Ferralítico

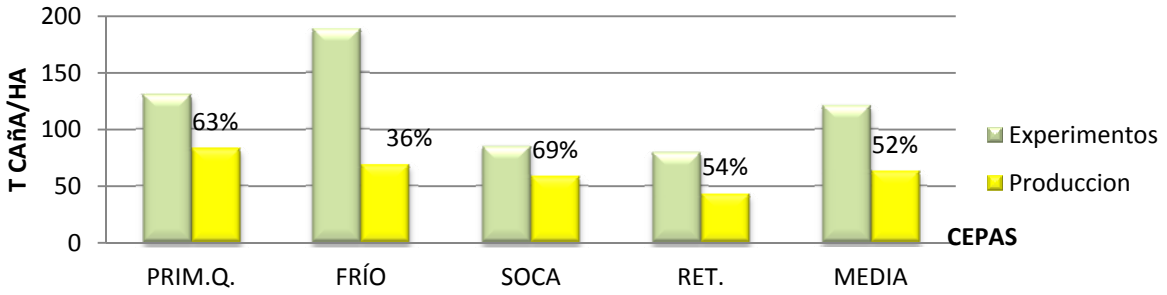


Figura 6. Rendimientos mínimos potenciales obtenidos en condiciones experimentales en comparación con los RMP propuestos en suelos Gley Ferralíticos en la UEB 30 de Noviembre.

Otro factor importante resulta el tamaño del área ya que los rendimientos son calculados en parcelas pequeñas que sobrestiman la producción. Estos problemas afectan el rendimiento comercial y establecen una diferencia que el agricultor no puede superar nunca del todo. En general se considera que una diferencia del rendimiento mayor que 30 % indicaría que las condiciones experimentales son muy distintas a las del agricultor y que tal vez haya que hacer algunos cambios en el diseño o manejo de los ensayos o cambiar, mejorar, la fitotecnia empleada.

Los RMP propuestos se limitan al caso particular de los rendimientos probables a alcanzar en la UEB 30 de Noviembre, para el nivel tecnológico actual, en condiciones de secano en la caña de azúcar, resultan previsibles para pocos años (máximo 5 años), dado que mejoras en el nivel de tecnologías e insumos, posibilitaría mayores posibilidades productivas futuras. Los valores estimados de RMP han sido superados en varias ocasiones por las producciones medias reales y por los alcanzados en condiciones experimentales, evidencia de que existen potencialmente posibilidades productivas mayores a las estimadas en el presente estudio.

- **Mapas Temáticos**

Las ventajas del empleo de los SIG como herramienta para el manejo de la información y la generación de escenarios no se discuten. La tecnología SIG en la agricultura cañera se ha estado empleando en varios países desde hace algunas décadas, entre ellos Colombia, Guzmán (1995), Costa Rica, Agüero y Corella, (2003), Tailandia, Saravanan et al. (2005) así como en Cuba, Chinea et. al. (2004) y Chinea et. al. (2007) y otros**.**

En tal sentido se realizó la representación espacial mediante mapas temáticos desarrollados a partir de la base de datos introducida en SIG (MapInfo) de los RMP estimados para cada una de las cepas y tipos de suelos existentes en las áreas dedicadas a caña de azúcar en la UEB 30 de Noviembre. Para cada cepa se detalla el área comprendida en los diferentes rangos de rendimiento establecidos. Las áreas de mayores potencialidades agroproductivas en las cepas de ciclo corto se corresponden con las socas y en las de ciclo largo con las primaveras quedadas, las de menores a los retoños en ciclo corto y los retoños quedados en ciclo largo. De modo ilustrativo se presentan en las Figuras 7 y 8, correspondiente a las cepas primaveras quedadas y retoños.

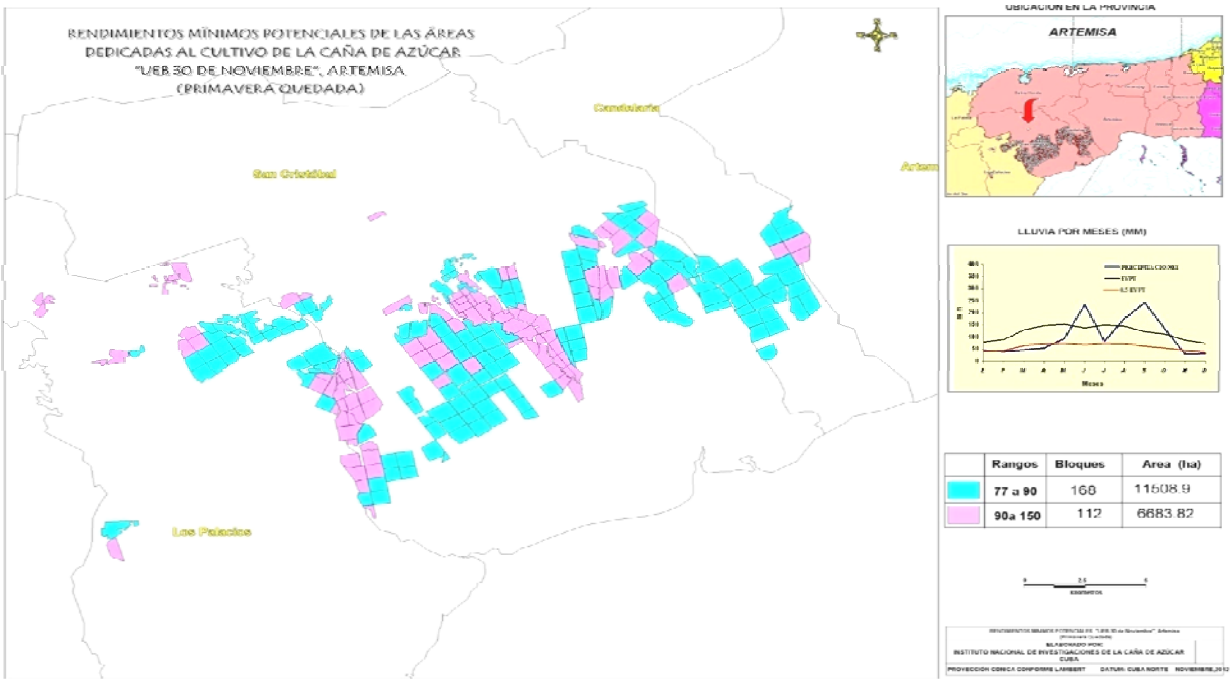


Figura 7. Mapa temático de rendimientos mínimos potenciales de las áreas dedicadas a caña de azúcar UEB "30 de Noviembre". Provincia Artemisa. Cepa: Primavera quedada.

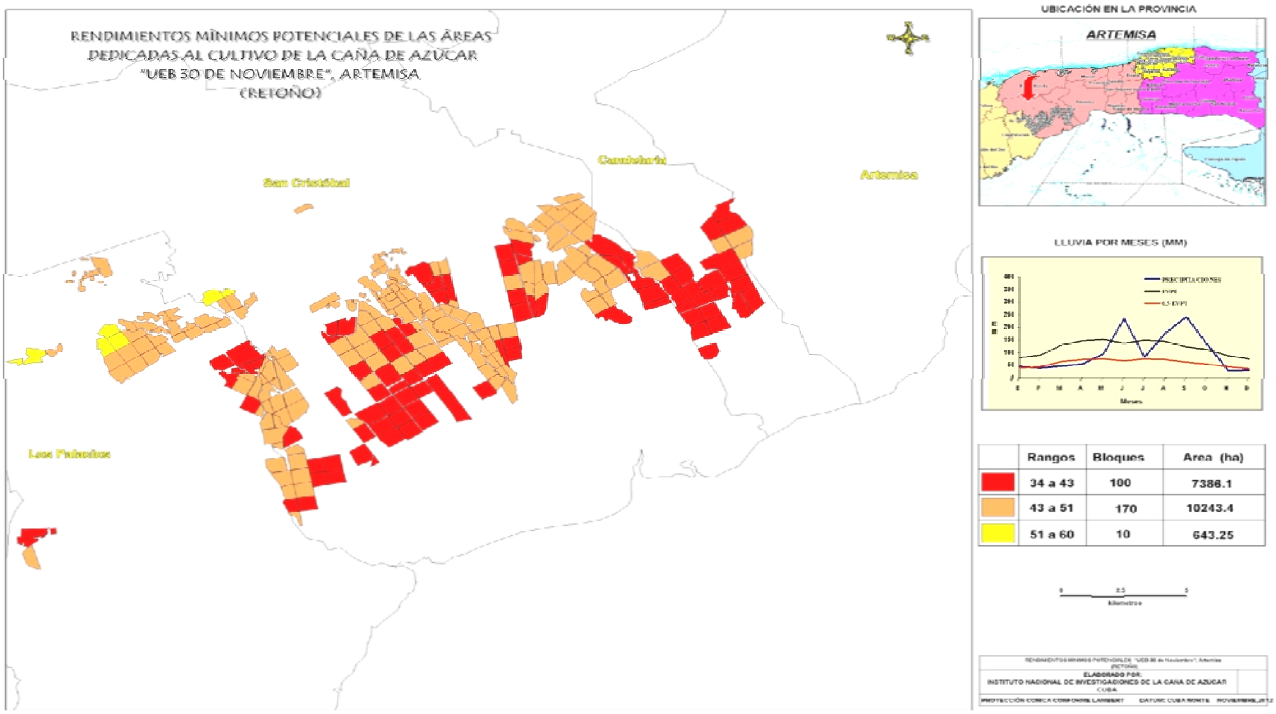


Figura 8. Mapa temático de rendimientos mínimos potenciales de las áreas dedicadas a caña de azúcar UEB "30 de Noviembre". Provincia Artemisa. Cepa: Retoño.

CONCLUSIONES

- Existen en la UEB 30 de Noviembre condiciones de clima y suelo para lograr un rendimiento de 55.5 t caña/ha, de acuerdo a la composición de cepas para la zafra 2013. Mejoras en el nivel de tecnologías e insumos, posibilitaría mayores posibilidades productivas futuras.
- Los resultados obtenidos permitieron establecer los pronósticos de la producción posible alcanzar por tipo de suelo y cepa en condiciones de secano, estimándose los siguientes valores medios de RMP: primaveras quedadas 88.5 t/ha, primavera 66.1 t/ha, fríos 76.0 t/ha, socas 61.3 t/ha, retoños 46 t/ha y retoños quedados 70.6 t/ha.
- El aprovechamiento del potencial productivo para las zafras 2012 y 2013 representa 78% y 77% respectivamente del potencial, evidencia de una reserva productiva que aún queda sin explotar.
- La elaboración de una base de datos espacial y temática (SIG) permitió la representación de la variable espacial del RMP por tipo de suelo y cepa, constituyendo una herramienta útil para la gestión de los recursos agrícolas.

REFERENCIAS

1. Álvarez D. A. (1997). El potencial agrícola de la caña de azúcar en Cuba como fuente productora de biomasa renovable. Revista ATAC. pp.10-15.
2. Arcia, J., Balmaseda C., Marín, R., Chang, R., R. Villegas, R., y Ponce de León D. (1995). Esquema agroecológico vinculado con el cultivo de la caña de azúcar en la República de Cuba. 10 pp.
3. Balmaseda C. y Ponce D. (2009). Evaluación de tierras con fines agrícolas. Editorial Científico -Técnica. ISBN: 978-959-05-0581-2, 118 pp.
4. Bouzo Libia. Ana Rosa Camejo y Hernández R. (2001). Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras del CAI 30 de Noviembre. Primera Aproximación. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana. 71 pp.
5. Bouzo Libia, Arcia, J., Zuanábar, R., Pérez E., e Idarmis Fernández. (2012). Elementos metodológicos para el desarrollo del proyecto de estimación de los rendimientos mínimos potenciales para caña de azúcar en la República de Cuba. Ed. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana. Cuba. 23 pp.
6. Rossiter, D.n (1994). Notas del curso: "Evaluación de Tierras". Universidad de Cornell Facultad de Agricultura & Ciencias de la Vida. Departamento de las Ciencias de Suelo, Cultivos y la Atmósfera. Agosto 1994.
7. De Léon, M., Villlegas, R., Machado, I., Pérez, M., y Pineda Enma (2001). Informe final de la ejecución del proyecto "Fundamentación científica de las necesidades de fertilizantes minerales en el cultivo de la caña de azúcar y sus métodos de diagnóstico". 300 pp.
8. Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes. (1980). Mapa Morfológico Nacional. Escala: 1/50 000. Editado por ICGC.
9. FAO (1997). Zonificación agro-ecológica: Guía general. Cuadernos técnicos de la FAO. Boletín de suelos 73. Roma. FAO.
10. Food and Agriculture Organization of the United Nations (1985). Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture. Soils Bulletin 55, Rome, Italy: FAO. 231 pp.
11. INICA, MINAZ (2007). Instructivo técnico para la producción y cultivo de la caña de azúcar. Ed. Publinica. ISBN 1028-6527, 148 pp.
12. ISA; MINAGRI (1980): Evaluación cualitativa de las tierras para uso agropecuario. Centro de Información y Divulgación Agropecuario, Ciudad de La Habana, 47 pp.
13. Menéndez, A. (1999). Construcción de un árbol jerárquico de decisiones a partir de un modelo lógico, descontando los efectos y minimizando la varianza. Comunicación personal.

14. Mesa, A., Suarez, O., y Tremols, J. (1980). Sistema para estimar el potencial productivo de los suelos ocupados por la caña de azúcar. 1. Fundamentación y descripción del método. Agrotecnia de Cuba. 12 (2), 1-11.
15. Mesa, A., Suárez, O., y Hernández, M. (1982). Evaluación de los suelos de Cuba referidas a 35 cultivos fundamentales, Agrotecnia de Cuba, 14 (2), 23-32.
16. Pineda, E. (2001). Los factores edáficos y la respuesta de la caña de azúcar a los fertilizantes. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA-MINAZ, ETICA Villa Clara, 103 pp.
17. Roldós, J. (1986). Evaluación de algunos factores edáficos limitantes de la producción de la caña de azúcar. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA. Ciudad Habana, 113 pp.
18. Sulroca, F. (1980). Zonas edafoclimáticas cañeras y potencial productivo. Base de Datos Digital. Dirección de Producción de Caña. MINAZ.
19. Sulroca, F. (1982). La evaluación de los factores limitantes en el cultivo de la caña de azúcar. Dpto. de Nutrición y Suelos, MINAZ, 26 pp.
20. Sulroca, F. (1999). Los agropaisajes cañeros y su incidencia en los costos de producción. 26 pp.
21. Van Diepen, A., Van Keulen, H., Wolf, J., and Berkhout, A. (1991). Land evaluation: from intuition to quantification, in Advances in Soil Science, Stewart, B.A., Editor. New York: Springer, pp. 139-204.

COMPACTACIÓN DEL SUELO PROVOCADA POR LA COSECHADORA CASE 7 000, EL TRACTOR NEW HOLLAND TS 6030 Y EL CAMIÓN KAMAZ CON REMOLQUE

SOIL COMPACTION CAUSED FOR THE HARVESTER CASE 7 000, THE TRACTOR NEW HOLLAND TS 6030 AND THE TRUCK KAMAZ WITH TRAILER

Santos Gómez Fernández, Iván Rossi Tamayo, Alfredo Rivera Laffertte, Yoslen Fernández Gálvez, Boris Platero Gutiérrez, y Arlandy Noy Perera.

Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. ETICA Camagüey. INICA. AZCUBA
e-mail. sgomez@epica.cm.minaz.cu

RESUMEN

Se presentan los resultados de la evaluación de la compactación en un suelo Pardo con carbonatos (Cambisols) provocada por la cosechadora de caña CASE 7000, tractor New Holland TS 6030 , el camión Kamaz 52320 y el remolque RR-10, en dos marcos de plantación; tradicional con hileras sencillas a 160 cm y de base ancha que consiste en surcos con hileras dobles separadas a 40 cm y distancia de centro a centro de 180 cm para conocer además el patrón de trafico de los equipos por entre los surcos del cultivo. Los resultados mostraron que en el marco de plantación tradicional la mayor compactación se produce en una zona del "camellón" (distancia entre surcos) alejada solo entre los 30-60 cm del centro de los surcos mientras que en el de base ancha se localiza entre los 60 - 90 cm, o lo que es igual, en el centro de la calle, lo cual no solo es importante para evitar los daños directos de los neumáticos a la cepa o plantón , sino también para buscar alejar lo más posible la compactación del suelo de la zona donde se desarrolla la cepa de caña.
Palabras claves: compactación, surco doble, surco de base ancha, tránsito de equipos.

ABSTRACT

In this paper it is shown the results of the evaluation of soil compaction in a Pardo con carbonatos soil (Cambisols) caused by the harvester cane machine CASE 7 000, Tractor New Holland TS 6030, the truck "Kamaz" 52320 and the trailer RR-10. The study was carried out at traditional row spacing of 160 cm and in a planting system namely wide base or dual row. The former consist of pair of canes lines 40 cm apart with 140 cm row spaced; 180 cm between their center , to now also, the pattern of traffic of the equipment by the raw spacing. The results showed that at a traditional raw spacing the higher soil compaction is produced at 30-60 cm from the center of the raw, while in the dual row is at 60-90 cm, what is the same at the middle of the inter row which is not only important to avoid direct damage to the stump but also to put far away as much as possible the soil compaction from the area where the cane stump is development.
Key words: soil compaction, dual row, equipment traffic.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es un cultivo de alta producción de biomasa por unidad de área que requiere el uso de maquinaria pesada en las labores de cosecha y transporte. Es por ello que se produce compactación en el

suelo, sobre todo cuando hay humedad y se utilizan equipos cuyo rodaje ejerce una alta presión sobre el terreno.En Cuba, al igual que en otros países, el tráfico de la maquinaria especialmente durante la cosecha es reconocido como el principal factor de compactación de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar.

Desde el punto de vista agrícola, la compactación puede definirse como aquella alteración del estado físico natural de un suelo, causada por la acción de fuerzas mecánicas externas o por manejos agronómicos inadecuados, que afectan la estructura del suelo y el potencial productivo de las plantas de interés económico.

Cairo (1994) considera que, en general un suelo bien estructurado está formado por 45 % de sólidos, 25 % de agua, 25 % de aire y 5 % de materia orgánica. La alteración de ese equilibrio hacia el aumento de la parte sólida en un volumen dado de suelo denota la presencia de compactación.

Diferentes especialistas en el tema han brindado conceptos de compactación. Así por ejemplo, Trouse (1965) la definió como el incremento de la masa de suelo por unidad de volumen. Martínez y otros (1992) la conceptualizaron como la reducción del espacio poroso no capilar responsable de la infiltración y aireación de los suelos y Schafer y otros (1993) como el cambio de volumen de una masa de suelo dada.

En resumen, se define la compactación como el aumento de la densidad del suelo resultante de las cargas o presiones aplicadas al mismo. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente y de la resistencia del suelo a la penetración. Las principales causas de la compactación del suelo son las presiones generadas por el paso de equipos e implementos agrícolas.

Gill (1968) plantea que este fenómeno tiene implicaciones directas e indirectas sobre el desarrollo de los cultivos, afectando principalmente el abastecimiento de agua y nutrientes a la planta, altera la capacidad de infiltración de agua, su redistribución en el perfil del suelo, la aireación, la transferencia de calor y el movimiento de nutrientes. La reducción de la tasa de infiltración aumenta las pérdidas por escurrimiento y disminuye la reserva disponible para los cultivos.

Ponce de León y Balmaceda (1999) reportaron que en nuestro país al realizarse el estudio de la aptitud física de los suelos y los factores edáficos limitativos para el cultivo de la caña de azúcar, se determinó qué una de las causas responsables de la caída de los rendimientos está relacionada con la perdida de la “fertilidad física” de los suelos y la compactación es el mayor exponente.

Domínguez y otros (1979) afirman que los rendimientos del campo declinan en proporción directa con el número de veces que la caña ha sido cortada mecánicamente y que no hay duda de que el problema de la compactación del suelo es una realidad y basándose en las cifras obtenidas en experimentos, las pérdidas que pueden esperarse por causa de la compactación del suelo son alarmantes.

Torres y otros (2006) señalan que el uso intensivo de maquinaria tiene efectos negativos sobre las propiedades físicas del suelo y en ocasiones provoca daños a los surcos de caña. Si la cosecha se realiza cuando el suelo presenta contenidos de humedad cercanos a la saturación disminuye su capacidad portante, lo que provoca el enterramiento de los tractores y vagones, la compactación y daños directos sobre la cepa de la caña.

Los métodos para evaluar la compactación se basan en la medición de propiedades indicadoras del estado físico en que se encuentra el suelo. En este sentido Thompson, Jansen y Kooks (1987), Unger (1988), Paignan (1994), Venialgo y otros (1998) coinciden al señalar a la densidad aparente, la porosidad de aireación y la resistencia o dureza de los suelos, como las características más utilizadas en el mundo para evaluar la compactación. La resistencia o dureza de los suelos, es por cierto, la más fácil de evaluar y desde

el punto de vista práctico ofrece ventajas para ser utilizada por el productor para decidir cuándo y cómo realizar las labores de descompactación del suelo.

De acuerdo con Black (1965) y James (1989), uno de los modelos más usados en la agricultura es el penetrómetro de impacto, el cual mide la resistencia en términos de número de golpes de un mazo de peso constante en caída libre, desde una altura preestablecida para que una varilla con punta de cono penetre hasta una profundidad dada.

Los resultados de resistencia obtenidos con el penetrómetro por Taylor y Gadner (1963) han sido relacionados por diversos especialistas con el comportamiento de variables de desarrollo de las plantas como el crecimiento de las raíces y también con variables físicas del suelo como la densidad y la humedad.

Según Álvarez (1997) para evitar la compactación y proteger al suelo, en los países cañeros con tecnologías más desarrolladas, aunque también subsolan, utilizan las combinadas con esteras muy anchas en los suelos bajos, transporte con gomas anchas de alta flotación, con mayor número de ejes o de ruedas y transferencia de peso que logran mínimas presiones, iguales o inferiores a las del pie del hombre Ciertamente, en la mayoría de los países productores de caña se ha prestado mucha atención al peso de los equipos, sistema de rodaje y ancho de las gomas pero poco se habla del tránsito logrando que las ruedas pasen a la distancia máxima posible del surco o hilera de caña para minimizar los daños a la cepa provocado por los equipos de cosecha.

Es por ello que en este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de la variación de la resistencia a la penetración de un suelo Pardo sialítico provocada por los nuevos equipos de cosecha que se están introduciendo en nuestro país.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la UEB Argentina, de la Empresa Azucarera Camagüey del Grupo Azucarero AZCUBA, sobre un suelo que se describe según la versión de clasificación genética de los suelos de Cuba de Hernández y otros (1999) como Pardo con carbonatos. Las características de un perfil representativo del suelo según el centro de perfiles de suelo NASREC (1996) se detallan a continuación:

Tabla I. Descripción del perfil hasta la profundidad efectiva

Profundidad (cm)	Características
0 – 20	Arcilla de color carmelita en estado húmeda, estructura en bloques, ligeramente plástica, friable, abundantes poros finos y medios, altamente poroso, muchas raíces finas, pocos canales, ligeramente calcáreo
20 - 35	Arcilla carmelita si húmeda, estructura en bloques, plástica, firme, pocos poros medios y finos abundantes, raíces de grosor medio, pocos canales, ligeramente calcáreo

Se localizan en paisajes generalmente planos y relieve ondulado, pendiente de 2 %, drenaje externo e interno bueno a moderado, moderadamente profundo, color oscuro a claro en la capa inferior, pH neutro a ligeramente alcalino, materia orgánica de 2 a 5 %. Desde el punto de vista químico tienen niveles de fósforo que cubren las necesidades de la caña de azúcar en gran parte del área, no así en el caso del Nitrógeno y el

Potasio donde es necesario realizar aplicaciones artificiales de ambos elementos. Poseen una capacidad de intercambio catiónico entre media y alta.

Tabla II. Valores de algunas propiedades de interés del perfil (NASREC, 1996)

Profundidad (cm)	Composición mecánica (%)			Densidad aparente (g/cm^3)	Punto marchites (%)
	Arena	Limo	Arcilla		
0 - 20	13	23	64	0.90	30
20 - 35	13	22	65	1.00	36

Para la realización del estudio se hicieron las mediciones correspondientes de la cosechadora CASE 7000, del tractor New Holland TS 6030 de la nueva tecnología, el camión "Kamaz" 52320 y el remolque RR-10 para conocer su ancho de trocha y poder evaluar su desplazamiento entre los surcos, confeccionándose figuras a escala.

La evaluación del desplazamiento de los equipos se realizó en plantaciones con el marco tradicional de surcos sencillos separados a160 centímetros (Fig.1) y en surcos de base ancha (Fig.2).

Los surcos de base ancha constituyen un diseño de plantación que consiste en lograr una conformación especial del surco que permita plantar doble hileras de propágulos espaciados a 40 cm con un ancho de calle o "camellón" de 140 cm en lugar de la hilera sencilla espaciada a 160 cm que caracteriza al sistema tradicional. De esta forma se obtiene una distancia de centro a centro de los "camellones" y de centro a centro de los surcos dobles de 180 cm como se muestra en la figura número 2.

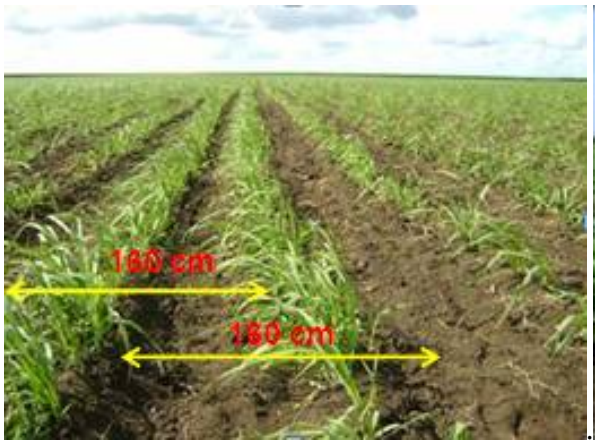


Fig. 1. Marco de plantación tradicional

Fig. 2. Plantación en surcos de base ancha.

Las evaluaciones de la resistencia del suelo se hicieron en dos campos típicos de 8,24 ha (164.8 m de ancho x 500 m de largo) colindantes y pertenecientes a un mismo bloque; uno plantado con el marco tradicional de surcos sencillos espaciados a 160 cm y el otro en surcos dobles o de base ancha. Se realizaron en secciones transversales de la calle o "camellón" en 12 puntos a lo largo y ancho de cada campo espaciados de forma tal que resultaran lo más representativa posible de toda el área.

Las determinaciones de la resistencia del suelo antes e inmediatamente después del pase de los equipos se realizaron en cada punto en el centro del surco y espaciados cada 10 cm a través del "camellón" hasta el centro del surco vecino y hasta una profundidad de 30 centímetros. También se tomaron muestras para conocer la humedad presente en el suelo en los horizontes 0-10, 10-20 y 20-30 cm de profundidad.

Las evaluaciones de la resistencia del suelo a la penetración se realizaron con un penetrómetro de impacto modelo propuesto por Stolf, Fernández y Laerte (1983) cuyas características principales se muestran en la figura 3. García (2004) señala que las determinaciones de resistencia del suelo para evaluar la compactación en campos de caña comercial, deben realizarse con un penetrómetro de impacto de este modelo cumpliendo las normativas establecidas para garantizar la calidad óptima del muestreo y realizando las correcciones necesarias de la resistencia evaluada en humedad no estandarizada.

- **Peso total: 6.3 kg**
- **Punta de cono: 30º**
- **Área de cono: 1.13 cm^2**
- **Recorrido del mazo: 40.0 cm**
- **Peso del mazo: 4.0 kg**
- **Peso del varillaje: 2.32 kg**

Figura. 3. Esquema del penetrómetro de impacto y caracteristicas principales.

Las lecturas de resistencia obtenidas en impactos se transformaron a kPa, al Sistema Internacional de Medidas según Coughlan, Garret y Smith (1987) por la fórmula siguiente:

$$\mathbf{Re} = \frac{m^2 \times h \times g}{(m + u) \times (e \times a) \times 1000}$$

Donde:

Re = Resistencia del suelo (kPa)
m = Peso del mazo (kg)
h = Recorrido del mazo (m)
g = Gravedad (9.81 m/seg^2)
u = Peso del varillaje (kg)
e = Avance promedio/impacto (m)
a = Área de cono (m^2)

Para el procesamiento estadístico se creó una base de datos con todas las determinaciones realizadas y se hizo un análisis de varianza bifactorial con los factores; momento (antes y después de la cosecha) y distancias (desde el centro de la cepa) lo que permitió determinar en que zona de la sección tranversal del "camellón" se provoca la mayor compactación por el pase de los equipos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se presentan las dimensiones de la cosechadora que tiene un ancho de trocha de sus neumáticos traseros de 183 cm. El tractor tiene una trocha muy similar a la cosechadora (180 cm) lo que está dentro de la tendencia mundial de fabricación de tractores para la caña de azúcar con distancia de centro a centro de sus gomas de 180 a 190 cm. Obsérvese que los neumáticos al igual que los de la cosechadora tienen 60 cm de ancho y son de alta flotación.

El transporte de la caña se realizó con el camión Kamaz (Fig.6) y su remolque (Fig. 7) que es movido con el tractor dentro del campo. Obsérvese que ambos tienen un ancho de trocha de 180 cm. En todos los casos lo

más importante a tener en cuenta es precisamente la trocha, o lo que es lo mismo, la distancia de centro a centro de los neumáticos así como la distancia de los exteriores las que se muestran también en la tabla III. La distancia interior no resulta nunca un problema para el surco o hilera de caña que queda en el medio.

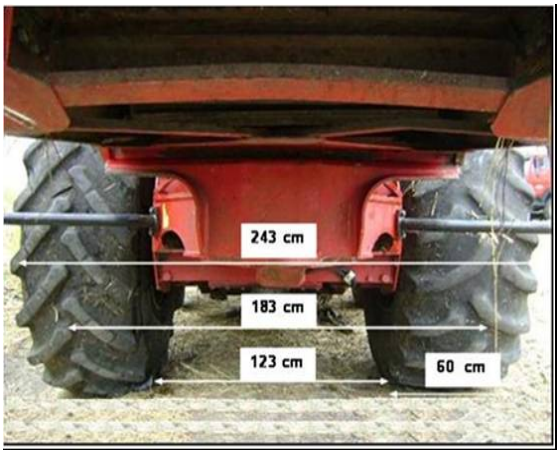


Fig. 4. Ruedas traseras de la cosechadora.

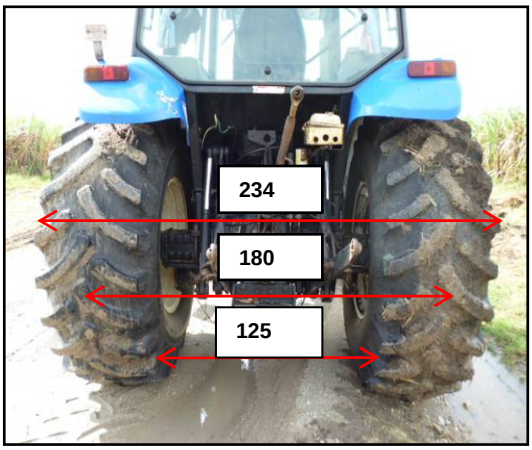


Fig. 5. Ruedas traseras del tractor.

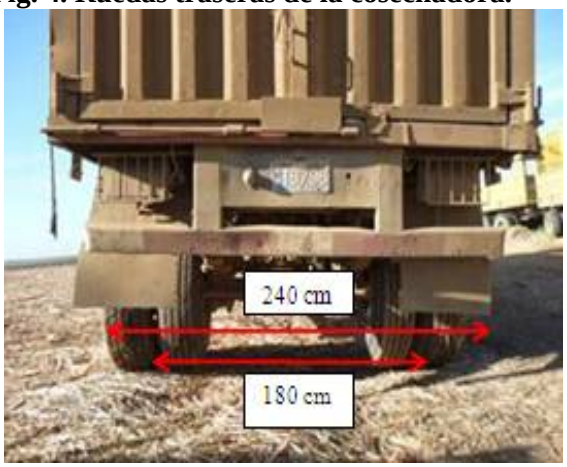


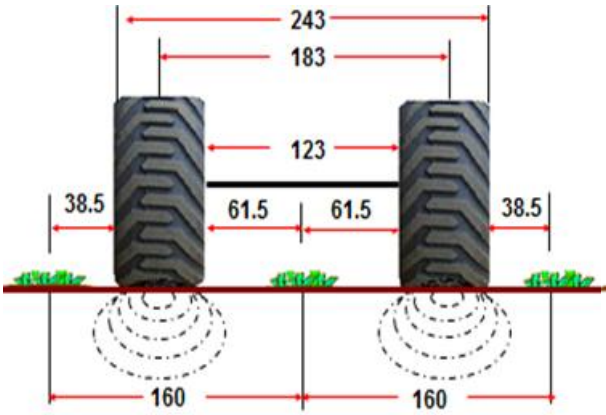
Fig. 6. Ruedas traseras del camión Kamaz.

Fig.7. Ruedas traseras del remolque Kamaz.

Tabla III. Dimensiones y peso de los equipos

Equipos	Ancho eje delantero (cm)		Ancho eje trasero (cm)		Trocha (cm)	Peso total (t)	
	Exterior	Interior	Exterior	Interior		Tara	Con caña
Cosechadora CASE 7000	227	125	243	123	183	16	-
New Holland TS 6030	225	123	234	125	180	9	-
Kamaz 52320	226	188	238	138	180	9.5	19
Remolque RR-10	236	135	236	135	180	4.2	14

A continuación se muestra como es el pasamiento de la cosechadora por los marcos de plantación evaluados.



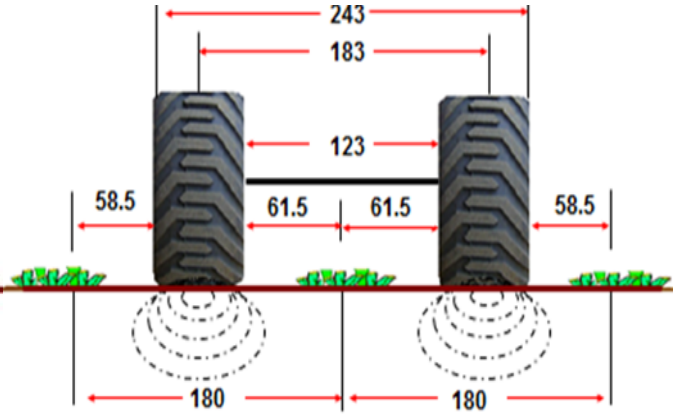


Fig. 8. Pasamiento en marco tradicional. **Fig. 9. Pasamiento en marco de base ancha.**

Al observar las dimensiones de los ejes delanteros de los equipos podemos concluir que no se requiere de una evaluación detallada del desplazamiento de los neumaticos por los surcos, pues los mismos (por la distancia desde sus exteriores) pasan siempre alejadas de los surcos que quedan a ambos lados que son los que se afectan por el paso de los equipos.

Debemos señalar que el hecho de que todos estos equipos tengan una trocha casi igual, resulta muy importante para lograr un pasamiento ordenado de las ruedas entre los surcos provocando una sola huella a lo largo del “camellón.”

Con el marco de plantación tradicional (Fig. 8) el exterior de los neumáticos de la cosechadora pasa a solo 38.5 cm desde el centro de los surcos que quedan a ambos lados. Si tenemos en cuenta que el sistema de raices de la caña de azúcar se desarrolla hasta 30 cm a ambos lados de la cepa,el paso de los neumáticos puede afectar su espacio vital al modificarse la resistencia a la penetracion del suelo. Durante la evaluacion pudimos observar que las imprecisiones en la conducción, principalmente del tractor, hace que este acercamiento en ocasiones sea mayor, llegando a ser hasta de solo 15 cm.

Con el marco de plantación en surcos de base ancha (Fig.9) el exterior de las ruedas pasa 20 cm más alejadas del centro de los surcos (58,5cm) por lo que se afecta mucho menos el espacio vital de las plantas. No se presentan gráficas con el desplazamiento del tractor pues sus dimensiones como ya se ha mostrado son muy similares a las de la cosechadora. De igual forma en el caso del camión y el remolque su trocha es de 180 cm por lo que el pasamiento resultó tambien igual.

En otros países productores de caña como Brasil y Sudáfrica han comenzado a pensar también en la importancia que tiene que las ruedas de los equipos afecten lo menos posible la cepa de caña y han propuesto similares soluciones. Por ejemplo, en Brasil en recientes trabajos, Alencar (2008) recomienda un marco de plantación de 60 cm más 130 cm donde resultan 190 cm de centro a centro de camellón para evitar el “pisoteo” o aplastamiento de las cepas y expone el efecto dañino que este “pisoteo” provoca al normal desarrollo de la caña de azúcar ya que se produce una brotación raquítica. En Sudáfrica (según comunicación personal recibida) también plantean que el tráfico de las ruedas debe establecerse a la máxima distancia de los surcos de caña para minimizar los posibles daños a la cepa por los equipos de cosecha. Para ello recomiendan un marco de plantación de 50 cm mas 140 cm con 190 cm de centro a centro de camellón. Señalan además que lógicas consideraciones agronómicas indican que la caña de azúcar debe plantarse en surcos dobles para alcanzar una adecuada población e incremento de los rendimientos agrícolas.

Chowing (2005) refiere que el empleo de hileras dobles separadas a 0,40 m y una distancia entre los surcos de 1,40 m comparado con el surco estándar a 1,60 m, produjo un ahorro en el control de arvenses al producirse un cierre más temprano del campo. Señala además que con la plantación en surcos dobles se obtiene un incremento significativo del rendimiento en caña y se mejora el rendimiento de las máquinas cosechadoras. Esta tecnología fue recomendada a escala comercial en Mauricio a principios de 2006 para incrementar la productividad en el cultivo de la caña de azúcar.

La humedad del suelo al momento de realizar la cosecha era de 46,7 %, por lo que se considera semihumedo al estar en el rango entre 44-48 % según García (2004) que permite el tránsito de los equipos pero provocan la compactación del suelo.

En la figuras 10 y 11 se presenta la resistencia del suelo a la penetración antes y despues de la cosecha. Observese que en el marco tradicional de plantación se produce un incremento significativo de la resistencia del suelo en la zona del "camellón" entre los 30 y 60 cm (fig 10) mientras que en surcos de base ancha(fig 11) este se produce entre los 60 a 90 cm, es decir, mas al centro y por lo tanto alejadas del area de desarrollo de la cepa de caña.

Nacci y Pla (1992) consideran que la resistencia es un indicador apropiado para detectar condiciones restrictivas al desarrollo radicular de los cultivos por la presencia de capas compactas y/o baja porosidad, agregando que la penetrabilidad permite conocer la facilidad con que un objeto puede introducirse en el suelo, es decir, la resistencia mecánica que opone el suelo a la expansión lateral y al corte que produce dicho objeto. Como se puede observar en las figuras 10 y 11 en ambos marcos de plantación el incremento de la resistencia de suelo despues del pase de los equipos fue superior a los 3000 kPa lo que pudo estar dado por la humedad presente en el suelo que como es conocido favorece su compactaciòn.

Dexter (1986), Allmaras, Kroft y Millar(1988), Boone y Veen (1994) y Lipiec y Simota (1994) coinciden al señalar que la resistencia es una de las características físicas más afectadas cuando el suelo se compacta. Estos autores plantean que a partir de una resistencia de 3000 kPa las raíces de cultivos monocotiledóneos comienzan a presentar problemas en su desarrollo, por lo que dicho rango de resistencia puede considerarse como el límite crítico para la caña de azúcar.

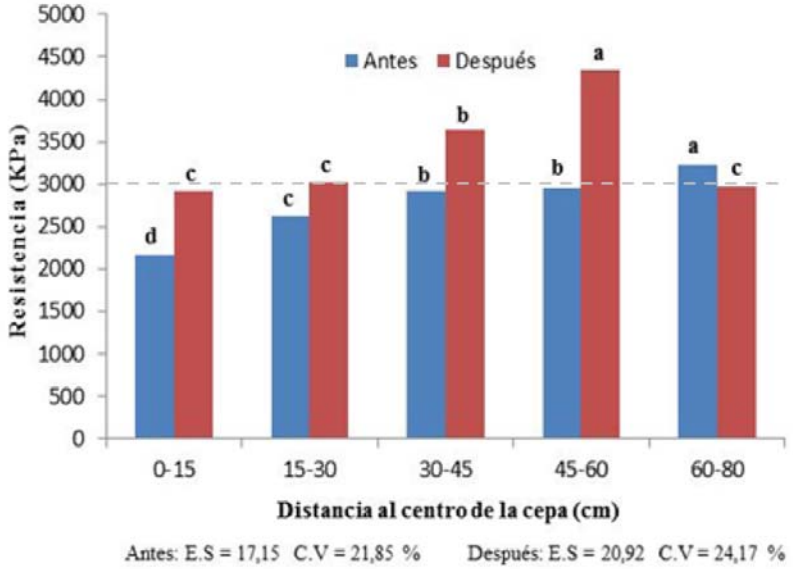


Fig. 10. Resistencia antes y después según distancia al centro de la cepa. Marco tradicional.

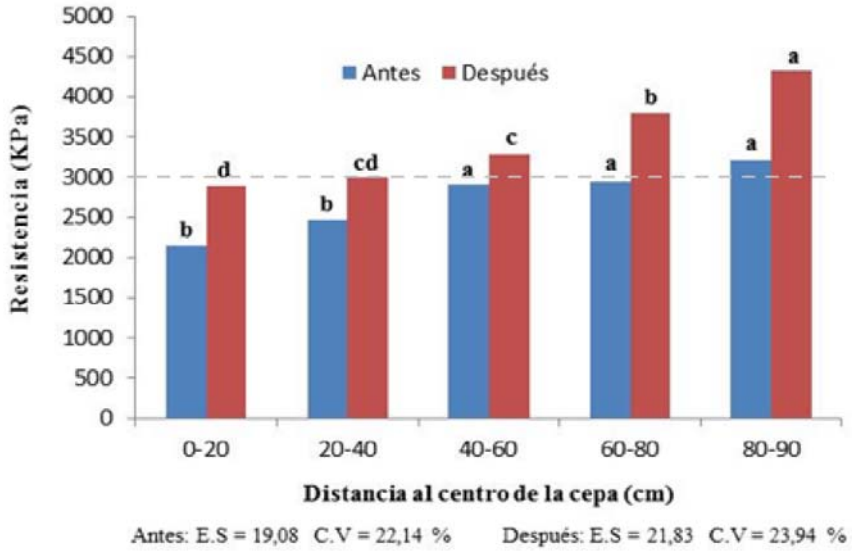


Fig. 11. Resistencia antes y después según distancia al centro de la cepa. Surcos de base ancha.

CONCLUSIONES

1.-En el marco de plantación en surcos de base ancha los equipos para la cosecha tienen un mejor desplazamiento que en el marco tradicional pues los neumáticos pasan por el centro del "camellón"o calles del cultivo.
2.-La mayor resistencia a la penetración del suelo en el marco tradicional de plantación se produjo entre los 30-60 cm del surco de caña, mientras que en los surcos de base ancha fue a 60-90 cm por lo que se consigue alejar lo más posible la compactación de la zona donde se desarrolla la cepa de caña.

RECOMENDACIONES

1.-Continuar incrementando la plantación de la caña de azúcar en surcos dobles o de base ancha similares a los de este estudio.
2.- Realizar este estudio en otros tipos de suelo y localidades del pais.

REFERENCIAS

- Alencar, J. (2008), II Simpósio Agroindustrial Internacional da STABF enasucro/Agrocana. Brasil. Cana Show.
- Allmaras, R., Kroft, J. , Millar, D. (1988), Effects of soil compaction and incorporated crop residue on root heath. Ann. *Phytopathol* 26, 219-243.
- Álvarez, A. (1997), La atención a los retoños es determinante. *Cañaveral* 2, 2-5.
- Black, C. (1965), Methods of soil analysis. Agronomy Monograph 9. Part I. ASA. Madison, Wisconsin, USA. 1180 pp.
- Boone, F., Veen, B. (1994), Mechanisms of crop responses to soil compaction. *Soil compaction in crop production* 18, 237-264.

- Cairo, P., Fundora, O. (1994), Edafología (Ciencia y Técnica. ed.). La Habana. pp. 123-134.
- Chowing, E. (2005), High-Density Planting. *Annual Report, Mauritius Sugar Industry Research Institute* 134, 26-28.
- Coughlan, K., Garry, M., Smith, E. (1987), The physical and mechanical characterization of Vertisols. Proc. I Regional Sem. Management of Vertisols Under Semiarid Conditions. Nairobi, Kenya. p. 123-138.
- Dexter, A. (1986), Model experiment on the behaviour of root of the interface between a tilled seed-bed and compaction sub-soil. *Annual Report, Mauritius Sugar Industry Research Institute* 95, 123-133.
- Domínguez, M., Fonseca, A., Abdukaderov, A., Ramírez, R. (1979), La compactación del suelo en la cosecha de caña mecanizada. *ATAC* 3, 57-64.
- Garcia, I. (2004), Tesis en opción al grado académico de máster en ciencias agrarias. Ministerio de Educación Superior.Universidad Agraria de la Habana.
- Gill, W. (1968), Influence of compactation hardening of soil on penetration resistance. *ASAE* 11, 741-745.
- Hernández, J., Ascanio, G., Morales, M. (1999), Nueva versión de clasificación genética de los suelos. MINAG. Cuba. Universidad de Biología Agropecuaria. Veracruz. México.
- James, W. (1989), An economical penetrometer for high strength soil. *Soil and Water Conservation* 12, 18-23.
- Lipiec, J., Simota, C. (1994), Role of soil and climate factors in influencing crop responses to soil compaction in Central and Eastern Europe. *Soil compaction in Crop Production* 19, 365-390.
- Martínez, J., Noguera, N., Peters, W., Clavero, T., Casanova, A. (1992), Efecto de la compactación sobre la producción de forraje en pastos Guinea (Panicum maximun. Jacq). *Facultad de Agronomía* 9, 97-108.
- Nacci, S., Pla, I. (1992), Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical* 42, 115-132.
- NASREC. (1996). Colección Nacional de Perfiles de Suelo. Soil Brief. Villa Clara. Cuba.
- Paignan, J. (1994), Metodología para investigación en el manejo de los suelos. *Procisur* 23, 59-64.
- Ponce de León, D., Balmaseda, C. (1999), El recurso suelo en el cultivo de la caña de azúcar. *INICA* 25, 56-58.
- Schafer, R., Johnson, E., Kaleen, A., Gupta, C., Horn, R. (1993), Future research needs in soil compaction. *ASAE* 90, 18-22.
- Stolf, R., Fernández, J., Laerte,V. (1983), Penetrómetro de impacto para determinar la profundidad del laboreo en áreas cañeras. *Procc. ISSCT* 19, 853-856.
- Taylor, T., Gadner, H. (1963), Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. *Soil Sci* 96, 1153-1156.
- Thompson, P., Jansen, J., Kooks, C. (1987), Penetrometer resistance and bulk density as parameters for predicting root systems performance in mine soils. *Soil Sci* 51, 1288-1293.
- Torres, J., Madriñan, C., Cruz, R., Duran, A. (2006), Espaciamiento entre surcos para reducir los daños en el campo. *Cenicaña* 35, 6-10.
- Trouse, C. (1965), Effects of soil compression on the development of sugarcane roots. *Procc. ISSCT* 8, 85-100.
- Unger, P. (1988), Sistemas de labranzas para la conservación del suelo y del agua. *Boletín de suelo de la FAO* 12, 9-11.
- Venialgo, C., Gutiérrez, N., Sosa, A., Ingarano, O., Ramirez, N., Selva, L. (1998), Resistencia mecánica a la penetración y humedad presente en diferentes manejos de suelos rojos. *UNNE* 5, 69-72.

MANEJO SOSTENIBLE DE TIERRAS PARA EVITAR O ATENUAR SU DEGRADACIÓN EN AGROECOSISTEMAS CAÑEROS

MANAGEMENT AND LAND CONSERVATION TO PREVENT OR MITIGATE THEIR DEGRADATION IN THE SUGAR CANE AGRO-ECOSYSTEMS

Irán Rodríguez Delgado[1], Hipólito Israel Pérez Iglesias[2]

1. Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Sancti Spíritus, INICA, Cuba. iran@melanio.azcuba.cu
2. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Villa Clara, INICA, Cuba. liesel@jagua.cfg.sld.cu

RESUMEN

El trabajo se realizó en la Unidad de Base de Producción Cooperativa "Tuinucú" de la Unidad Empresarial de Base Melanio Hernández, Sancti Spíritus, en una superficie de 1 925,61 hectáreas plantadas con caña de azúcar. Los suelos manifiestan una degradación severa, están sometidos a una explotación intensiva y las prácticas de manejo no son adecuadas para las condiciones que presenta la zona, acentuándose los efectos nocivos del monocultivo. Presentan topografía ondulada que los hace más susceptibles a la erosión hídrica y pérdida de suelo por escorrentía que afecta la profundidad efectiva. Se realizó un diagnostico de los principales factores que limitan la producción para conocer el grado de afectación de cada uno de ellos sobre la degradación de los suelos y su interrelación y se obtuvo que 54,2 % del suelo es poco a muy poco profundo; 70,5 % presenta pendientes favorables para la erosión hídrica y 80.8 % es compacto a muy compacto. Se establecieron prácticas agrícolas (relleno de cárcavas, barreras muertas, trazado de surcos perpendiculares a la máxima pendiente, estrechamiento del marco de plantación en áreas de cosecha manual, reducción de la quema de caña). Lo cual contribuyó favorablemente a la disminución de la degradación del suelo, recuperando los campos afectados la condición de mecanizables, permitiendo el paso de las cosechadoras, por la retención de suelo y relleno de cárcavas y zanjas. Los resultados obtenidos tienen impacto económico, social y ambiental y pueden ser extrapolados a otras regiones de Cuba y el mundo que presenten condiciones similares.

Palabras clave: Erosión hídrica, degradación de suelos, ecosistemas cañeros

ABSTRACT

The work was developed in the Base Unit of Cooperative Production Tuinucú of the Sugar Mill Melanio Hernández, Sancti Spíritus, Cuba, in an area of 1 925.61 hectares planted with sugarcane. Soils manifest severe degradation, because they are subjected to intensive exploitation for several years and the management practices are inadequate, accentuating the harmful effects of monoculture. Besides that, they present undulating topography which makes them more susceptible to water erosion and soil loss by runoff

that affects the effective depth. A diagnosis of the main factors limiting production was did in order to determine the degree of impact of each on in the soils degradation and their interrelation. The 54.2 % of the soil is little by very shallow, 70.5 % have pending favorable conditions for water erosion and the 80.8 % is compact to very compact. Agricultural practices were established (fill gullies, dead barriers, trenching perpendicular to the fall line, narrowing the scope of planting in areas of manual harvesting, and reduction of cane burning). This contributed positively to the reduction of soil degradation, recovering the affected fields their machinable condition, allowing the passage of sugar cane combines, by the retention of soil and the filling of gullies and ditches. The results have economic, social and environmental impact and they can be extrapolated to other regions of Cuba and the world that have similar conditions.

Keywords: Water erosion, soil degradation, sugarcane ecosystems

INTRODUCCIÓN

Los problemas medioambientales acaparan en la actualidad la atención de las personas y los gobiernos en el mundo, ocupando un lugar destacado y justificado por su vigencia social, política y económica. Procesos como la destrucción de la capa de ozono, las lluvias ácidas, el calentamiento global del planeta, la pérdida de las tierras cultivables a causa de la erosión y la desertificación, la contaminación de las aguas, la disminución de la biodiversidad, ponen en peligro a la humanidad (Ayes, 2003).

El cambio climático y el calentamiento global continúan siendo temas de considerable debate científico y de gran inquietud pública. La agricultura juega un importante papel en el balance de los tres gases de efecto invernadero más significativos, cuyas emisiones son producto de la actividad humana (Snyder y otros, 2008).

En el Primer Congreso del Partido Comunista de Cuba, en 1975, se subrayó la necesidad de la atención a los problemas del medio ambiente. En 1976 en la constitución de la República se reconoció el deber del Estado y de todos los ciudadanos de proteger el medio ambiente. En 1981 se aprobó la primera Ley del Medio Ambiente y del Uso Racional de los Recursos Naturales.

Más tarde, al celebrarse en 1992 La Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, "**Cumbre de la Tierra**" Cuba participó activamente y ha apoyado las acciones recogidas en el programa o Agenda 21 aprobada en esa reunión. En 1993 se conformó el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo, en 1997 se aprobó la Estrategia Ambiental Nacional, y luego de una amplia consulta popular la Ley 81 del Medio Ambiente, con un fuerte sustento en el desarrollo de las ciencias naturales, económicas y sociales.

La superficie agrícola de Cuba presenta 75% de afectación por diferentes procesos de degradación que limitan el potencial de rendimiento de los cultivos, tales como: erosión, mal drenaje, compactación, profundidad efectiva, pérdidas de fertilidad y bajo contenido de materia orgánica por lo que resulta indispensable el establecimiento de un sistema agrícola sostenible, capaz de equilibrar las exigencias de un mayor rendimiento, al tiempo que detiene o revierte los procesos de degradación de los suelos (Cuellar y otros, 2003).

En Cuba, la degradación del suelo puede desembocar en procesos de desertificación de sus principales ecosistemas, en particular, los dedicados a la producción agrícola, en los cuales hay clara manifestación de erosión, salinización, mal drenaje, compactación, acidez, disminución de materia orgánica y otros factores limitantes de su productividad (Instituto de Suelos, 2006).

La caña de azúcar constituye una de las fuentes principales 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 millones de hectáreas están dedicadas a estas plantaciones, siendo los principales países productores Brasil, India, Pakistán, Australia, México, Estados Unidos.

Para nuestro país representó el principal producto agrícola e industrial y fuente de riquezas, llegando a ocupar 1.5 millones de hectáreas que representaban el 40 % del área total cultivada, originando fuente de empleo para más de 0.5 millones de trabajadores.

El objetivo del trabajo es diagnosticar, a partir de la evaluación de factores edáficos y no edáficos limitantes de la producción de caña de azúcar, la situación que se presenta por unidad mínima de manejo agrícola que posibilite la recomendación de prácticas agrícolas encaminadas a evitar o atenuar la degradación de los suelos en agroecosistemas cañeros que posibiliten un manejo sostenible de tierras.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se desarrolló en la Unidad de Base de Producción Cooperativa (UBPC) Tuinucú de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Melanio Hernández de la provincia Sancti Spíritus, Cuba, en una superficie de 1 925,61 hectáreas (ha) plantadas con caña de azúcar, la cual es utilizada como materia prima para la elaboración de azúcar, primer rubro exportable del país.

Los suelos de dicha Unidad, manifiestan una degradación acelerada, al estar sometidos a una explotación intensiva durante varios años por la caña de azúcar, acentuándose los efectos nocivos del monocultivo, presentar topografía ondulada que los hace más susceptibles a la erosión hídrica y pérdida de suelo por escorrentía que afecta la profundidad efectiva para el desarrollo del sistema radical de la planta. Además el área de estudio no cuenta con riego de agua para atenuar los efectos perjudiciales de la sequia, sobre todo en el período seco del año (noviembre-abril) y las prácticas de manejo no son las más adecuadas para las condiciones que presenta la zona donde se realizó el estudio.

Para la ejecución del trabajo fue necesario realizar un levantamiento o diagnóstico de los principales factores que limitan la producción de caña y así conocer el grado de afectación de cada uno de ellos sobre la degradación de los suelos y su interrelación. Dichos factores se dividieron en dos grupos:

***1. Factores edáficos*:** Se evaluaron a nivel de cada campo de caña y fueron los siguientes:

Profundidad efectiva, pendiente del terreno, tipo de erosión, compactación del suelo, textura, drenaje, gravillosidad, pedregosidad, pedregones.

2. Factores no edáficos

Orientación de los surcos de caña para la siembra, quema de caña, precipitaciones pluviales.

Se utilizó Sistema de Información Geográfico (SIG) para la elaboración de mapas temáticos de los suelos predominantes y de los diferentes factores edáficos, lo cual constituye una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones. Posteriormente se recomendaron y establecieron un grupo de prácticas agrícolas para disminuir o atenuar la degradación del suelo. Se capacitó el personal de la UBPC, lo cual contribuyó a la creación de una cultura en la zona, sobre la conservación y mejoramiento de los suelos y la preservación del medio ambiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación y límites geográficos de la UBPC Tuinucú

La UBPC Tuinucú se encuentra ubicada en la región sur-oeste del municipio Taguasco, está constituida por 3 lotes cañeros (Lote 1 San Hipólito con una superficie de 680,80 ha; Lote 2 Sabanilla con 642,10 ha y el lote 3 La Redonda con 602,71 ha), lo que hace un total de 1 925,61 ha beneficiadas por el proyecto. Además está conformada por 205 campos de caña o unidad mínima de manejo agrícola (UMMA). Limita al norte con la UBPC El Bijabo, al este con el río Zaza, el más caudaloso y segundo en importancia de Cuba, al oeste con la UBPC Guayos y al sur con la localidad de Tuinucú (Figura 1).

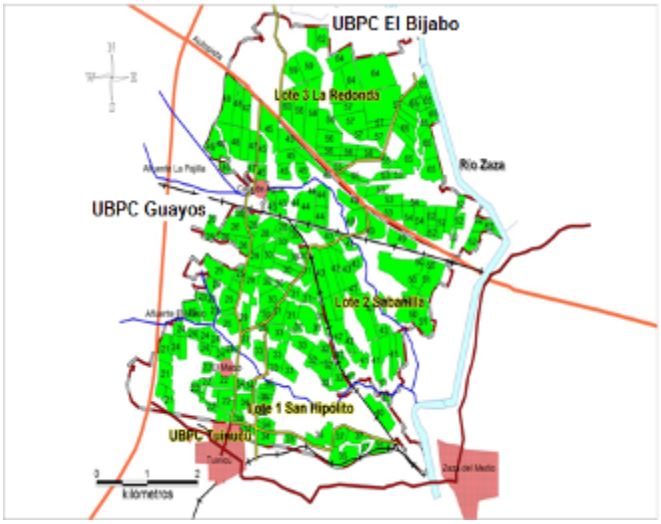


Figura 1. Límites geográficos, distribución geoespacial de las áreas cañeras y ubicación de los lotes que conforman la UBPC Tuinucú.

Suelos predominantes

Según la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández y otros, 1999), cinco tipos se distinguen en la UBPC Tuinucú, Pardos Sialíticos cálcicos y no cálcicos 1 525,18 ha (79,2 %), Vertisuelos 319,63 ha (16,6 %, Húmicos Calcimórficos 39,48 ha (2.1 %), Fersialíticos 23,1 ha (1,2 %) y Aluviales 18,1 ha (0,9 %) (Tabla I).

Tabla I. Tipos de suelos, área y porcentaje que ocupa cada uno de ellos en la UBPC Tuinucú.

Agrupamiento de suelos	Área (ha)	Porcentaje (%)
Pardos Sialíticos	1 525,18	79,2
Vertisuelos	319,63	16,6
Húmicos Calcimórficos	39,48	2,1
Fersialíticos	23,16	1,2
Aluviales	18,16	0,9
Total	**1 925,61**	**100**

El mapa temático de la Figura 2 muestra la distribución geoespacial de los suelos que caracterizan a la UBPC Tuinucú a partir de la información del mapa nacional de suelos 1:25 000 (MINAG, 1980).

Profundidad efectiva

La profundidad efectiva del suelo es aquella hasta donde se pueden extender las raíces de la caña sin impedimentos que le permitan su normal desarrollo, cuanto más profundo es el suelo la fertilidad y la posibilidad de obtener altos rendimientos agrícolas son mayores.

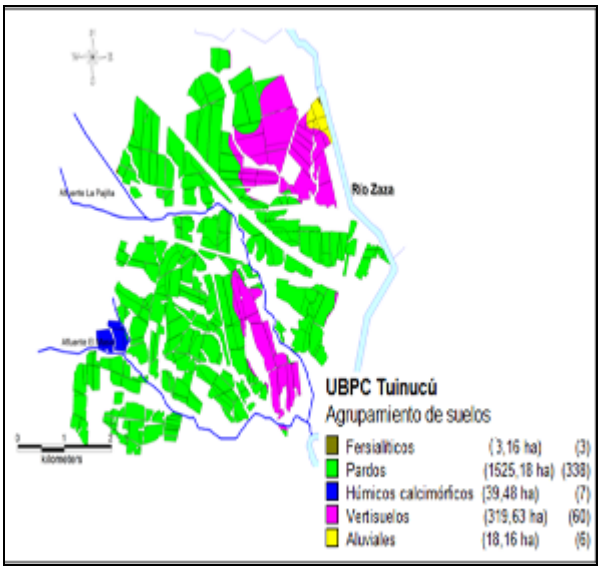


Figura 2. Distribución geoespacial de los agrupamientos de suelos presentes en las áreas cañeras de la UBPC Tuinucú según el mapa nacional de suelos escala 1:25 000.

Al evaluar, la profundidad de los suelos de los 205 campos de caña que conforman el área de la unidad de producción, se pudo comprobar que sólo el 12.8 % (252,51 ha se encuentran en la categoría de profundo (60-100 cm), como medianamente profundo (40-60 cm) 521,62 ha (26,2 %), mientras en las categorías poco profundo (20-40 cm) y muy poco profundo (< 20 cm) se detectaron 1 017,22 ha (54,2 %) y 134,26 ha (6,8 %) respectivamente, lo que representa el 61,0 % del área total de la unidad perturbada por este factor, que afecta el normal desarrollo del sistema radical del cultivo. A medida que disminuye la profundidad efectiva la afectación en el rendimiento agrícola es mayor debido a que las raíces disponen de menor área para explorar en busca de nutrientes (Pineda y otros, 2002) (Figura 3).

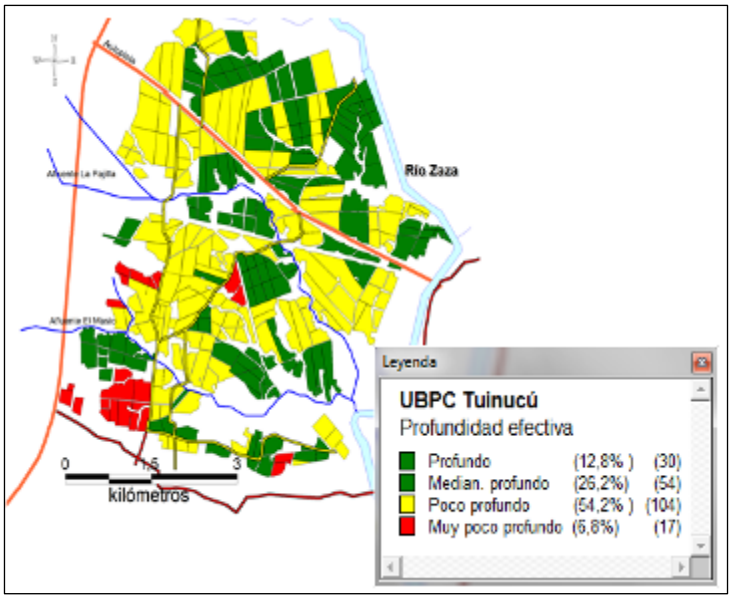


Figura 3. Distribución geoespacial de las diferentes categorías de profundidad efectiva del suelo a nivel de UMMA en la UBPC Tuinucú.

El conocimiento de la profundidad efectiva de cada campo de caña y su distribución geoespacial mediante un mapa temático resulta una herramienta de gran valor para los productores, porque les permite realizar mejores prácticas de manejo agrícola (MPMA) en las áreas bajo cultivo.

La disminución de la profundidad efectiva del suelo está en relación directa a la pendiente del terreno y a las prácticas de manejo mal realizadas. En estos lugares antes de realizar el proyecto no se realizaban acciones para evitar o disminuir la escorrentía de las aguas con la consiguiente pérdida de suelo fértil por erosión hídrica. Cuando la profundidad efectiva del suelo es menor de 20 cm, hay una brusca disminución de los rendimientos y cuando el espesor del suelo se reduce a 10 cm, la producción disminuye hasta un 70 %.

Pendiente del terreno

Al caracterizar este factor en la UBPC Tuinucú se evidencia que dentro de la categoría de plano o casi plano (0-2 % de inclinación) se encuentran 567,97 ha (29,5 %), en la categoría ondulado (2-8 %) aparecen 1 214,06 ha (63,0 %) en fuertemente ondulado (8-16 %) se encuentran 130,79 ha (6,8 %) y en la categoría colinoso (16-32 %) 12,79 ha (0,7 %), por lo que el 70,5 % de las áreas dedicadas al cultivo de la caña azúcar presentan condiciones de pendientes favorables para la ocurrencia de escorrentías en el periodo de máximas precipitaciones (Figura 4).

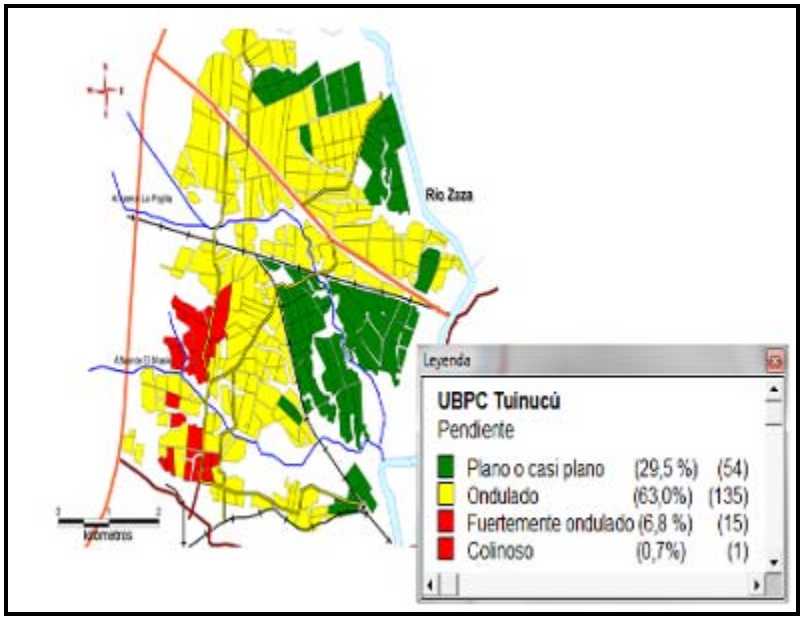


Figura 4. Distribución geoespacial de las diferentes categorías de pendiente del terreno en la UBPC Tuinucú a nivel de UMMA

Antes de realizar el proyecto no se tenía en consideración la pendiente del terreno para trazar los surcos para la plantación de la caña de azúcar, siendo frecuente encontrar plantaciones con los surcos efectuados a favor de la máxima pendiente facilitando la rápida degradación del suelo (Figura 5). Esta nociva práctica se eliminó en la UBPC Tuinucú con los resultados del proyecto.

La pendiente del terreno está muy relacionada con la erosión. Los suelos planos o casi planos son menos afectados por los efectos de las corrientes de agua que los ondulados y fuertemente ondulados. Cuando es

más pronunciada, el terreno queda más expuesto a la erosión, lo que conlleva a pérdidas progresivas de su fertilidad y capacidad productiva

Figura 5. Plantación de caña de azúcar con los surcos efectuados a favor de la máxima pendiente, lo que favorece la velocidad de escorrentía y la pérdida de suelo fértil por arrastre. Nótese en la cima del campo la aparición de un color blanquecino en el suelo debido a la disminución de la capa superficial**.**

Tipo de erosión

El estudio realizado a nivel de campo de caña en la UBPC Tuinucú permitió constatar que la erosión hídrica está presente en sus tres formas (laminar, en surcos y cárcavas). Todas las UMMA están afectas por uno, dos o los tres tipos de erosión en dependencia de la pendiente.

Este factor tiene una marcada influencia en la degradación de los suelos cubanos, sobre todo en la época lluviosa por las intensas precipitaciones que se producen. En las áreas evaluadas es significativo que 361,02 ha (18,7 % y 432,43 ha (22,5 % se encuentran afectadas por la erosión en surcos y en cárcavas respectivamente, por lo que el 51,2% del área presenta afectaciones severas debido al arrastre de partículas de suelo hacia los afluentes cercanos incidiendo directamente en la profundidad de la capa más activa del terreno, además la erosión laminar está presente en 1 131,66 ha (58,8 % (Figura 6). El alto porcentaje del área degrada por la erosión en surcos y cárcavas indica la ausencia total de aplicación de medidas y acciones para conservar el suelo.

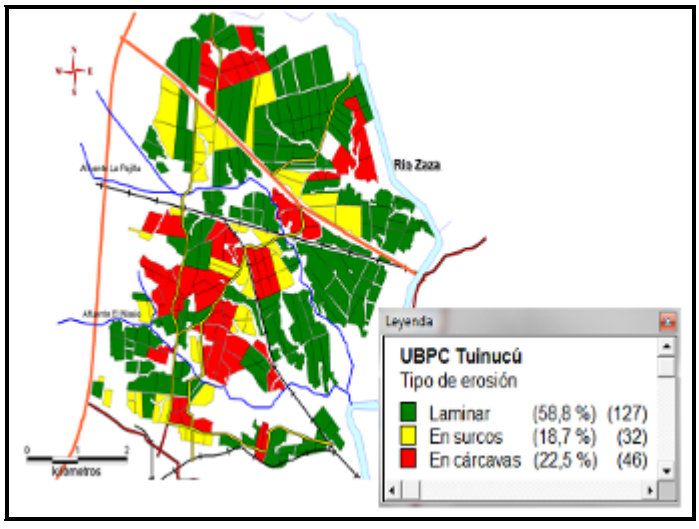


Figura 6. Distribución geoespacial por campo de caña de las diferentes categorías de tipo de erosión en la UBPC Tuinucú. En el mapa se observa coincidencia con las áreas menos profundas y de mayor pendiente ya que estos factores limitantes están interrelacionados.

La cárcava que se observa en la Figura 7 atraviesa un bloque cañero de 31,2 ha y obstaculizaba la cosecha mecanizada, ya que las máquinas cosechadoras no podían cruzarla, se construyeron barreras muertas y al cabo de seis meses la cárcava desapareció recuperando el bloque la condición mecanizable, incluso se pudo plantar caña en los espacios vacios rellenados con el suelo retenido, lo que aumentó la población del campo y por ende los rendimientos agrícolas, lo cual tuvo un gran impacto en los productores al constatar los resultados positivos del proyecto. Más adelante en el epígrafe de acciones realizadas para disminuir la erosión se muestran las barreras muertas construidas.

Figura 7. Cárcavas que evidencian la intensidad de los procesos erosivos y que impiden realizar la cosecha de forma mecanizada en el bloque 31 del lote 1 en la UBPC Tuinucú.

Compactación del suelo

La compactación del suelo es originada por las diferentes operaciones agrícolas que se realizan, entre las que se encuentran la preparación de tierras, siembra, atenciones culturales y cosecha de la caña, sobre todo cuando la humedad del suelo no es la adecuada. Los valores registrados en la UBPC Tuinucú muestran cifras que fluctúan desde la categoría suave 39,65 ha (2,1 %) a ligeramente compacto 328,99 ha (17,1 %), compacto 56,3 % que abarca 1 085,06 ha y muy compacto con 471,89 ha (24,5 %) (Figura 8).

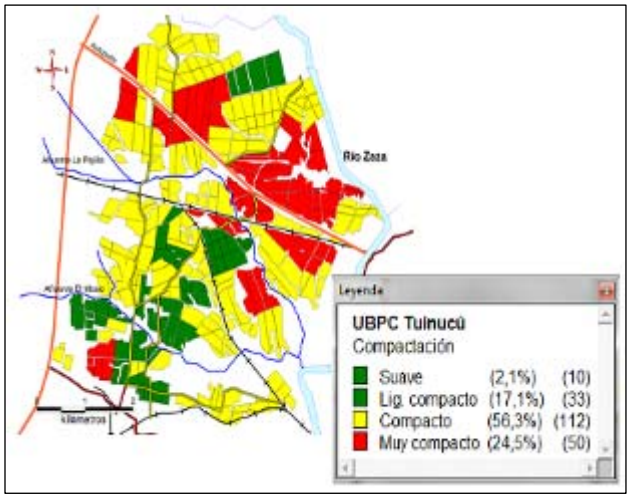


Figura 8. Distribución geoespacial de las diferentes categorías de compactación a nivel de campo de caña en la UBPC Tuinucú.

En el área evaluada 80,8 % presenta una u otra forma de compactación, lo que origina que se produzcan arrastres de partículas de tierra por escorrentías en el periodo lluvioso, al disminuir la infiltración del agua hacia las capas más profundas del suelo.

El mapa temático de la Figura 9 constituye una herramienta valiosa para los productores, ya que les permite planificar las diferentes labores de labranza en función del grado de compactación del suelo, haciendo un uso más racional de la maquinaria y los implementos agrícolas, lo que significa un ahorro considerable de energía, tiempo de trabajo y dinero.

La compactación origina un empaquetamiento de los agregados del suelo por la presión externa, que provoca una disminución del espacio poroso y por ende la reducción del oxígeno disponible y el agua aprovechable por la planta, se dificulta el desarrollo del sistema radical, lo que incide directamente en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar

La Figura 9 muestra la compactación del suelo de las áreas cañeras de la UBPC Tuinucú.

Figura 9. Suelo compactado. Obsérvese el piso de arado**.**

El 24 % de la superficie agrícola de Cuba presenta afectaciones por compactación. La determinación de la resistencia a la penetración realizada con el penetrómetro de impacto en el área de estudio (Figura 10) permite diagnosticar a la profundidad en que se encuentra la capa compacta y recomendar la tecnología adecuada (cultivo tradicional (10-20 cm), cultivo profundo (más de 20 cm) lo que permite aumentar la velocidad de infiltración, elevar la capacidad de retención de humedad del suelo y disminuir los efectos degradativos de la erosión hídrica.

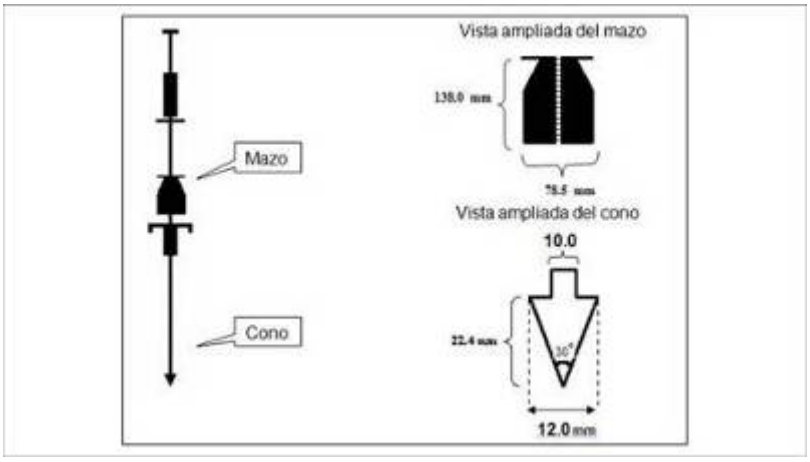


Figura 10. Penetrómetro de impacto utilizado para medir la resistencia del suelo a la penetración en el área de estudio de la UBPC Tuinucú.

El penetrómetro de impacto es un instrumento utilizado para detectar capas de suelo compactas y decidir la profundidad de las labores de cultivo después de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. El principio de funcionamiento se basa en que el peso del mazo, su caída libre y el área de la base del cono son constantes y por tanto, cada impacto del mazo ejerce una fuerza siempre igual. Como resultado, la mayor o menor penetración del cono del penetrómetro por impacto, estará en función de la resistencia del suelo.

Textura

La textura del suelo tiene una relación directa con la compactación y el drenaje. Los terrenos arcillosos son más propensos al mal drenaje la compactación y a erosionarse por escorrentía, sobre todo cuando la pendiente es pronunciada como ocurre en Tuinucú. La incidencia de la textura arcillosa se encuentra en 429,18 ha (22,3 %), como franco arcilloso 1 370,79 ha (71,2 %) y arcilloso-limoso 125,64 ha (6,5 %)

Drenaje

Se detectaron 195,45 ha (9,9 %) algo excesivamente drenado, bien drenado 1 045,65 ha (52,9 %), moderadamente bien drenado 478,45 ha (24,2 %), imperfectamente drenados 89,45 ha (4,5 %) y pobremente drenado 164,37 ha (8,5 %) (Figura 11).

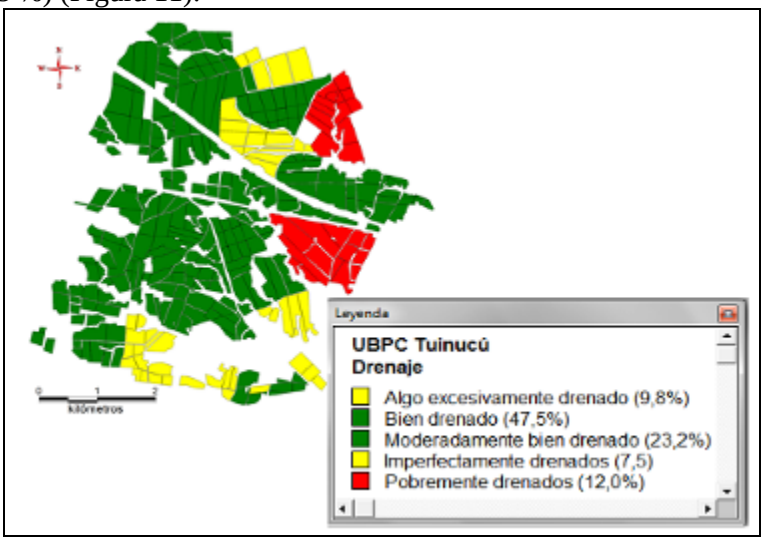


Figura 11. Distribución geoespacial por UMMA de las diferentes categorías de drenaje en la UBPC Tuinucú.

Orientación de los surcos

Una buena plantación de caña de azúcar, necesita para alcanzar un desarrollo adecuado surcos profundos, lo que puede incidir en el incremento del arrastre de partículas por el impacto de la gota de agua sobre el suelo sin cobertura y la velocidad de la escorrentía, cuestión que puede agravarse si la surquería se establece a favor de la máxima pendiente.

En el diagnóstico realizado a inicios del trabajo (año 2009), se comprobó que en 679,4 ha (35,3 % del área total y 47,0 % del área que presenta topografía ondulada), los surcos se encontraban orientados a favor de la máxima pendiente, lo que favorece de forma significativa los procesos degradativos por erosión hídrica. Sin embargo a finales del año 2012, como resultado de la interacción del proyecto con los productores (mediante la capacitación, divulgación, demostraciones prácticas, transferencia de tecnologías que originó la creación de una cultura sobre la conservación y mejoramiento de los suelos y protección medio-ambiental) la cantidad

de campos surcados de forma perpendicular a la máxima pendiente se elevó a 174 (1617,3 ha que abarcan el 83,9 % del área total y el 73,5 % del área con pendiente ondulada) (Tabla II).

Tabla II Áreas surcadas a favor y perpendicular a la máxima pendiente antes del proyecto y después de la ejecución del proyecto (periodo 2009-2012) en la UBPC Tuinucú.

UBPC Tuinucú	Áreas surcadas a favor de la máxima pendiente	Áreas surcadas perpendicular a la máxima pendiente
	ha	
Antes del proyecto	679,4	1246,2
2009	602,3	1323,3
2010	470,0	1455,6
2011	394,4	1531,2
2012	308,3	1617,3

En la UBPC Tuinucú el efecto negativo de esta práctica se eliminará de forma gradual en el 2016 a medida que las áreas surcadas de forma incorrecta sean plantadas nuevamente.
En la Figura 12 se muestran las evidencias fotográficas en relación con la situación que presenta la orientación de los surcos, la pendiente del terreno y su influencia en la degradación de los suelos cañeros en la UBPC Tuinucú.

Figura 12. Plantación con surcos efectuados a favor de la máxima pendiente en un campo de caña que presenta un 6% de inclinación.

Influencia de la quema de caña

La quema de la caña para la cosecha afecta la fertilidad del suelo ya que destruye los residuos vegetales que son fuente de materia orgánica y portadores de elementos nutritivos para las plantas; afecta la vida microbiana, creando un desequilibrio biológico en el ecosistema; libera dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y otros compuestos que deterioran la capa de ozono y contribuyen al calentamiento global. Por

cada hectárea de caña quemada se emite a la atmósfera como mínimo 24 toneladas de CO_2, aunque este valor es dependiente del rendimiento agrícola del cañaveral

En el año 2009 se quemaron en las áreas cañeras de la UBPC Tuinucú 1 323,75 ha (67,1 %) que emitieron a la atmosfera 31 770,0 t de CO_2 lo que evidencia los daños significativos realizados al medio ambiente. En el año 2010 se redujo el área quemada al 30,0 % emitiéndose 14 534,4 t de CO_2 al ambiente. En el año 2011 se quemaron 598,5 ha (29,6 %) que emitieron 14 364,0 t al entorno, mientras en el 2012 se redujo de forma significativa el área quemada a 179,9 ha, lo que equivale 4 317,6 t de CO_2 expulsadas a la atmósfera, que representa una reducción de un 9,3 % (Tabla III).

Tabla III. Porcentaje de áreas quemadas en la UBPC Tuinucú en el periodo 2009-2012 y toneladas de CO_2 emitido al ambiente.

UBPC Tuinucú	Área quemada (ha)	Porcentaje (%)	CO_2 emitido (t)
2009	1 323,7	67,1	31 770,0
2010	605,6	30,0	14 534,4
2011	598,5	29,6	14 364,0
2012	179,9	9,3	4 317,6

Precipitaciones

El promedio anual de precipitaciones en la UBPC Tuinucú es de 1 411 mm, el cual es superior en 5,7 % a la media nacional anual (1 335 mm) (Peláez, 2010) por lo que se presentan condiciones favorables para que ocurran procesos degradativos al incrementarse la velocidad de las escorrentías al combinarse con la pendiente ondulada predominante (Figura 13).

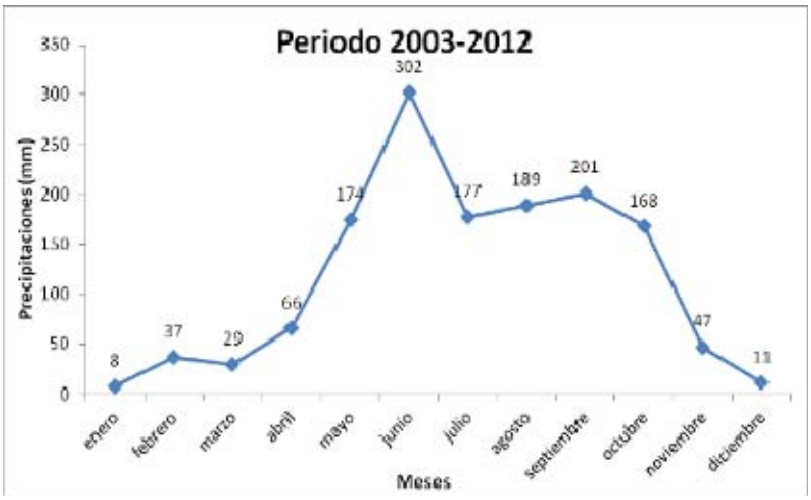


Figura 13. Distribución promedio de las precipitaciones mensuales en la UBPC Tuinucú en el periodo 2003-2012.

La distribución promedio mensual de las lluvias presenta dos períodos bien diferenciados, uno menos lluvioso de noviembre a abril donde precipitan 199,5 (14,2 %) y otro que se extiende de mayo a octubre, donde acurren las mayores precipitaciones (1 211,5 mm para el 85,8 %). Junio es el mes más lluvioso (302 mm), seguido de septiembre (201 mm) y agosto (189 mm), los meses más secos son enero (8 mm), diciembre (11 mm) y marzo (29 mm).

Establecimiento de prácticas agrícolas para disminuir la degradación del suelo

Después de realizado el diagnostico y conocer la incidencia de los factores limitantes de la producción de caña sobre la degradación del suelo se procedió a establecer un grupo de prácticas agrícolas para proteger el suelo o disminuir las causas que estaban originando su acelerada degradación.

Corrección de cárcavas: La corrección de cárcavas, utilizando piedras y obstáculos existentes en el propio campo o en áreas aledañas, para disminuir los arrastres de partículas de suelo por las escorrentías, fue una de las prácticas más acogidas por los productores, por los rápidos resultados alcanzados en los primeros aguaceros de la primavera la retención de suelo era muy notable (Figura 14).

Figura 14. Corrección de cárcavas con piedras recogidas en el propio campo y acomodadas en las partes más profundas.

El trabajo desarrollado en la UBPC Tuinucú posibilitó, en el periodo 2009-2012, la disminución de las áreas afectadas por este tipo de erosión que es la máxima expresión de la erosión hídrica debido a que empobrece totalmente el área en que incide inutilizándola desde el punto de vista agrícola (Tabla IV).

Tabla IV. Porcentaje de áreas con erosión en cárcavas antes del proyecto y disminución de su afectación al efectuar su corrección en los campos de la UBPC Tuinucú (periodo 2009-2012).

UBPC Tuinucú	Áreas con erosión en cárcavas (ha)
Antes del proyecto	489,8
2009	432,1
2010	331,2
2011	285,3
2012	216,2

Barreras físicas para el control de la velocidad de la escorrentía: El establecimiento de barreras físicas para disminuir la velocidad de las escorrentías y retener las partículas en suspensión se realizaron a partir del empleo de materiales locales entre los que se encuentran piedras, ramas, troncos, restos de cosecha (Figura 15).

Figura 15. Establecimiento de barreras muertas utilizando materiales locales existentes en áreas aledañas a los campos de caña de azúcar afectados por los efectos de la erosión en zanjas y cárcavas.

Surque perpendicular a la máxima pendiente: Otra alternativa ecológica implementada para evitar la continuidad de los procesos erosivos que se presentan en las áreas cañeras de la UBPC Tuinucú es la rotura y el surque perpendicular a la máxima pendiente (Figura 16 A). A los 6 meses de la plantación se observa el suelo retenido entre los surcos (Figura 16 B), lo cual demuestra que el desarrollo del proyecto, sensibilizó a los productores en la conservación y el mejoramiento del suelo y contribuyó con las demostraciones prácticas a la formación de una cultura al respecto.

A

B

Figura 16. A. Surcos trazados perpendiculares a la máxima pendiente**.**
B. Suelo retenido entre los surcos a los 6 meses de la plantación.

CONCLUSONES

1. El diagnostico efectuado posibilitó el conocimiento de la situación que presenta cada campo de caña a nivel de mapa temático, los factores que limitan la producción de caña y que favorecen la degradación del suelo.
2. Los suelos del área de estudio se encuentran severamente afectados por la degradación ocasionada por la erosión hídrica.

3. Las prácticas de manejo establecidas para disminuir la velocidad de escorrentía, de las aguas pluviales, en los campos de pendiente ondulada, como: construcción de barreras muertas, relleno de cárcavas, trazado de los surcos perpendiculares a la máxima pendiente del terreno, estrechamiento del marco de plantación de 1,40 m a 1,30 m en áreas de cosecha manual, redujo significativamente la pérdida de suelo fértil por erosión.
4. Los campos afectados por zanjas y cárcavas, que impedían el paso de las cosechadoras, recuperaron la condición de mecanizables por el suelo retenido por las barreras y el relleno de las cárcavas.
5. El trabajo tiene efecto económico, social, cultural, divulgativo, demostrativo, extensivo, se transfiere tecnología y capacitan los productores, se protege el suelo, se mejora la calidad de vida de los productores y la población circundante porque se evita la contaminación ambiental al disminuir la quema de caña.
6. Los resultados se pueden extenderse a otras zonas con condiciones similares en el país y el extranjero. Cinco unidades de producción vecinas con problemas similares se han incorporado al proyecto.

REFERENCIAS

- Ayes, A. G. (2003), Medio Ambiente Impacto y Desarrollo. Editorial Científico-Técnica. La Habana. Cuba.
- Cuéllar, I., de León, M., Gómez, A., Piñón, Dolores., Villegas, R., Santana, I. (2003), Caña de Azúcar. Paradigma de Sostenibilidad. Editorial PUBLINICA, pp. 10-175.
- Hernández, A., Pérez, J., Bosch, D. y Rivero, L. (1999), Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial AGRINFOR.
- Instituto de Suelos. (2006), La degradación de los suelos en Cuba. En Resúmenes del Taller “La Metodología LADA y la Evaluación de las Tierras de Cuba”. La Habana, Cuba. p 25.
- MINAG (1980), Mapa Nacional de Suelos. Escala 1: 25 000. Instituto de Suelos. La Habana, Cuba.
- Peláez O. (2010), La sequía puede agravarse. Periódico Granma. 16 de Abril. La Habana, Cuba. pp. 16
- Pineda, Emma., Vandrel, O., González, Maribel. (2002), Curso de Agroecología y Manejo de Agro sistemas. Curso para los Productores de Barinas y Cojedes. Venezuela.: Ministerio del Azúcar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L. (2008), Mejores prácticas de manejo para minimizar emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de fertilizantes. Informaciones Agronómicas. IPNI. No 70. Quito. Ecuador, pp. 5-9.

CONTRIBUCIÓN DE LAS LOCALIDADES DE PRUEBA EN ESTUDIOS MULTIAMBIENTALES DE CAÑA DE AZÚCAR

LOCATION CONTRIBUTIONS OF MULTIENVIRONMENT SUGARCANE TRIALS

Reynaldo Rodríguez Gross, Yaquelin Puchades Isaguirre, Norge Bernal Liranza, Héctor García Pérez, Héctor Jorge Suárez, Salvador Rill Martínez, Mónica Tamayo Isaac*.

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. reynaldo@etica.cigs.inf.cu

RESUMEN.

El trabajo se desarrolló con el objetivo de estimar la contribución de las localidades en un estudio multiambiental de genotipos de caña de azúcar (*Saccharum spp*.), en la última etapa de selección del Programa de Mejora de la región sur oriental de Cuba e identificar las localidades necesarias para conducir estos estudios. Con tal finalidad, se plantaron seis experimentos con 15 cultivares evaluándose en dos cosechas (caña planta y primer retoño). Fueron evaluadas tres variables de cosecha: rendimiento cañero (t caña.ha^{-1}), porcentaje de pol en caña y pol.ha^{-1}. Para el análisis de los datos se aplicó el modelo de Regresión de Sitios (SREG). Como resultado se determinó la existencia del fenómeno de la interacción genotipo-ambiente en los sitios estudiados y se cuantificó una alta contribución ambiental a la varianza fenotípica total para las tres variables evaluadas. Al combinar los resultados de los biplots del modelo de Regresión de Sitios, obtenidos para el rendimiento cañero, el porcentaje de pol en caña y t pol.ha^{-1}, se pudo determinar que es insuficiente la localidad América Libre como único sitio de prueba de nuevos cultivares de caña de azúcar. Estos resultados justifican que en la etapa final del Programa de Mejora de la caña de azúcar de la región sur oriental de Cuba se añadan, para estos estudios, las localidades Enidio Díaz y Dos Ríos.

Palabras claves: caña de azúcar, cultivares, interacción genotipo-ambiente, biplot GGE, modelos

ABSTRACT.

The objective of this study were to assess the locations contributions in the final testing stage for the sugarcane (*Saccharum spp*.) breeding program in the south-eastern region of Cuba and to identify valuable locations for testing new genotypes and determine the most productive cultivars at each location. To assess these purpose 15 cultivars, six locations and two crops cycles were evaluated. Data of cane yield (t cane ha^{-1}), pol percentage in cane and pol ha^{-1} were recorded. Results were visualized using Sites Regression model (SREG). Genotype by environment interaction was determined for each location, and variation among environments accounted the major variability for the three evaluated variables. Combining results obtained from GGE model we recommended adding the locations of Enidio Diaz, and Dos Ríos to the America Líbre existing one in the final testing stage to improve the selection of new cultivars in the south-eastern region of Cuba.

Key word: sugarcane, cultivar, interaction genotype-environment, biplot GGE, models

INTRODUCCIÓN

En la región sur oriental de Cuba, la caña de azúcar se cultiva en un área de aproximadamente 100 000 hectáreas. De esta superficie 24,5% presenta limitaciones fundamentalmente por su excesivo drenaje, donde la acción combinada de los bajos acumulados anuales de lluvias y la escasa retención de humedad del suelo, producen estrés por déficit hídrico.

Desde finales de la década de los 70 del pasado siglo, el clima cubano registra cambios importantes, como son el aumento de la temperatura media del aire en 0.6°C (Lapinel y col., 2010). Ante tales limitaciones, una de las soluciones más prácticas y económicas, lo constituye la obtención de genotipos con cierto grado de tolerancia, mediante el desarrollo de programas de mejoramiento genético. Sin embargo, las difíciles circunstancias enfrentadas por la agroindustria azucarera en Cuba durante los últimos años, motivaron un reordenamiento de las investigaciones y los sitios de pruebas de nuevos cultivares, lo que provocó poca correspondencia entre los ambientes de selección genética y los ambientes de destino de los cultivares (Jorge y col., 2010).

Diversos estudios de interacción genotipo-ambiente en cultivares de caña de azúcar, reiteran su importancia y significación, lo que apunta a la necesaria evaluación multiambiental de los nuevos genotipos durante el programa de mejoramiento genético y posterior a su liberación en plantaciones comerciales (Gilbert y col, 2006). En la región sur oriental existe un solo sitio de prueba de estudios de nuevos cultivares, el que representa 32% de los suelos predominantes. Esta restricción de la red experimental para el estudio de nuevos cultivares, en la etapa final del Programa de Mejora, conduce necesariamente a una revisión de la misma.

En este sentido, se han desarrollado técnicas estadísticas asistidas por gráficos de doble representación (biplot) que permiten visualizar el patrón de comportamiento de los genotipos, y estimar su eficiencia y la capacidad de discriminación y representatividad de las localidades de prueba (Gauch y col., 2008). Tal es el caso del biplot obtenido del modelo de Regresión de Sitios (Yan and Tinker, 2006), utilizado para estimar las interacciones genotipo-ambiente en diferentes cultivos (Glaz and Kang, 2008 y otros).

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de estimar la contribución de las localidades en un estudio multiambiental de genotipos de caña de azúcar en la última etapa de selección del programa de mejora de la región sur-oriental de Cuba. De este modo, identificar las localidades necesarias para conducir los estudios de nuevos cultivares y contribuir a mejorar la eficiencia del programa de selección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron 15 genotipos seleccionados y recomendados por el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba. Estos genotipos fueron plantados en seis localidades de la región sur oriental de Cuba y evaluados en la cepa de caña planta y primer retoño. Los estudios se desarrollaron en el período comprendido entre septiembre de 2006 y marzo de 2009.

Los experimentos se desarrollaron en condiciones de secano, por lo que estuvieron caracterizados por diferentes condiciones de estrés por déficit hídrico. Las localidades y los tipos de suelos (Hernández y col., 2009), se presentan en la Tabla I. De las seis localidades, Dos Ríos se consideró la localidad

testigo (áreas del bloque experimental de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Santiago de Cuba), por poseer el suelo buenas características físico-químicas y mejor balance hídrico.

Tabla I. Principales características de las localidades estudiadas

Provincia	Localidad	Abrev.	Suelos	T (°C)	P (mm)
Santiago de Cuba	Paquito Rosales	PR	Pardo Sialítico	25,5	1212,8
Santiago de Cuba	Julio A. Mella	ME	Ferralítico Amarrillento	25,5	952,0
Santiago de Cuba	América Libre	AL	Pardo Sialítico	25,5	971,0
Santiago de Cuba	Dos Ríos	DR	Pardo Sialítico	25,5	1167,7
Granma	Enidio Diaz	ED	Húmico Rendzina Roja	26,2	911,9
Guantánamo	Manuel Tames	MT	Pardo Sialítico	25,6	1096,5

Abrev. – Abreviaturas; T.- Temperatura media; P.– Precipitaciones media anual

Los genotipos utilizados en los experimentos fueron: C86-156, C86-531, C87-632, C88-380, C89-250, C89-559, C90-317, C90-501, C90-530, C90-647, C91-356, CP52-43, C128-83, C86-12 y B7274. Este último cultivar se utilizó como testigo, recomendado para suelos de baja fertilidad y con déficit hídrico. Los experimentos fueron plantados con un diseño de bloques completamente aleatorizados, en parcelas de 48 m^2 con tres repeticiones. La evaluación fue conducida según las Normas Metodológicas del Departamento de Fitomejoramiento del INICA (Jorge y col., 2011). Las variables de cosecha evaluadas fueron: rendimiento agrícola expresado en t caña.ha^{-1}, porcentaje de pol en caña y t pol.ha^{-1}.

Análisis estadístico

Los datos originales fueron comprobados de acuerdo a su normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chi cuadrado y Bartlett-Box F. Se realizaron análisis de varianza factorial por cepa (cosechas), para conocer la varianza y la contribución de cada uno de los factores y sus interacciones a la varianza fenotípica total. Asimismo, se realizó un análisis "combinado", es decir considerando un arreglo trifactorial de genotipos, localidades y cepas (todos estos factores se consideraron como efectos aleatorios).

Para cumplimentar los objetivos propuestos en este trabajo se utilizó, para cada variable de cosecha, el *biplot* (Smith, 2010) obtenido por el modelo de Regresión de Sitios (12). Este modelo consiste en descomponer en valores y vectores singulares los efectos de la interacción genotipo-ambiente más los efectos de los genotipos (G) del arreglo factorial. Se utilizó, para todos los biplots, la escala simétrica en cada componente, multiplicando los vectores de genotipos y ambientes por la raíz cuadrada de su valor singular (Yan y col., 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza combinado, que incluyó las cepas de caña planta y primer retoño, se encontraron diferencias muy significativas en la interacción genotipo x localidad x cepa (GLC), para las tres variables de cosecha evaluadas (t caña.ha^{-1}, porcentaje de pol en caña y t pol.ha^{-1}) (Tabla II). Al realizar el análisis individual por cosecha se encontraron igualmente diferencias muy significativas en la interacción genotipo x localidad (GL) para las tres variables analizadas tanto en caña planta

como en primer retoño. Estos resultados demuestran que existen diferencias en las localidades y cepas que provocan interacciones con los genotipos.

Obsérvese que para el rendimiento agrícola (t caña.ha^{-1}), la contribución a la varianza fenotípica total de la interacción GL fue superior en ambas cosechas a la provocada por los genotipos. Asimismo, obsérvese que para los tres análisis de varianza realizados (combinado o por cosecha individual) la localidad fue la principal fuente de variación en la varianza fenotípica total. En este sentido reviste gran importancia la replicación de los ensayos en más de una localidad y cosecha, para aprovechar eficientemente la interacción genotipo-ambiente, como también lo han señalado otros autores (Gálvez, 2010; Jorge y col., 1996).

Para el porcentaje de pol en caña, la contribución de los genotipos a la varianza fenotípica total fue superior respecto a variación provocada por la interacción GL, tanto en el análisis combinado de todas las cosechas como individual. Asimismo, se observó un incremento de la respuesta genética en la cepa de primer retoño con 25.8%. En estudios similares, diferentes autores (Castro y col, 1990; Jorge y col., 1996,) han señalados que esta variable es menos influencia por el ambiente, con una mayor repetibilidad y por tanto heredabilidad, lo que incrementa la respuesta genética, reduciendo el efecto del ambiente en la varianza fenotípica total.

Para la variable t pol.ha^{-1}, se observó similar tendencia al rendimiento agrícola. Estos resultados eran de esperar por la influencia de esta última variable sobre la primera. En todas las variables evaluadas, excepto para el porcentaje de pol en caña y en el análisis combinado y la cepa de primer retoño, el efecto de la localidad fue la principal fuente variación en la varianza fenotípica total con valores de entre 46,8 y 66,8%.

Estos resultados justifican la utilización del biplot obtenido del modelo de Regresión de Sitios para mostrar las diferencias de las localidades respecto al patrón de interacción GL (Yan y col, 2007). Asimismo, obsérvese el valor de la varianza de la interacción GL, en todas las variables evaluadas, fue superior al provocado por la interacción GLC, excepto en el porcentaje de pol en caña. Estos resultados sugieren que la interacción GL sea repetible en el tiempo, es decir en las sucesivas cosechas, lo que justifica la realización de un biplot (modelo de Regresión de Sitios) sobre la media general de las dos cosechas.

Tabla II. Componentes de varianza de genotipos (G) de caña de azúcar estudiados en seis localidades (L) en las cepas de caña planta (CP) y primer retoño (R1)

			t caña/ha		**PPC**		**t pol/ha**	
Cosecha	F.V	g.l.	*P*	PVF	*P*	PVF	*P*	PVF
Todas	G	14	<0,01	1,6	<0,01	15,7	<0,01	3,8
Todas	L	5	<0,01	46,8	<0,01	0,0	<0,01	43,6
Todas	C	1	<0,01	24,5	<0,01	11,2	<0,01	14,3
Todas	G x L	70	<0,01	12,5	<0,01	3,1	<0,01	13,7
Todas	G x C	14	<0,01	0,9	<0,01	0,0	<0,01	0,0
Todas	L x C	5	<0,01	1,6	<0,01	31,1	<0,01	2,6
Todas	G x L x C	70	<0,01	4,9	<0,01	21,2	<0,01	10,9
Todas	Residual	360		7.3		17.7		11.1
CP	G	14	<0,01	3,6	<0,01	14,4	<0,01	5,0
CP	L	5	<0,01	66,8	<0,01	40,2	<0,01	48,0
CP	G x L	70	<0,01	20,8	<0,01	29,5	<0,01	33,3

CP	Residual	180		8.9		15.9		13.7
R1	G	14	<0,01	2,7	<0,01	25,8	<0,01	2,9
R1	L	5	<0,01	60,2	<0,01	10,4	<0,01	59,7
R1	G x L	70	<0,01	26,3	<0,01	31,5	<0,01	25,0
R1	Residual	180		10.7		32.3		12.4

F.V. – Fuente de variación; g.l. – Grados de libertad; CM – Cuadrados medios; PVF – Porcentaje de la varianza total; CP – Cepa de caña planta; R1 – Cepa de primer retoño; PPC – Porcentaje de pol en caña

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se ilustran los biplot obtenidos por este modelo para las tres variables de cosecha analizadas, los que explican entre los dos primeros componentes 64,4 y 79,1% de la variación total contenida en los efectos de los genotipos (G) y la interacción GL. Estos porcentajes indican que estos biplots son adecuados para cumplimentar los objetivos inicialmente propuestos en este trabajo.

Variable t caña.ha^{-1}

En la figura 1a se puede apreciar las relaciones entre las localidades a través de sus vectores y cómo estás discriminan a los genotipos. Obsérvese que no existen solapamientos entre las misma respecto al comportamiento de los genotipos para esta variable. Las localidades que se ubicaron más cerca fueron América Libre (AL) y Paquito Rosales (PR). Estas localidades poseen el mismo tipo de suelo, similar patrón de temperatura e humedad relativa, aunque con diferencias en los acumulados de precipitaciones. Estas similitudes en las condiciones climáticas provocan similares patrones de discriminación en el rendimiento cañero.

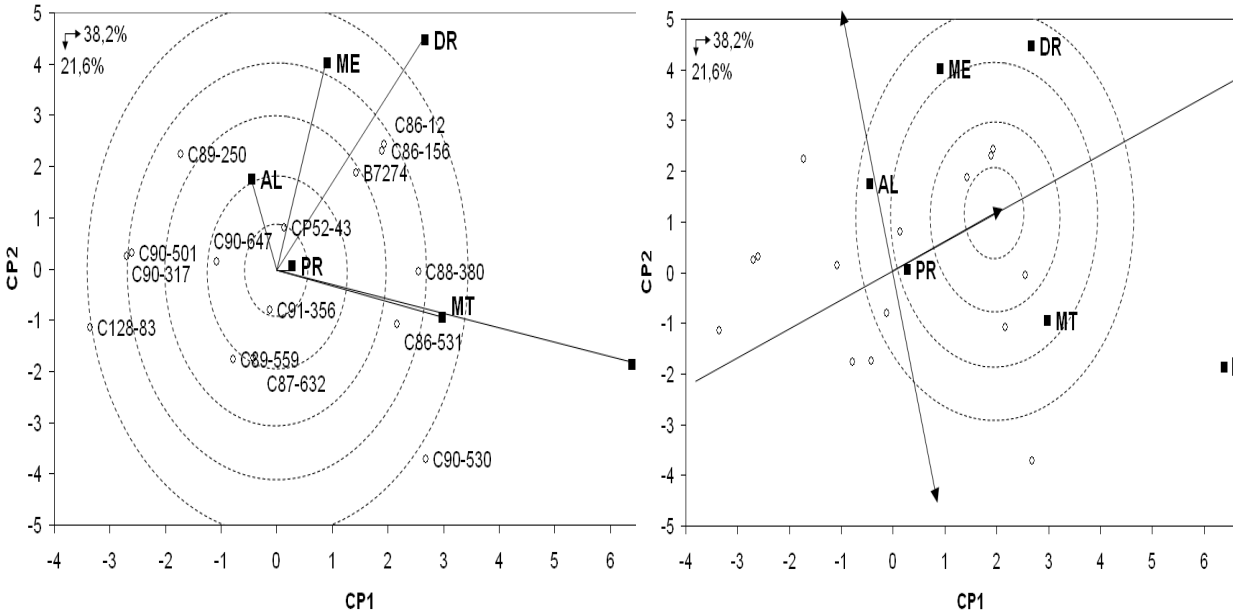
Las localidades Manuel Tames (MT) y Enidio Díaz (ED), aunque poseen una alta correlación entre ellas (menor ángulo entre sus vectores), difieren en su capacidad de discriminar genotipos. Enidio Díaz posee mayor longitud de sus vectores, lo que conduce a seleccionar genotipos más específicos para esta localidad respecto a Manuel Tames. Estas localidades poseen diferentes suelos y patrones de lluvias (Tabla I). Las localidades de Julio A. Mella (ME) y Dos Ríos (DR) también poseen capacidad de discriminar, aunque no están asociados a ninguno de los sitios anteriores.

Los resultados anteriores indican que las localidades Manuel Tames (MT) y Enidio Díaz (ED) pueden considerarse un macroambiente, al igual que las localidades Julio A. Mella (ME) y Dos Ríos (DR). En este sentido, se define como macroambiente un grupo de localidades que, consistentemente, comparten los genotipos más productivos a través del tiempo (16).

En la figura 1b, se puede determinar, respecto al rendimiento cañero, la localidad más representativa de estudio de nuevos cultivares de caña de azúcar en la región sur oriental de Cuba. Este sitio sería aquel más cercano al punto que representa el promedio de las localidades de la componente uno y dos, señalizado con una flecha sencilla y con círculos concéntricos a este punto (Glaz and Kang, 2008). En este caso no se encuentra ubicado ninguno de los sitios de prueba de este estudio. Las localidades Paquito Rosales posee el mismo ángulo que este punto, sin embargo con poca capacidad de discriminación de genotipos. Manuel Tames es la otra localidad más cercana, pero con un mayor ángulo entre sus vectores.

Estos resultados indican que para el rendimiento cañero es insuficiente el actual sitio donde se realiza la selección y estudios de nuevos cultivares en la región Sur Oriental, debido a que no se produjeron

solapamientos entre los ambientes de prueba. Las localidades más discriminantes y que deberían incluirse, en la red de estudios para la última etapa del programa de selección, son Enidio Díaz (ED), Julio A. Mella (ME), América Libre (AL) y Dos Ríos (DR).



(a) Relaciones entre los ambientes

(b) Capacidad de discriminación y representatividad

Figura 1. Representación biplot de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar (caña planta y primer retoño) para t caña.ha^{-1}.

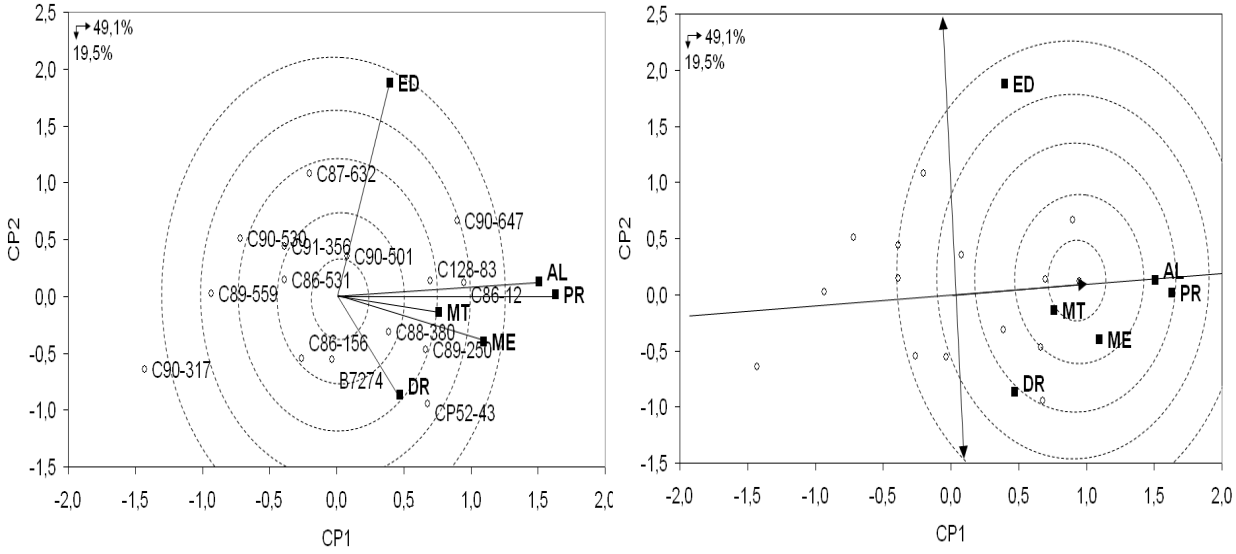
Variable porcentaje de pol en caña

Al realizar los biplots por cosecha individual, obsérvese que para la cepa de caña planta (Figura 2a), cuatro de las seis localidades de prueba manifiestan similar información acerca del comportamiento de los genotipos para esta variable de cosecha. Estas localidades son: Manuel Tames (MT), Julio A. Mella (ME), América Libre (AL) y Paquito Rosales (PR). Dentro de estos cuatro sitios, PR y AL fueron los más discriminantes en la selección de nuevos cultivares.

Las localidades de Enidio Díaz y Dos Ríos fueron las más discriminantes para el contenido azucarero, fundamentalmente ED, separada completamente del resto de los ambientes. Asimismo, se determinó que las localidades más representativas en la selección de genotipos fueron Manuel Tames y América Libre (Figura 2b). Estos sitios se ubicaron muy próximos al punto que indica la flecha del ambiente "ideal" para esta variable. Sin embargo, la localidad AL sería más ideal que MT por presentar mayor correlación respecto a este punto (menor ángulo entre sus vectores) y mayor capacidad de discriminación de genotipos (mayor longitud de su vector respecto a MT).

Respecto, a los resultados del primer retoño (Figuras 3), nótese cambios en las relaciones entre los ambientes. Existen cuatro sitios que ofrecen similar información en el comportamiento de los genotipos y que tres de estos sitios (MT, PR y ME) coinciden con los resultados de caña planta (Figura 3a). En este grupo se ubicó también Enidio Díaz, lo que indica que su capacidad de discriminación genotipos mostrado en la cepa de caña planta no fue consistente en el tiempo. La localidad de Dos Ríos nuevamente fue muy discriminante, separándose del resto de las localidades, así como América Libre.

Para esta cepa, no existió una definición precisa de la localidad ideal (Figura 3b), debido a que no ubicó ninguna próxima a este punto. La localidad más cercana fue Paquito Rosales, lo que coincide parcialmente con los resultados de la cepa de caña planta. La localidad América Libre que resultó el sitio ideal, en la cepa de caña planta, en esta cosecha se separó de este punto.



(a) Relaciones entre los ambientes

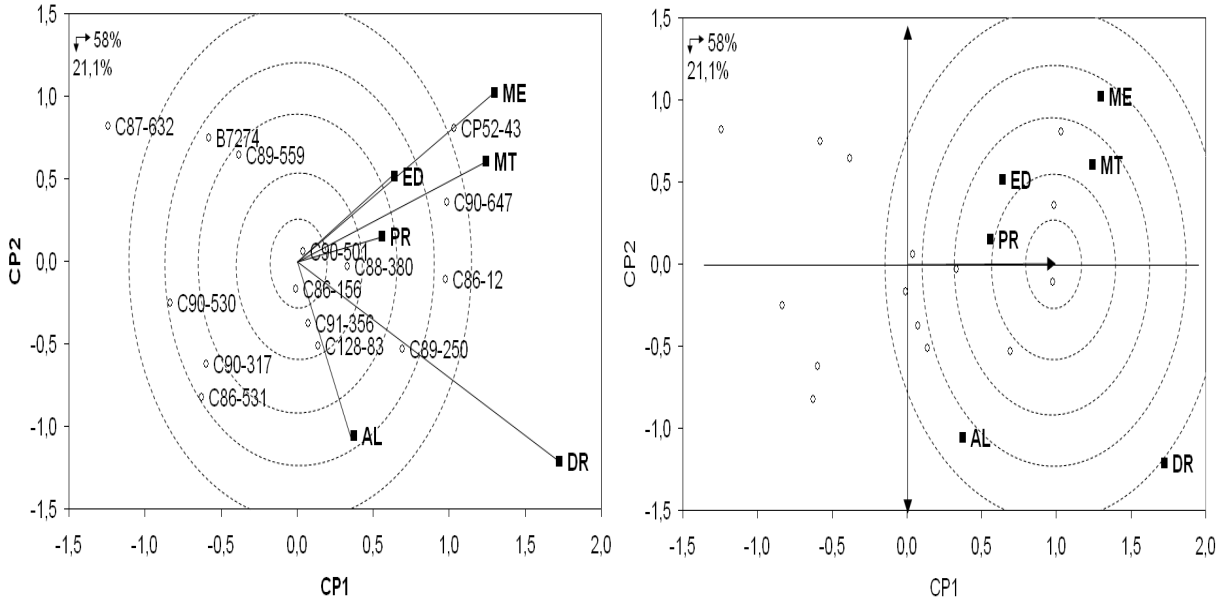
(b) Capacidad de discriminación y representatividad

Figura 2. Representación biplot de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar en la cepa de caña planta para el porcentaje de pol en caña

Variable t pol.ha^{-1}

Las relaciones entre las localidades presentaron similares tendencias a la observada para el rendimiento cañero. Esta relación es de esperar por ser un producto de la misma con una gran influencia en sus valores. Es decir, las localidades Dos Ríos (DR) y Julio A. Mella (ME), se agruparon, aunque con diferencias en su capacidad de discriminar genotipos (superior en DR). Los sitios de Enidio Díaz (ED) y Manuel Tames (MT), también se asociaron en la respuesta de los genotipos. América Libre (PR) y Paquito Rosales (PR), presentaron poco poder discriminativo, ubicándose cerca del centro del gráfico, similar a lo mostrado para el rendimiento cañero (figura 4).

Estos resultados indican que en la región de oriente sur, es necesario ampliar la red de sitios de pruebas de nuevos cultivares de caña de azúcar de la última etapa del programa de mejora. Del único sitio que se prueban estos cultivares (América Libre), son necesarias también las localidades de Julio A. Mella, Enidio Díaz y Dos Ríos, por su capacidad de discriminación en la selección de genotipos. De esta manera se aprovecha más eficientemente la interacción genotipo-ambiente, se recomiendan genotipos específicos para cada zona y se eleva la eficacia del programa de selección para esta región.

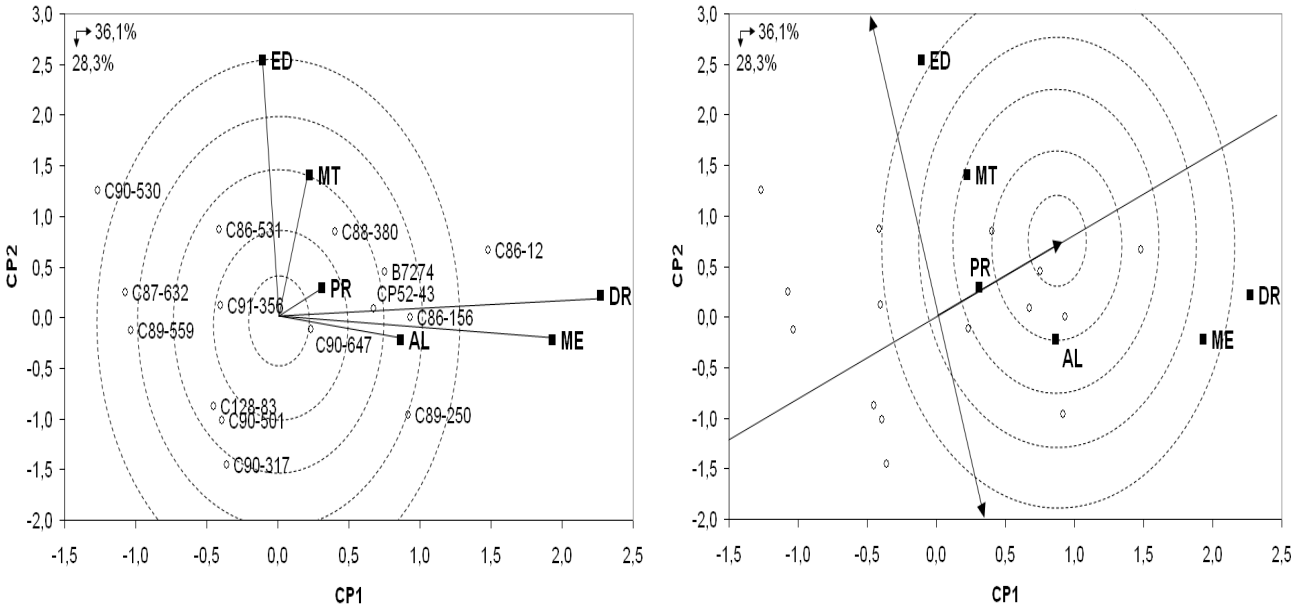


(a) Relaciones entre los ambientes

(b) Capacidad de discriminación y representatividad

Figura 3. Representación biplot de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar en la cepa de primer retoño para el porcentaje de pol en caña

El modelo de Regresión de Sitios se ha utilizado para optimizar los sitios de prueba de nuevos cultivares en el programa de selección de la Florida y elevar la eficiencia en la recomendación de estos genotipos (Glaz, and Kang, 2008). Estos autores recomendaron eliminar un sitio de prueba de nuevos cultivares de suelo orgánico, para aumentar de uno a dos sitios de pruebas de suelo arenoso, sin comprometer la selección de genotipos con altos rendimientos cañeros y azucareros.



(a) Relaciones entre los ambientes

(b) Capacidad de discriminación y representatividad

Figura 4. Representación biplot de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar (caña planta y primer retoño) para t pol.ha^{-1}.

CONCLUSIONES

Se determinó la existencia del fenómeno de la interacción genotipo-ambiente en los sitios estudiados y se cuantificó una alta contribución ambiental a la varianza fenotípica total para t caña.ha^{-1} (66.8%), porcentaje de pol en caña (40.2%) y t pol.ha-1 (59.7%).

Se evidenció que es insuficiente un solo sitio de prueba de nuevos cultivares de caña de azúcar en la etapa final del Programa de Mejora de la caña de azúcar de la región sur oriental, lo que justifica la necesidad de replicar estos estudios en las localidades Enidio Díaz, América Libre y Dos Ríos para la obtención de cultivares con elevado rendimiento agrícola e industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro, S.; Bernal, N.; y Freeman, J. (1990), Clasificación de ambientes en caña de azúcar. Análisis factorial y componentes principales en etapas intermedias. *Rev. Centro Azúcar* , 3, 32-34.

- Gálvez, G. (2010), Interacción genotipo-ambiente en el mejoramiento de plantas en la era de genómica. ¿Dónde estamos?. Rev. Cuba & Caña, 1, 57-67.

- Hernández, A; Pérez, J.M; Bosch, D. y Rivero, L. (1999), Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. AGRINFOR, 64.

- Gauch, H. G., Hans-Peter, P.; and Annicchiarico, P.(2008), Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE: Further Considerations. Crop Sci., 48, 866–889.

- Gilbert, R. A.; Shine, J. M.; Miller, J. D.; Rice, R. W. and Rainbolt, C. R.(2006), The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. Field Crops Research, 95, 156-170.

- Glaz, B. and Kang, S. M. (2008), Location Contributions Determined via GGE Biplot Analysis of Multienvironment Sugarcane Genotype-Performance Trials. Crop Sci., 48, 941-950.

- Jorge, H.; García, H.; González, V.A.; Fernández, Z. y Díaz, R. (1996), Interacción Genotipo-Ambiente en variedades de caña de azúcar en Cienfuegos, Comparación de métodos para la estimación de la estabilidad. Rev. ATAC, 1, 34-42.

- Jorge, H.; García, H.; Ibis Jorge; Bernal, N.; Marrero, A.; Delgado, J.; Cabrera, L.; Delgado, I.; Díaz, M.; Vera, A.; Céspedez, A.; Ojeda, E.; Valladares, F.; Castro, S.; Cruz, R.; Peña, L.; Puchades, Y. y Rodríguez, R.(2010), Red experiemental para el desarrollo de las investigaciones de la caña de azúcar en Cuba. ¿Necesarias? Rev. Cuba & Caña, 2, 33-48.

- Jorge, H.; González, R.; Casas, M. y Jorge, I. (2011), Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. PUBLINICA . La Habana, Cuba, 308.

- Lapinel, B.; Cutre, V. y Fonseca, C. (2010), ¿Se humedecerá la sequía?. Periódico Granma, junio 12, p. 8.

- Naveed, M.; Nadeem M.; Islam, N. (2007), AMMI analysis of some upland Cotton genotypes for yield stability in different milieus. World Journal of Agric. Sci., 3(1), 39-44.

– Smith, E. P. (2010), Biplot program. Statistics Department of Virginia Tech. [Consultado: 20 de Enero del 2010]. Disponible en: <http://www.stat.vt.edu/facstff/epsmith.html>.

– Yan, W., and I. Rajcan.(2002), Biplot evaluation of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Sci., 42, 11–20.

– Yan, W., and Tinker, N.A. (2006), Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Can. J. Plant Sci. 86, 623–645.

– Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods, and P.L. Cornelius. (2007), GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Sci., 47, 643–655.

– Varela, M.; Crossa, J.; Kumar, A.; Paul, J.; Cornelius, L.; and Manes, Y. (2009), Generalizing the Sites Regression Model to Three-Way Interaction Including Multi-Attributes. Crop Science, 49, 1-15.

“SERFE.”UNA ALTERNATIVA PARA LA APLICACIÓN RACIONAL DE LOS FERTILIZANTES MINERALES EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE LA PROVINCIA HOLGUÍN.

"SERFE. "AN ALTERNATIVE FOR THE RATIONAL APPLICATION OF THE MINERAL FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF THE CANE OF SUGAR OF THE COUNTY HOLGUÍN.

Autores: Resky Tello, Liet Peña, David Espinosa, José Ibarra, Germán Hernández, Leticia Daley, José Rodríguez, Mamna Daley.

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA Holguín.). Guaro S/N Mayarí, Holguín, Cuba. Tel: 059-6209. E-mail: resky.tello@inicahl.azcuba.cu

RESUMEN.

Con el propósito de evaluar la efectividad del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE) y su influencia en la aplicación racional de los fertilizantes minerales al cultivo de la caña de azúcar, se estudiaron 52 cosechas de lotes controles en la provincia de Holguín, las cuales incluían tres tratamientos dosis recomendada, una dosis doble y un testigo sin fertilizar; el comportamiento del muestreo de suelo y los índices de consumo de fertilizantes se tuvo en cuenta para los últimos seis años(2007-2012).Los resultados mostraron que las dosis recomendadas por el SERFE resultaron las más adecuadas y económicas para un uso racional y efectivo de los fertilizantes con incrementos en la producción de caña según lo recomendado de 10.7 $TM.ha^{-1}$, se logró una disminución de las áreas con más de diez años de muestreo en la Empresa Azucarera de Holguín de 30-10 miles de ha; así como en los índices de consumo y los riesgos de contaminación ambiental.

Palabras claves: SERFE, Uso Racional de fertilizantes, Efectividad Económica.

ABSTRACT

With the purpose of evaluating the effectiveness of the Service of Recommendations of Fertilizers and Amendments (SERFE) and their influence in the rational application from the mineral fertilizers to the cultivation of the cane of sugar, 52 crops of lots controls were studied in the county of Holguín, which included three treatments recommended dose, a double dose and a witness without fertilizing; the behavior of the floor sampling and the indexes of consumption of fertilizers one kept in mind for the last six years (2007-2012) .Los they showed that the doses recommended by SERFE were the most appropriate and economic for a rational and effective use of the fertilizers with increments in the cane production according to that recommended of 10.7 TM.ha-1, a decrease of the areas was achieved with more than ten years of sampling in the Sugar Company of Holguín of 30-10 thousands of there is; as well as in the consumption indexes and the risks of environmental contamination.

Key words: SERFE, Rational Use of fertilizers, Economic Effectiveness.

INTRODUCCIÓN

La industria más antigua del país por mucho tiempo ha estado sometida a los rigores de la Agricultura moderna, proporcionándole grandes recursos para la obtención de altos rendimientos.

Se viene manifestando una degradación del ambiente por desgracia no contabilizado que incluye muchas áreas de la producción cañera, Torriente. (1999), destacaba que Cuba ha sufrido efectos considerables por la reducción de la capacidad productiva de los suelos como consecuencias de la expansión de los cultivos especialmente la caña de azúcar y el uso de técnicas perjudiciales. Hoy en día los rendimientos agrícolas se encuentran en franco descanso.

Para los agro-ecólogos esto es debido a una constante erosión de las bases productivas de la eficiencia de los productos agroquímicos, entre ellos los fertilizantes químicos, ya que hoy es necesario aplicar dosis mayores para lograr iguales rendimientos a los obtenidos en épocas pasadas Torriente.(2009).

Por tal motivo el desarrollo agrícola futuro requiere de un nuevo enfoque, utilizando sistemas que sean sostenibles, tanto desde el punto de vista productivo, ecológico como económico.

Para ello se implementó en la provincia Holguín desde el año 1997 el Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), 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. Beneficiándose como promedio anual, desde su implantación hasta la fecha, más de 75954 ha cultivadas de caña de azúcar.

Por lo que el presente trabajo tiene como objetivo, demostrar la efectividad del SERFE y su influencia en la aplicación racional de los fertilizantes minerales al cultivo de la caña de azúcar.

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 de la Empresa Azucarera Holguín(Ho),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 Unidades Empresariales de Base(UEB) Loynaz Hechavarría(LH,602), López Peña(LP,604), Cristino Naranjo(CN,608), Urbano Noris(UN,631) y Fernando de Dios(FD,639), que incluyó diversas cepas en ambas zonas climáticas (norte y sur), acorde a la metodología del Manual de Procedimientos. Villegas y otros. (2007.).
Se establecieron 52 lotes controles durante el periodo (1997-2011) 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 utilizó estadística descriptiva para el análisis e interpretación de los rendimientos e índices de consumo de fertilizantes, determinación de los limites reales inferior (LRI) y limites real superior (LRS) mediante la desigualdad de Chebyshev ($\mathbf{X}$-kS y $\mathbf{X}$+kS) con k>1(Gutiérrez y De la Vara. (2007).

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

El Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas para la Caña de Azúcar, logra recomendaciones de fertilizantes más precisas para el cultivo. Crea un mecanismo que partiendo de la recepción de las muestras de suelo cumple todos los pasos necesarios para llegar a las recomendaciones a nivel de campo cañero, incluyendo los análisis de suelo y su control; logra un ahorro de recursos, sobre todo de portadores de fertilizantes, así como contribuye a la preservación de los suelos evitando el deterioro de los mismos Pineda. (2003).

En este sentido para la precisión de las dosis de fertilizantes juega un rol importante la muestra de suelo. La Fig.1 expone el comportamiento y evolución del área con más de diez años de muestreo durante el periodo 2007-2012, la misma muestra una disminución de las áreas en la Empresa Azucarera de Holguín de 32,06 a 10,97 miles de ha, incidiendo positivamente en un ahorro de los portadores de fósforo y potasio , mayor aprovechamiento del fósforo asimilable por la planta al reducir el ciclo de muestreo así como una mayor contribución al medioambiente al disminuir efectos negativos de contaminación al suelo producto de una fertilizacion irracional. La UEB 631 Urbano Noris resultó la de mayor inestabilidad motivada por una fuerte reducción de las demoliciones.

Tales resultados se corresponden con los obtenidos por Villegas y otros. (1983) La determinación de P asimilable en una muestra compuesta tomada en el suelo preparado para la plantación permite estimar las necesidades de P para un ciclo de cosechas (planta y hasta 5 retoños).

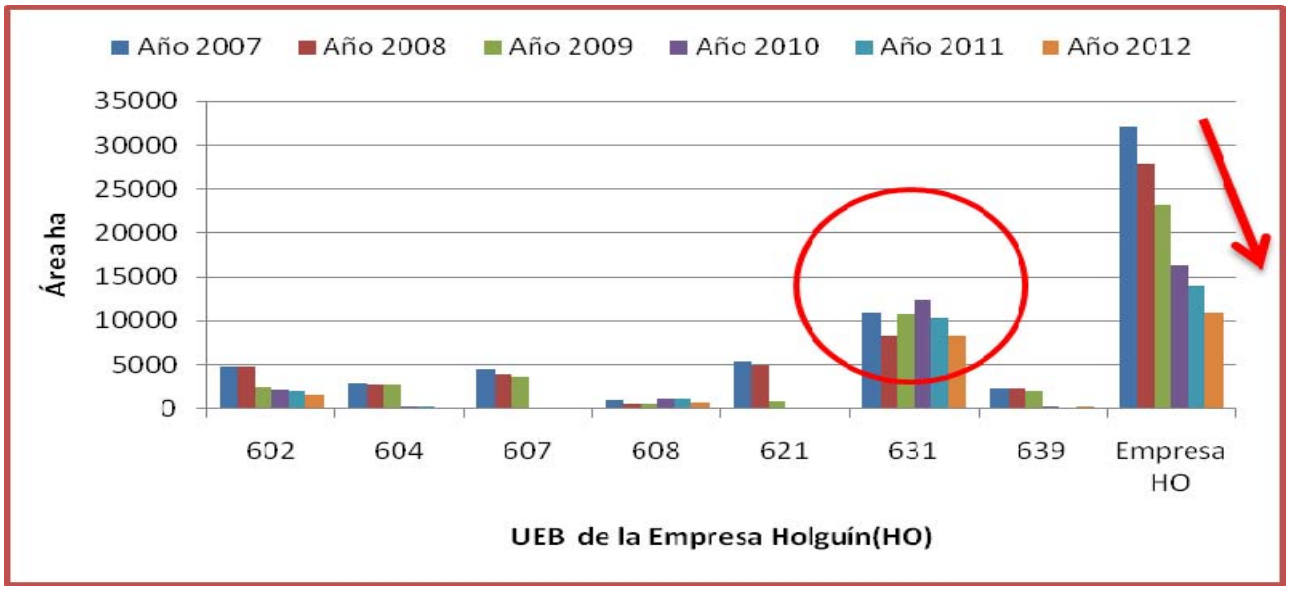


Figura 1. Comportamiento de las áreas con más de 10 años de muestreo en Unidades Empresariales de Bases (UEB) de la Empresa Azucarera de Holguín periodo (2007-2012).

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).

En tal sentido al realizar un análisis de los rendimientos e índices de consumo de fertilizantes por toneladas de caña producidas, según Tabla I, se puede observar que el 50% de los rendimientos para el cual se fertiliza están por encima de 42.27t/ha y el restante 50% se sitúa por debajo de este valor, a los índices de consumo

de N, P_2O_5 y K_2O correspondieron valores de de 1.53, 0.8 y 2.13 respectivamente, los cuales cumplen con las especificaciones reportadas por Villegas y otros. (1983).

Los rendimientos varían de 37.47 a 46.62t/ha con una media de 42.04t/ha. Para todos los nutrientes la variación porcentual de los rendimientos es baja, mientras que para los índices de consumo del P y K se considera alta con valores de 18.48y 16.61%, incidiendo un alto consumo de P_2O_5 por la UEB Loinaz Hechavarría (LH) la cual presenta más del 80%de Vertisuelos con baja reserva de P_2O_5 asimilable y pH en categoría II (ácido) y III (Medianamente ácido).

Coincidiendo este resultado con lo reportado por Cuellar y otros. (2002). El efecto del fósforo sobre la caña de azúcar, depende en primera instancia del contenido de forma asimilable en el suelo. Otro factor de peso es la reacción del suelo, siendo mayor el efecto cuando el pH en agua es menor que 5.0.

La UEB de Fernando de dios presenta el mayor consumo de potasio por tonelada de caña producida incidiendo en estos resultados los bajos rendimientos para este portador y una alta proporción de retoños con más de tres corte. Siendo el potasio el elemento de mayor requerimiento para producir una tonelada de caña con requerimientos promedios de 2.29 kg/t para la Empresa Azucarera de Holguín.

Taba I: Rendimientos e índices de consumo para el periodo (2007-2012).

UEB	RDT	RDT N	RDT P	RDT K	IDC N	IDC P_2O_5	IDC K_2O
	t/ha				Kg/t		
LH	39,75	38,81	39,78	36,87	1,69	1,09	2,02
LP	42,51	40,89	43,82	41,76	1,52	0,80	2,08
CN	43,92	41,14	44,94	42,49	1,52	0,84	2,18
UN	40,89	39,27	43,49	40,99	1,53	0,72	2,04
FD	43,17	38,99	43,61	38,06	1,53	0,64	3,01
Empresa HO	**42,05**	**39,82**	**43,13**	**40,03**	**1,55**	**0,81**	**2,41**
Media (**X**)	42,049	39,821	43,125	40,033	1,557	0,816	2,291
Mediana	42,279	39,546	43,548	40,511	1,530	0,805	2,130
Desviación estándar	1,524	0,990	1,751	2,185	0,067	0,151	0,381
Varianza de la muestra(S)	2,321	0,980	3,068	4,774	0,004	0,023	0,145
Coeficiente de variación(C.V)	3,623	2,487	4,061	5,458	4,278	18,483	16,613
Relación **X** y S -(LRI)	37,478	36,851	37,871	33,478	1,357	0,363	1,149
Relación **X** y S +(LRS)	46,619	42,792	48,380	46,588	1,756	1,268	3,433

Nota: RDT (Rendimiento), IDC (Índices de consumo)

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. 2).

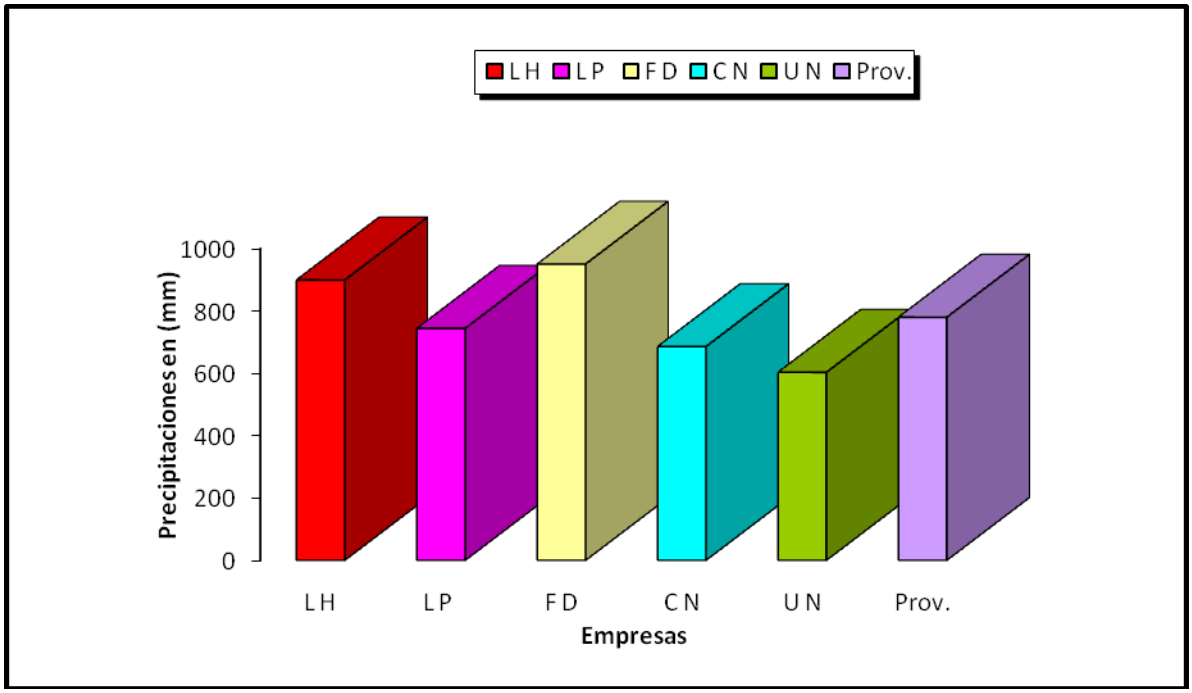


Figura 2. Precipitaciones promedios del periodo (1997-2012).

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, Fundora y Machado. (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. 3.

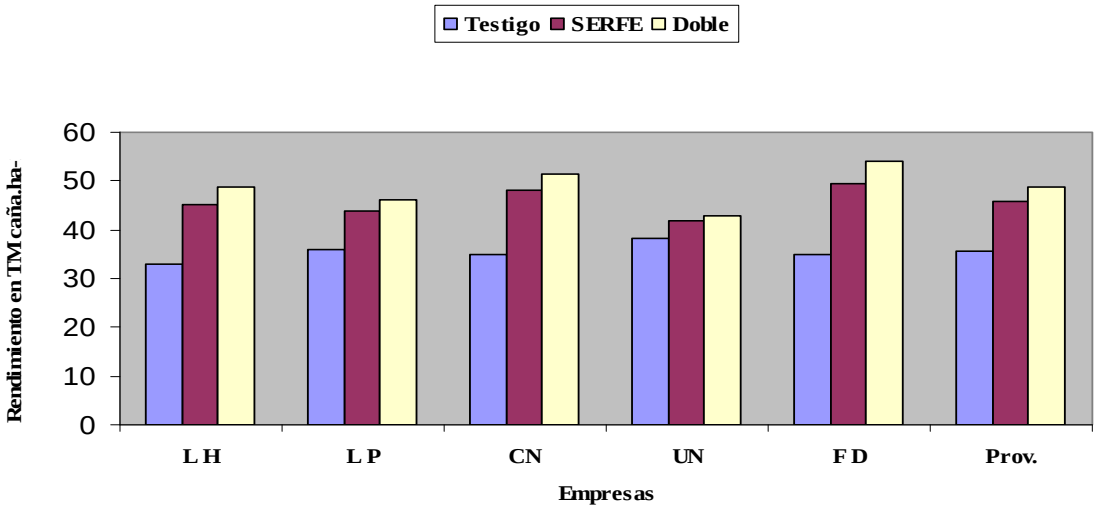


Figura3. Resultados de las cosechas de los lotes control en el periodo (1997-2011), por Unidades Empresariales de Base.

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. Se logró una disminución de las áreas con más de diez años de muestreo en la Empresa Azucarera de Holguín de 30000-10000 ha.
2. Los rendimientos para el cual se fertiliza en la Empresa Azucarera de la provincia de Holguín varia de 37.47 a 46.62t/ha con una media de 42.04t/ha
3. El potasio es el elemento limitativo en la obtención de buenos rendimientos productivos en la provincia Holguín, con requerimientos promedios de 2.29 kg por toneladas de caña. teniendo mayor incidencia en la UEB Fernando de Dios con requerimientos por encima de los dos kilogramos por hectárea.
4. 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.

REFERENCIAS

Arzola, N.; Fundora, O. & J. Machado. (1981). Suelo, planta y abonado. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana. 89p.

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.

Gutiérrez, H & De la Vara, R. (2007). Control estadístico de la calidad y seis sigmas. Editorial Félix Varela. la Habana. 636 pp.

Más, R & Ledya Benítez.(2001). Elementos Básicos de Evaluación de Tierras. Editorial PUBLINICA. 19p.

Pineda, Emma, (2003). Curso: Ecología aplicada. Maestría en Manejo y explotación de los agrosistemas de la caña de azúcar. Universidad Veracruzana. México. 91 p.

Torriente, D. (1999). Aplicación de biofertilizantes en vitroplantas de Caña de Azúcar. Tesis presentada en opción del Título de Master en Ciencias Agrícolas. Universidad de Matanzas.

Torriente, D.(2009). Manejo de diferentes indicadores de suelo para la aplicación de alternativas biológicas en los suelos cañeros en [en línea] marzo, 2009. Disponible.

Villegas, R. De León, M.E. Campos, J. Fernández, A. Menéndez, A. Cabrera, A & Pérez, M. (2007). Manual de Procedimiento del SERFE. Editorial PUBLINICA. 44p.

Villegas, R., H. Pérez, I. Cuéllar, R. Rubio, M. López , M. Naramjo y E. López. (1983). La fertilización de la caña de azúcar. Ponencia a la Primera Reunión Nacional de Agroquímica, ACC, Ciudad de La Habana, 118 pp.

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

MANEJO DE CULTIVARES DE CAÑA DE AZÚCAR EN RELACIÓN CON SU RESISTENCIA A ENFERMEDADES PRINCIPALES

MANAGEMENT OF SUGARCANE CULTIVARS IN RELATION WITH ITS RESISTANCE TO MAJOR DISEASES

Roberto González Hernández[1], Omelio Carvajal Jaime[2] y María La O Hechavarría[1]

[1]Subdirección Fitomejoramiento, INICA, [2] Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Matanzas

roberto@inica.azcuba.cu

Resumen

Las enfermedades de la caña de azúcar carbón, roya parda y escaldadura foliar, junto al mosaico, constituyen las patologías consideradas criterios de selección en el programa de obtención de variedades de Cuba. Para ellas se han establecidos estrategias para la resistencia, como principal criterio para el manejo de los cultivares, que responden a su nivel de importancia económica y las características de las relaciones Hospedante: Patógeno: Ambiente. Se hace un análisis de la respuesta de resistencia de dos grupos de cultivares, los que ocupan las principales áreas de producción al nivel nacional y los que están en desarrollo, con un análisis diferenciado por provincias. Se aprecia que la eliminación de variedades de alta susceptibilidad a las enfermedades principales, junto a una adecuada introducción a la producción de cultivares de cierta resistencia ha contribuido a eliminar el desarrollo de epifitias de estas patologías en los últimos años. La escaldadura foliar presenta la situación más desfavorable, por lo que en el presente deben asumirse otras medidas alternativas de manejo, hasta tanto se cuente con un mayor número de cultivares resistentes. La mayoría de las variedades en desarrollo son la mayoría resistentes a estas tres patologías y ofrecerán una mayor protección aun al cultivo en los próximos años.

Palabras clave: Carbón, roya, escaldadura foliar, resistencia, caña de azúcar

Abstract

Diseases of sugarcane smut, brown rust, leaf scald, and mosaic, are considered as selection criteria on the Cuban sugar cane breeding program, for which strategies for resistance have established, as the main criterion for the management of cultivars, which respond to their level of economic importance and features of the Host: Pathogen: Environment relationships. An analysis of the response of resistance of two groups of cultivars:the ones occupying the main production areas at the national level and those in development, with a particular analysis by provinces. Substitution of high susceptibility to major diseases varieties, joint with an adequate program of releasing of those one resistant, has contributed to avoid the occurrence of epidemic of these diseases in recent years. Leaf scald presents the most unfavorable situation, so at present it must take other alternative management arrangements, until a greater number of resistant cultivars be obtained.

Developing cultivars are resistant to these three pathologies, and will offer sure protection to sugar cane culture in the next years.

Key words: smut, rust, leaf scald, resistance, sugar cane

Introducción

El desarrollo de epifitias en caña de azúcar ha sido una de las principales causas de pérdidas en la industria azucarera. Durante muchos años la escasez de cultivares destacados condujo a muchos países a basar sus producciones de caña de azúcar en uno o como máximo dos cultivares, lo que con el paso del tiempo traía como consecuencia la ocurrencia de nuevas epifitias que se introducían en el país o de las lógicas variaciones de los agentes causales de esas enfermedades.

La epifitia de mosaico (VMCA) ocurrida en la en la década del 20 del siglo pasado condujo a una verdadera catástrofe económica en la gran mayoría de los países productores de caña de azúcar, en esa fecha predominaban las denominadas cañas nobles, escasas en genes de resistencia al mosaico y otras patologías (Rodríguez, 1979). Esa fue la señal que determinó encaminar los principales programas de obtención de cultivares de caña de azúcar a considerar a las enfermedades mayores como criterios de selección y con ello a la obtención de cultivares con resistencia a las mismas.

La evolución de las enfermedades en el mundo cañero y en Cuba en particular ha tenido un crecimiento vertiginoso en las últimas décadas (Chinea y Rodríguez, 2007) y lo que es más importante aún, se ha incrementado al mismo tiempo la intensidad con la que atacan a las plantaciones cañeras (González, 1997). Lo anterior ha conducido a tener que establecer estrategias para la resistencia, en dependencia a la importancia de las diferentes enfermedades, los avances en los estudios de las relaciones Hospedante: Patógeno: Ambiente, forma de herencia de la resistencia y otras consideraciones (González, 2004). Ellovalorando a las enfermedades carbón *Ustilagoscitaminea* Sydow = *Sporisorium scitamineum* (M. Piepenbr, M.Stoll & Oberw**)**, roya parda *Puccinia melanocephala* Sydow and P. Sydoy, mosaico (vmca) y escaldadura foliar *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson, como las patologías principales en Cuba y a su vez las que de una forma u otra, constituyen criterios de selección.

Teniendo en cuenta que el mosaico es una enfermedad bajo control en el país, se aplica una estrategia en la que, si de los progenitores que participan en el cruce, hay al menos uno con resistencia a esta enfermedad, solamente se aplica una evaluación al final de la etapa de selección. Por lo anterior, quedarían el carbón, la roya parda y la escaldadura foliar como las enfermedades que desde las primeras etapas de selección se incluyen como criterios por el cual se discriminan altas poblaciones de individuos, hasta llegar al final con variedades que se liberan para la producción con un nivel de resistencia que posibilite un adecuado manejo en las unidades de producción.

Lo anterior desde luego requiere de un largo período, pues no es posible hacer una sustitución de aquellos cultivares que ocupan áreas importantes, que deciden la producción de materia prima para la industria y que resulten susceptibles a una de estas tres patologías, aun así se han obtenido importantes progresos en ese sentido. De esa forma, Jorge y otros (2011) muestran el desarrollo que ha tenido la composición varietal en función de su respuesta ante la roya y el carbón y más recientemente se ha incluido también a la escaldadura foliar.

En el presente trabajo se propone un análisis de la composición de cultivares de caña de azúcar en Cuba en función de la resistencia a estas tres patologías y la forma en que debe dirigirse su manejo en las diferentes áreas de producción en los próximos años.

Materiales y Métodos

Se tomó como referencia para el análisis de la composición de cultivares en la producción, el reporte ofrecido por el Servicio de Variedades y Semillas (SERVAS) del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) al cierre del año 2012, basado en las informaciones ofrecidas desde las Unidades de Producción y los demás niveles de organización de la producción del Grupo Azucarero Azcuba.

La caracterización de los diferentes cultivares que determinan más del 95% de la producción cañera de cada provincia ante las enfermedades carbón, roya y escaldadura foliar que se toma como referencia en este trabajo está sobre la base de las pruebas de resistencia que realiza el Programa de Fitomejoramiento del INICA en cada territorio, registrado en la Base de Datos (Software Resist) y que está determinado por las Normas y Procedimientos que establece la institución para cada una de estas enfermedades (Jorge y otros; 2011, Editores).

La respuesta de los cultivares se expresan para el análisis en dos grandes grupos, los que garantizan la producción cañera actual, cada uno de ellos con más del 2% del área cubierta por este cultivo en el país y los que están en desarrollo, que alcanzan al menos, el 1% del área.

Resultados y Discusión.

En Cuba se explotan en la actualidad más de 100 cultivares de caña de azúcar, en las que se incluyen, desde luego, las que van en descenso por sus años de explotación, respuesta ante enfermedades principales y otras causas, así como las que están en pleno ascenso, por haber sido de más reciente liberación, quedando un tercer grupo de 23 cultivares, que ocupan más del 85% de las áreas en explotación comercial, que deciden la producción cañera del país (Tabla I).

Se puede apreciar que entre los 23 cultivares de mayor distribución en el país, hay solamente 3 que no presentan susceptibilidad ante al menos una de las tres enfermedades (C86-56, C90-469 y C90-530), todas de relativo poco tiempo de haber sido liberadas para la producción y que deben ser tomadas muy en consideración en los territorios donde el porcentaje de áreas con susceptibilidad a estas tres patologías es predominante, lo que será analizado más adelante.

El cultivar C323-68 muestra por el contrario, susceptibilidad ante estas tres patologías, razón por la que a pesar de sus buenas cualidades productivas, ha disminuido su distribución en los últimos años, pues hace una década era el más cultivado en el país (INICA- MINAZ, 2003). El 10.3% que ocupa del área plantada con caña de azúcar que ocupa este cultivar es aun elevado y debe seguir disminuyendo en los próximos años.

Es de destacar que el principal cultivar en Cuba, C86-12 (18.2% del área cañera del país) presenta un comportamiento que se puede considerar como intermedio en general a estas tres enfermedades, pues si bien su reacción de resistencia genética ante roya es de susceptible, no se trata de una susceptibilidad extrema como B4362, ya que después de 7 a 8 meses de edad, no hay una renovación de la infección y se aprecia en este cultivar una recuperación de su estado sanitario en general.

Tabla I. Reacción de resistencia de los principales cultivares ante enfermedades mayores

CULTIVAR	AREA PLANTADA	%	REACCIÓN DE RESISTENCIA		
			CARBÓN	ROYA PARDA	ESCALDADURA FOLIAR
C86-12	111717,0	18,2	INT	S	INT
C323-68	63317,7	10,3	AS	AS	S
C86-503	39950,5	6,5	INT	S	S
C90-469	31731,9	5,2	R	INT	R
C86-56	28488,8	4,6	R	R	R
C90-317	25119,3	4,1	R	R	S
CP52-43	24786,9	4.0	AS	AS	S
C87-51	24348,2	4.0	AS	AS	S
C1051-73	23274,3	3,8	S	AS	S
C90-530	22201,8	3,6	R	INT	S
B80250	18179,6	3.0	MAS	INT	AS
Co997	17128,6	2,8	S	AS	R
C86-156	16460,4	2,7	R	S	AS
SP70-1284	15845,9	2,6	INT	S	S
C89-147	14264,9	2,3	MAS	R	S
C137-81	10118,0	1,6	MR	INT	INT
My5514	9738,1	1,6	R	AS	R
C132-81	9489,7	1,5	AR	INT	S
C120-78	7642,1	1,2	S	AS	S
C89-176	7301,3	1,2	INT	INT	S
C88-380	7133,1	1,2	S	S	AS
C266-70	6550,9	1,1	INT	AS	S
C86-456	6061,7	1.0	MS	INT	R
OTRAS	**74595**	**11,8**			
TOTAL	**615445,7**	**99,7**			

.

Desde luego en lo anterior influye el que la composición de cultivares en producción no tienda a la susceptibilidad, pues de ser así, otra podría ser la situación sanitaria de este cultivar. El porcentaje queal nivel nacional ocupa en las áreas de producción es adecuado, aunque como expresan Carvajal y otros (2013), hay varias empresas y unidades de producción que están excedidos en áreas plantadas con este cultivar y deben corregir esa situación en el más breve plazo posible.

Cultivares líderes como C87-51, C1051-73 y CP52-43, presentan una respuesta integral a estas tres patologías que no es favorable a la resistencia, por lo que debe tomarse en consideración en aquellas empresas y unidades de producción que están planteando incluso, incrementar sus áreas en los próximos años.

Cultivares de menor distribución que las anteriores, pero aun con áreas de interés como B80250, SP70-1284, C120-78 y C88-380, muestran susceptibilidad a dos o más de las tres enfermedades criterios de selección, lo que dificulta su manejo, Luego deben ser explotadas únicamente en áreas que no favorezcan el

desarrollo de estas patologías .Algunas empresas de las provincias de Sancti Spíritus (12.3%) y Las Tunas (9.3%) tienen áreas importantes de B80250 y no presentan un componente que favorezca a la resistencia, por lo que deben tomar las medidas necesarias para ir hacia su disminución hasta no más del 3% del área.

Se ha indicado por varios autores (González y otros, 2010), que siempre que el ambiente es favorable a la infección, la ocurrencia de epifitias se decide por el área plantada con cultivares de alta susceptibilidad y por consiguiente, propensos a suministrar suficiente carga de inóculo que garantice la auto-infección.

Al nivel nacional es evidente que, en comparación con carbón y roya, la susceptibilidad a escaldadura foliar es un problema que existe en los principales cultivares que se explotan hoy en Cuba (Fig. 1). Para lograr el manejo de esta enfermedad por la vía de la resistencia, es preciso incrementar el área plantada con cultivares resistentes en todo el país, después de ello, entonces se pueden admitir aquellos cultivares de reacción intermedia o moderada susceptibilidad, sin que con ello se asuman riesgos de epifitia.

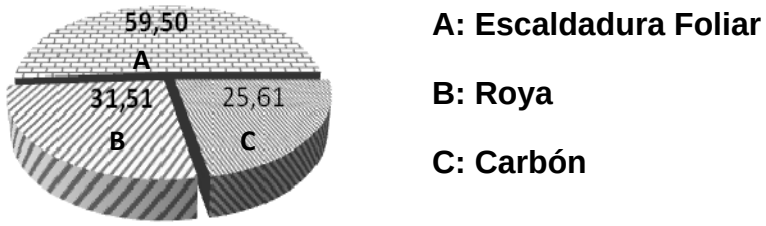


Fig. 1. Área cubierta por variedades susceptibles al nivel nacional

Se ha indicado que, aunque el porcentaje de área que ocupan los cultivares al nivel nacional ofrece cierta información de su distribución, es preciso analizar este aspecto a escalas menores de organización de la producción, pues es a ese nivel donde se determina la producción de caña y donde actúan los organismos patógenos.

El área que ocupa un cultivar al nivel nacional no refleja siempre lo que con él pueda ocurrir a un nivel menor de organización (provincia, empresa e incluso unidad de producción). De esa forma, en la Tabla II se refleja el porcentaje de área que al nivel provincial ocupan los cultivares de alta susceptibilidad a roya, carbón y escaldadura foliar y que muestra en ese sentido, las medidas de manejo a tomar en lo sucesivo, en dependencia de este análisis.

Tabla II. Porcentaje de área plantada por provincia con cultivares susceptibles a carbón, roya y escaldadura foliar

TERRITORIO	CARBON	ROYA PARDA	ESCALDADURA FOLIAR
ARTEMISA	44,20	58,3	55,70
MAYABEQUE	44,71	46,31	58,60
MATANZAS	46,60	33,5	56,90
CIENFUEGOS	29,70	62,80	55,30
VILLA CLARA	29,20	39	73,00
S. SPIRITUS	35,80	30	67,00
CIEGO DE AVILA	17,00	25,4	49,80
CAMAGÜEY	13,90	32,5	44,20
LAS TUNAS	27,80	28,3	68,00
HOLGUIN	3,30	5,9	55,30
GRANMA	21,60	34,4	55,00
S. DE CUBA	18,70	34,3	65,30
GUANTANAMO	18,90	49,1	62,70

Aunque para el manejo de los cultivares es necesario hacer un balance de las tres enfermedades consideradas en este estudio, es obvio que cada una de ellas merece una consideración independiente, pues de esa forma actúan, además, su comportamiento en los diferentes territorios es variable; así:

Carbón. Las provincias de Matanzas, Mayabeque y Artemisa presentan el mayor porcentaje de área cubierta con cultivares de alta susceptibilidad y por consiguiente están expuestas a la ocurrencia de epifitias de la misma. Desde luego que en el presente esto no ocurre por cuanto el balance de los cultivares resistentes más los de reacción intermedia es mayor que el de las de alta susceptibilidad, pero estas tres provincias están al límite de la vulnerabilidad y deben desarrollar el trabajo más intenso en los próximos años. Debe destacarse que no se considera aun en estas tres provincias como una situación crítica, pues la carga de inóculo ambiental es extremadamente baja, ya que los cultivares más epifíticos como Ja60-5 y B42231(González, 1997) que en años anteriores ocupaban un alto porcentaje de las áreas de producción, se han sustituido por otros que no presentan esa situación.

Es de destacar el trabajo que ha desarrollado la provincia de Holguín en la sustitución de cultivares de alta susceptibilidad al carbón y que le permiten hoy derivar la atención hacia las otras enfermedades, incluso no consideradas como criterios de selección en el presente, pues se aprecia que también están en ventaja con respecto a la roya parda e inclusive, la escaldadura foliar.

Roya parda. Las provincias de Cienfuegos, Mayabeque, Artemisa y Guantánamo son las de situación menos favorable respecto a esta enfermedad. Hay varios aspectos que han impedido el desarrollo de una epifitia de roya parda, pero en primer lugar la sustitución de las dos variedades que ofrecían un alto potencial de inóculo de los dos aislamientos del agente causal circulantes en el país, B4362 y Ja60-5.

Al igual que el carbón, la provincia de Holguín presenta la situación más favorable y en general fuera de las cuatro provincias mencionadas, las demás pueden hacer un adecuado manejo respecto a esta enfermedad. Debe destacarse que la calificación de los cultivares a esta enfermedad se hace por una escala que mide más la reacción hospedante: patógeno y que requiere de un ajuste a la acción del ambiente. En ese sentido, puede estar sobreestimada la reacción de susceptibilidad, aspecto en los que trabaja el INICA en el presente.

Aun considerando lo anterior, es menester lograr una mejor distribución de los cultivares en estas provincias donde hay más áreas plantadas con variedades susceptibles y trabajar en la producción de semilla de los cultivares resistentes y que se adapten a las condiciones de su ambiente, lo que es perfectamente alcanzable, tomando en consideración que es elevado el número de cultivares resistentes que están en desarrollo.

Escaldadura foliar. Debe en primer lugar indicarse, que esta enfermedad es de más recién inclusión como criterio de selección y que aun no se cuenta con la adecuada dotación de progenitores que permitan desarrollar programas de mejora para la resistencia al nivel requerido. A pesar de lo anterior, no se ha desarrollado una gran epifitia de escaldadura en el país, fuera de la ocurrida en algunas áreas de la provincia de Camagüey y Matanzas hace más de una décaday que motivó la sustitución de dos cultivares que estaban en pleno desarrollo(Pérez *et al*; 2004). Se trata además, de una enfermedad que requiere de condiciones ambientales muy favorables para que desarrolle una epifitia, como la ocurrencia de ciclones tropicales (Rott y Davis, 2000), lo que puede ocurrir en Cuba.

Hasta tanto se cuente en la producción con una situación semejante a la que hoy existe con el carbón y la roya, es necesario extremar las medidas alternativas de manejo, como el tratamiento térmico a la semilla y la desinfección de los instrumentos de corte, efectivas para disminuir la propagación de esta y otras enfermedades vasculares.

A pesar de la mencionada escasez de progenitores, se ha logrado la obtención de cultivares con resistencia a escaldadura foliar, junto a la de carbón y roya parda: Así, la gran mayoría de los cultivares que se encuentran en extensión y desarrollo, cuentan con resistencia a estas tres enfermedades (Tabla III) y aquellas que aun siendo susceptibles a escaldadura foliar, son liberadas para explotarse en condiciones específicas y bajo estricto control sanitario.

Tabla III. Reacción ante las principales enfermedades de cultivares en desarrollo

Cultivar	Carbón	Roya parda	E. foliar	Cultivar	Carbón	Roya parda	E. foliar
C91-356	**INT**	**R**	**R**	**C88-556**	**R**	**R**	**AS**
C92-203	**R**	**INT**	**R**	**C91-115**	**AR**	**R**	**AS**
C91-367	**R**	**INT**	**R**	**C89-246**	**R**	**R**	**S**
C92-524	**R**	**R**	**R**	**C92-514**	**R**	**S**	**R**
C95-416	**R**	**R**	**R**	**C91-522**	**R**	**INT**	**S**
C97-445	**R**	**INT**	**R**	**C87-635**	**EP**	**R**	**AS**
C93-540	**MR**	**R**	**AR**	**C88-383**	**S**	**INT**	**R**
C94-504	**R**	**INT**	**AR**	**C92-26**	**INT**	**INT**	**EP**
C93-567	**R**	**R**	**INT**	**C87-177**	**INT**	**EP**	**EP**
C89-372	**MS**	**S**	**INT**	**C96-435**	**EP**	**EP**	**EP**
C92-325	**R**	**S**	**S**				
C86-621	**INT**	**S**	**AS**				

Leyenda: AR, Altamente resistente; R, Resistente; MR, INT, Intermedia; Moderadamente resistente; S, Susceptible; AS, Altamente susceptible; MAS, Muy altamente susceptible, EP, en prueba

En la medida que se los cultivares en desarrollo vayan incrementando nuevas áreas de producción, la situación de sanidad del cultivo de la caña de azúcar en Cuba continuará mejorando a favor de la resistencia y serán más escasas las posibilidades de desarrollo de alguna epifitia de estas enfermedades que en el presente constituyen criterios de selección. Desde luego que cada provincia, empresa y en particular, unidad de producción debe actuar en dependencia de su particular situación.

Conclusiones y Recomendaciones

- El área cañera de Cuba está ocupada por una gran diversidad de cultivares, cuya distribución territorial y su respuesta ante las enfermedades carbón, roya parda y escaldadura foliar, han impedido el desarrollo de epifitias de interés en las últimas décadas.
- El porcentaje de área cubierto por cultivares susceptibles a escaldadura foliar es elevado y debe continuar aplicándose las medidas alternativas de control recomendadas por el Servicio Fitosanitario (SEFIT), hasta tanto se pueda incrementar el área plantada con cultivares resistentes
- Los cultivares en plena explotación comercial C323-68,C86-503, CP52-43 y C87-51, así como otros con menor distribución, como B80250, SP70-1284, C120-78 y C88-380, muestran susceptibilidad a dos o más de las tres enfermedades criterios de selección y deben ser manejadas con cuidado en los próximos años
- La provincia de Holguín muestra la composición de cultivares más favorable por su resistencia a las enfermedades principales
- La mayoría de los cultivares que se encuentran en desarrollo en todas las áreas de producción del país cuentan con resistencia a las tres enfermedades criterios de selección en Cuba y su incremento continuará mejorando la situación fitosanitaria del cultivo
- Los cultivares en desarrollo C89-372, C92-325 y C86-621 muestran susceptibilidad a dos o más de las tres enfermedades principales y ello las limita en su crecimiento futuro

Referencias

Carvajal. O, Olga L. Macías, J. Acosta, H. Estévez, R. González, A. Chinea, Mercedes Delgado, Yordanka Rufín y O. Alpizar. 2013. Vulnerabilidad de la composición de cultivares de caña de azúcar ante escaldadura foliar (*Xanthomonas albilinean s*(Ashby) Dowson). Prensa Cuba & Caña, 9 pp.

Chinea, M. y Eida Rodríguez. 2007. Enfermedades de la caña de azúcar: Identificación y lucha. INICA, MINAZ. C. de la Habana, 200 p.

González, R. 1997. Bases para el control del carbón de la caña de azúcar *Ustilago scitaminea Sydow*. Tesis Doctorales. 1964-2004. En: Serie Caña de Azúcar Siglo XXI, Suplemento Especial de la Revista Cuba & Caña No. 2, enero de 2005. P. 13.

González, R. 2004. Estrategia para la resistencia a enfermedades principales de la caña de azúcar en Cuba. Jornada Científica 40 Aniversario del INICA. Resúmenes, P. 23.

González, R.; O. Carvajal; Mónica Tamayo; J. Montalbán; H. García, J, R. Pérez, H. Jorge, J. Mesa, Yaquelin Puchades y Y. Barroso, 2010.Método de evaluación de la resistencia a escaldadura foliar de la caña de azúcar en Cuba. Cuba & Caña No 1: 27-35.

INICA - MINAZ, 2003. Informe a la XX Reunión Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal, La Habana, 62 pp.

Jorge, H., Ibis Jorge, J. Mesa y N. Bernal, (Editores), 2011. Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba. Selección. PUBLINICA, pp 155-198.

Pérez, J. R.; Madeu Matos; G. Pérez; J. Montalván; E. Aguiar ; Ester. L. Peralta y A. Chinea. 2004. Brote epifitiológico de la Escaldadura foliar de la caña de azúcar *Xanthomonas albilineans (Ashby Dowson)*, consecuencias actuales y futuras. Diversificación 2004. Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la caña. Memorias. La Habana. Cuba, p. 97-103.

Rodríguez L. Eida, 1979. Fundamentos para las medidas de lucha contra el mosaico de la caña de azúcar en Cuba. En:Tesis Doctorales. 1964-2004. Serie Serie Caña de Azúcar Siglo XXI, Suplemento Especial de la Revista Cuba & Caña No. 2, enero de 2005.P. 4.

Rott, P. & M. J. Davis. 2000. Leaf scald. In: A guide to Sugarcane diseases. CIRAD and ISSCT, p. 163-169.

POTENCIAL MÍNIMO PRODUCTIVO DE LOS SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN LA UEB "ARGEO MARTÍNEZ" DE LA PROVINCIA DE GUANTÁNAMO

PRODUCTIVE MINIMUM POTENTIAL OF SOILS DEDICATED TO THE SUGARCANE CROP IN THE UEB "ARGEO MARTÍNEZ", GUANTANAMO PROVINCE.

Gerardo J. Cervera D.; L. Peña; J. Matos; P. Pablos; Alegna Rodríguez; C. Granado; E. Angarica; Yudith Viñas; Odalis Barquié; Midiala Peña; H. Gámez,; A. Cobas; Marta Barrera.

Grupo de Extensión y Servicios Agrícolas (GESA) Carretera "El Salvador" Km. 1½ Montesano. Guantánamo, Cuba.

Dirección de correo: gesaguan@inicagm.azcuba.cu

Resumen

La nueva forma organizativa de AZCUBA establece que para recibir el precio máximo por tonelada de caña, los productores deben aumentar el 5% del volumen de caña, sobre la liquidación en la zafra anterior u/o alcanzar el 80% del potencial productivo de los suelos. Estas premisas constituyen elementos importantes para incentivar la necesidad de determinar, con el menor margen de error posible, los potenciales agroproductivos de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, bajo las condiciones agrotécnicas actuales. El trabajo muestra los Rendimientos Mínimos Potenciales (RMP), factibles de alcanzar, bajo las condiciones agrotécnicas de las áreas cañeras actuales de la UEB Argeo Martínez, hasta la unidad mínima de manejo.

Palabras clave: Potencial agroproductivo; Potencial mínimo productivo

Summary

The new organizational form of AZCUBA and its payment system established that to receive the maximum price per ton of cane, croppers should increase 5% of sugarcane volume, on the retrieved in the previous harvest and/or achieve 80 % of the soils productive potential. These premises are important elements to stimulate the need to determine, with a lower margin of error, the soil productive potentials dedicated to sugar cane cropping, under current agricultural conditions**.** This article shows the yields minimum potential (RMP), feasible to reach at the minimum unit of management under agricultural conditions of the current sugarcane areas in the UEB Argeo Martínez.

Key words: Productive Potential; Productive minimum potential

Introducción

La clasificación agroproductiva constituye en la actualidad uno de los procedimientos más importantes dentro del campo de la agricultura, es la evaluación de los suelos frente a un cultivo específico y puede realizarse siguiendo un proceso lógico de análisis, síntesis y generalización, en la actualidad se considera que están sentadas las bases de trabajo, que existen criterios aceptables para la planificación agrícola, pero queda un vasto campo a la investigación para perfeccionar los sistemas actuales.

Estimar el potencial agroproductivo de los suelos a partir de una fuente científica razonable, con respecto a un cultivo y un nivel de agrotecnia determinado, permite entre otros elementos, realizar pronósticos acerca del rendimiento potencial de las especies agrícolas evaluadas. Puede incluso profundizarse y llegar a la evaluación económica que comprende la selección de alternativas de uso, cálculo de insumos tales como fertilizantes, herbicidas, máquinas, volumen de agua para riego, etc.

La caña de azúcar es un cultivo extendido sobre un gran mosaico de condiciones edafológicas, producirla no cuesta lo mismo en todos los lugares, los rendimientos del cultivo varían según los diferentes tipos de suelos, cepas, variedades, clima, y tecnologías de manejo utilizadas, por lo que el cálculo de los rendimientos potenciales resulta extremadamente complejo. Siendo el objetivo del trabajo determinar el potencial agroproductivo por cepas y tipos de suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en la UEB "Argeo Martínez", para condiciones de secano, reajustados a la cartografía actual de las unidades de producción, en correspondencia con el nivel tecnológico actual y la información disponible.

Materiales y métodos

El trabajo fue realizado en la Unidad Empresarial de Base (UEB) de Atención a los Productores Cañeros de la Empresa Azucarera "Guantánamo". La estructura empresarial cuenta con un fondo para la producción de caña al cierre de Dic/2013 de 11560.5 ha., distribuidas según la tenencia de la tierra en 13 UBPC, 4 CPA, 8 CCS además de 2 Bancos de Semilla Registrados.

El elemento más importante para la caracterización climática fue las precipitaciones, con valores entre los 500-1600 mm/año, en los últimos años se presentó gran inestabilidad en la distribución mensual donde se manifiestan períodos extremadamente secos desde diciembre a abril, concentrándose las lluvias en los meses de mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre, influenciados mayo y noviembre por los golpes de agua como los ocurridos en el año 1994, así como, en los meses lluviosos las precipitaciones ocurren en pocos días y de forma consecutiva generalmente.

La temperatura, fue elevada y constante durante todo el año, siendo una media de 26-27 ºC representativa de la región, pudiéndose encontrar valores de hasta 35 ºC e incluso de 50 ºC en los primeros cinco centímetros del suelo. La evapotranspiración osciló entre 2000-2200 mm/año.

Procedimiento para el Cálculo del rendimiento mínimo potencial (RMP)

El procedimiento empleado para el cálculo se realizó a partir del análisis de la base experimental nacional del Departamento de Suelos y Agroquímica del INICA con más de 35 años, la misma incluyó 3110 cosechas, que fue depurada para el análisis a 2626 cosechas, tomando en cuenta las premisas de:

1. Eliminar las cosechas con rendimientos por encima de 250 t/ha

2. Eliminar las cosechas con coeficiente de variación menor a 5 y mayor a 25 %
3. Establecer límite de rendimiento por cepas: PQ <70 t/ha; Fríos <60 t/ha: Primaveras <50 t/ha; Socas < 55 t/ha; Retoños < 40 t/ha

Tomando en cuenta los resultados reportados en Cuba por E. Pineda (2001) y A. Baro (1989), donde plantean que los campos comerciales producen como promedio entre el 69-72 % de las tn/ha. obtenidas bajo condiciones experimentales, a la base de datos depurada, en las variables: tratamiento absoluto (No-Po-Ko), el intercepto y la meseta (Rendimiento Máximo Estable) utilizadas en el modelo de Cate y Nelson (1971) para establecer las dosis optimas de fertilizantes, se le determinó un 70 % al rendimiento alcanzado, posteriormente se determinaron los rendimientos medios, desviación estándar, q1, q3 y la mediana, determinando los coeficientes para cada tipo de suelos y cepas. (Tabla I).

Tabla I. Coeficientes de cálculo para cada tipo de suelos y cepas.

Coeficiente por cepas		Rendimiento medio por agrupamiento agroproductivo de suelos.	
Kc por cepas		Agrupamiento de suelos	Media
Ks	1	Aluviales	99.09
Kpq	1.44	Sialitizados no cálcicos	94.49
Kp	0.92	Sialitizados cálcicos	87.51
Kf	1.35	Ferralitizados cuarciticos	81.72
Kr	0.88	Ferralitizados cálcicos	79.99
Krq	0.00	Gleyzados sialitizados	78.75
		Fersialitizados cálcico	76.45
		Vertisuelos	76.32
		Gleyzados ferralitizado	70.92

Con estos coeficientes se determinó el rendimiento mínimo potencial para los grupos de suelos y cepas para los suelos con Aptitud A1 (Tabla II), para condiciones de secano. Para determinar los rendimientos mínimos potenciales para las siguientes aptitudes se utilizó el criterio de la FAO (1990) y de Emma Pineda (2001) quienes coinciden en plantear que la reducción de rendimiento entre una aptitud y la que le sigue es de 25%.

Tabla II Rendimiento Mínimo Potencial por cepas para los grupos de suelos con Aptitud A1.

Agrupamiento	Rendimiento mínimo potencial (t/ha)						
	PQ	Frios	Soca	Rtños	Primavera	RQ	Medio
Aluvial	138.9	128.2	99.1	87.5	90.3	118.2	110.4
Sialitizados no cálcicos	132.5	122.2	94.5	83.5	86.1	112.7	105.2
Sialitizados cálcicos	122.7	113.2	87.5	77.3	79.7	104.3	97.4
Ferralitizados cálcicos	112.1	103.5	80.0	70.7	72.9	95.4	89.1
Vertisuelos	107.0	98.7	76.3	67.4	69.5	91.0	85.0
Fersialitizados cálcicos	107.1	98.8	76.4	67.5	69.6	91.1	85.1
Gleyzados sialitizados	110.5	101.9	78.8	69.6	71.8	94.0	87.8
Gleyzados ferralitizados	99.4	91.7	70.9	62.6	64.6	84.5	79.0
Ferralitizados cuarcíticos	114.5	105.7	81.7	72.2	74.4	97.4	91.0
Medio	**116.1**	**107.1**	**82.8**	**73.1**	**75.4**	**98.7**	**92.2**

Posteriormente, se procedió a enlazar en MapInfo la capa caña con la evaluación de la aptitud física de las tierras ajustada a la nueva estructura territorial de las UEB y UPC, con la tabla obtenida de RMP, a partir de las cuales se generaron los mapas temáticos.

Resultados y Discusión

Caracterización de los suelos

El macizo cañero de la Provincia de Guantánamo abarca un área geográfica total de 36290,22 ha., las condiciones geomorfológicas, hidrogeológicas y climáticas permitieron que se desarrollaran suelos correspondiente al Agrupamiento de los PARDOS, los cuales ocupan el 87.10 %, de área total, distribuidos por los Subtipos Pardos con CO3 Típicos un 83,1 % y los Pardos sin CO3 Típicos 4.0 %; precedidos por los ALUVIALES (12.9 %), de los Subtipos Diferenciados y Poco Diferenciados, (MINAG, 2001).

Principales factores edáficos

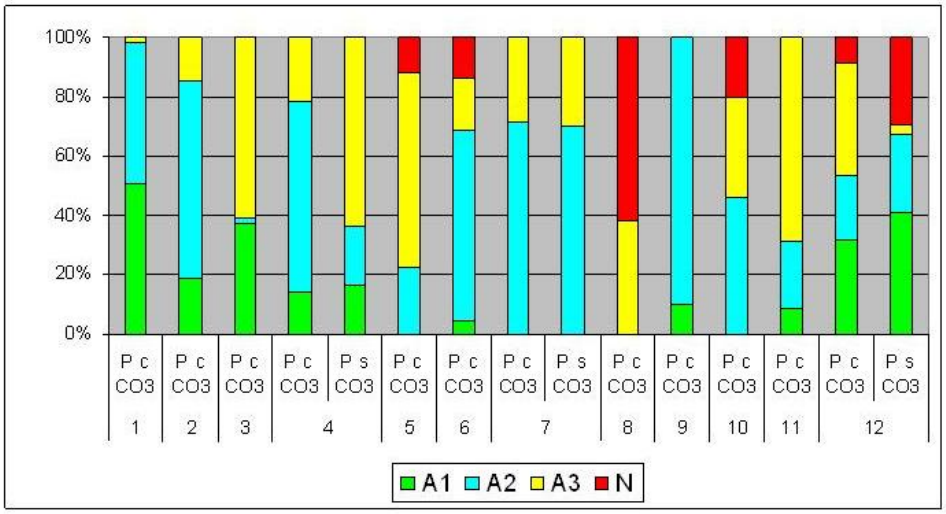
Muy vinculado con los procesos erosivos, drenaje, mecanización y labores agrotécnicas; se presentan los aspectos topográficos. La topografía predominante es la ondulada, fuertemente ondulada y alomada ocupando el 79.6% del total, ello está acorde con la cifra de los procesos erosivos, que en Guantánamo en diferentes magnitudes alcanza un 66.8% del área cañera total. La profundidad efectiva del perfil de suelo, se observa que casi el 70% de área se encuentra ente las categorías de muy poco a poco profundo, constituyendo este el factor que más limita a los cultivos.

En las zonas llanas, a veces depresionales, los aspectos del mal drenaje y salinización constituyen los factores más limitativos, ocupando aproximadamente entre un 7.0 % y 15 % respectivamente del total cañero. La gravillosidad y pedregosidad entre las categorías de mediano a excesivo se pueden encontrar hasta en un 15 %. El resto de los factores limitantes tales como: rocosidad, acidez del suelo y capacidad de intercambio catiónico, no representan interés determinado en las categorías más limitativas para el cultivo.

Aptitud física de los suelos

Del total de tierras de la empresa corresponden a la categoría de aptas las 10306.03 ha, para un 89.15% del total. Sub-divididas estas en A_1 2334.25 ha para el 20.19% del total, A_2 4117.63 ha para el 35.62%, A_3 3854.15 ha para el 333.34 y aún existen 1254.44 ha que se cultivan con caña de azúcar que significan un 10.85%, no obstante la situación de suelos de la empresa es favorable al poseer más de un 50% distribuidos en la categoría A1 y A2, (Cervera., 2001).

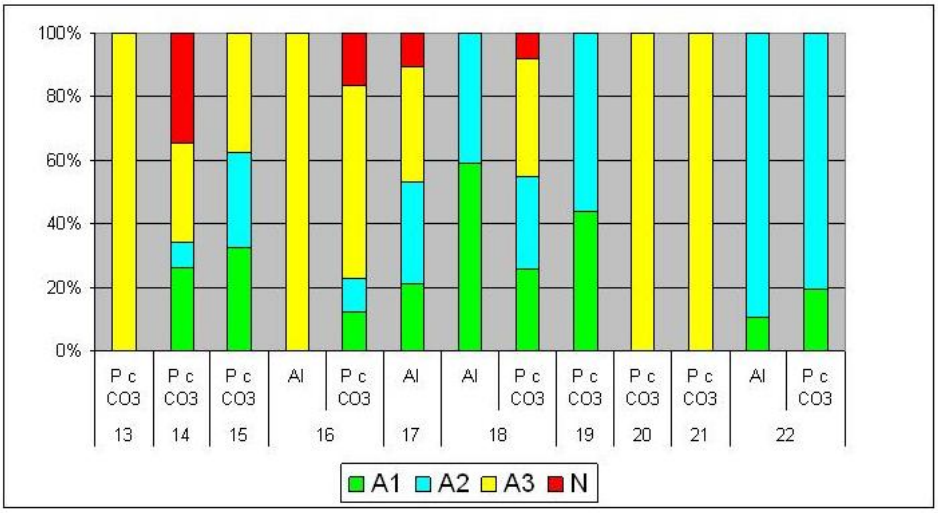
En las Figuras 1 y 2 aparecen los resultados de la Evaluación de la aptitud física para cada tipo de suelos y por Unidades Productoras, se observa que las unidades más favorecidas desde el punto de vista de aptitud son: Manuel Sánchez y Osmel Gonzalvo y la de peores condiciones de suelos es la Vidal Megret.



1	M SANCHEZ
2	LA ESPERANZA
3	A REYNOSO
4	L CABRERA
5	H SANCHEZ
6	E GUEVARA
7	13 DE SEPT
8	V MEGRET
9	21 DE SEPT
10	J MENENDEZ
11	L LOPEZ M
12	A ESCALANTE

P c CO3	Pardos con Carbonatos	P s CO3	Pardos sin Carbonatos	Al	Aluvial

Figura 1. Evaluación de la Aptitud Física de los Suelos por Unidades Productoras.



13	P A. PEREZ
14	M DE ANGOLA
15	LA CRISTALINA
16	HONDURAS
17	M DE BARBADOS
18	V DE GIRON
19	CCS FRANK PAIS
20	M TAMES
21	CCS V MEGRET
22	CCS O GONZALVO

P c CO3	Pardos con Carbonatos	P s CO3	Pardos sin Carbonatos	Al	Aluvial

Figura 2. Evaluación de la Aptitud Física de los Suelos por Unidades Productoras.

Rendimientos Mínimos Potenciales (RMP).

Se presentan los resultados de RMP por los tipos de suelos según el grado de aptitud y cepas de la UEB “Argeo Martínez” en la tabla III, donde aparecen 12 combinaciones para la zona en estudio, los mayores rendimientos se podrán lograr en los suelos Aluviales; como promedio general se puede llegar a alcanzar 70 t/ha aproximadamente, aunque el mismo depende de la composición de cepas que exista.

Tabla III: Rendimientos Mínimos Potenciales por Suelos y Cepas. UEB “Argeo Martínez”.

Suelos	Aptitud	PQ	Prim	Fríos	Socas	Retoños	RQ	Promedio
Aluviales	A1	138.91	90.26	128.20	99.10	87.53	118.17	110.36
Aluviales	A2	104.18	67.70	96.15	74.33	65.65	88.63	82.8
Aluviales	A3	78.14	50.77	72.11	55.74	49.24	66.47	62.1
Aluviales	N	58.60	38.08	54.08	41.81	36.93	49.85	46.6
Pardos CO_3	A1	122.65	79.70	113.19	87.50	77.29	104.34	97.44
Pardos CO_3	A2	91.99	59.77	84.89	65.63	57.97	78.25	73.1
Pardos CO_3	A3	68.99	44.83	63.67	49.22	43.47	58.69	54.8
Pardos CO_3	N	53.10	33.62	47.75	36.91	32.61	44.02	41.1
Pardos s CO_3	A1	116.20	86.07	122.25	94.50	83.47	112.69	105.24
Pardos s CO_3	A2	94.40	59.77	84.89	65.63	57.97	78.25	73.08
Pardos s CO_3	A3	70.80	44.83	63.67	49.22	43.47	58.69	54.81
Pardos s CO_3	N	55.88	36.31	51.57	39.87	35.21	47.54	44.4
Promedio		**87.68**	**56.98**	**80.92**	**62.55**	**55.25**	**74.59**	**69.66**

En la tabla IV se observan los RMP por unidades productoras cañeras (UPC) y cepas de la UEB “Argeo Martínez”, en el rango de menos de 51 tn/ha solamente aparece la UBPC Vidal Megret con un potencial de 50 t/ha, siendo la de menor Potencial productivo, coincidiendo esto con que en la zona donde se ubican la mayoría de sus bloques cañeros se encuentran distribuidos en las categorías de A3 y N de Aptitud de suelos (Figura 1).

Entre 51 y 60 t/ha aparecen 5 UPC (UBPC H. Sánchez; CCS (P. A. Pérez; M. Tames; V. Megret) y CPA J. Menéndez). En el caso de la primera el RMP podría elevarse en dependencia de la explotación adecuada de las áreas con posibilidades de riego.

Para el rango productivo entre 60 y 69 t/ha aparecen 4 UPC (UBPC E. Guevara, 13 de Septiembre y M. de Angola, además, la CCS L. L. Mustelier.). Las restantes 11 UPC aparecen con PMP por encima de la media provincial de 70 t/ha, ellas son: La Esperanza; A. Reynoso; La Cristalina; M. de Barbados; L. Cabrera; A. Escalante; 21 de Septiembre; y por encima de estas con los mayores Potenciales M. Sánchez; V. Girón, Frank País y Osmel Gonzalvo, coincidiendo que son las que poseen la mayoría de sus bloques distribuidos entre las categorías de A1 y A2 de aptitud de suelos (Figuras 1 y 2).

Tabla IV: Rendimientos Mínimos Potenciales por UPC y cepas. UEB “Argeo Martínez”.

Unidad	**Área**	**PQ**	**Prim**	**Fríos**	**Socas**	**Retoños**	**RQ**	**Promedio**
M. Sánchez	791.46	104.64	67.99	96.57	74.65	65.94	89.01	83.13
La Esperanza	830.13	93.20	60.56	86.01	66.49	58.73	79.28	74.05
A. Reynoso	563.02	91.14	59.22	84.11	65.02	57.43	77.53	72.41
L Cabrera	962.07	89.28	58.11	82.52	63.79	56.35	76.07	71.04
H. Sánchez	590.24	73.42	47.63	67.65	52.29	46.19	62.36	58.24
E. Guevara	839.02	83.03	53.85	76.47	59.12	52.22	70.49	65.84
13 de Septiembre	427.19	85.24	55.18	78.36	60.58	53.51	72.23	67.46
V. Megret	510.89	62.63	40.35	57.30	44.30	39.13	52.82	49.33
21 de Septiembre	130.37	96.37	62.62	88.94	68.75	60.73	81.98	76.56
J. Menéndez	470.19	75.29	48.77	69.27	53.55	47.30	63.85	59.63
Luís L. Mustelier	234.53	81.45	52.93	75.17	58.11	51.32	69.29	64.71
CSR S. José	33.37	91.99	59.77	84.89	65.63	57.97	78.25	73.08

Unidad	Área	PQ	Prim	Fríos	Socas	Retoños	RQ	Promedio
A. Escalante	1226.36	89.17	58.44	83.00	64.16	56.67	76.51	71.45
P. A. Pérez	21	68.99	44.83	63.67	49.22	43.47	58.69	54.81
M. Angola	681.92	82.32	53.25	75.63	58.46	51.64	69.71	65.11
La Cristalina	489.41	90.94	59.10	83.93	64.88	57.31	77.36	72.25
Honduras	783.78	73.07	47.31	67.19	51.94	45.88	61.94	57.84
M. Barbados	1112.3	94.11	61.16	86.86	67.14	59.31	80.06	74.77
V. Girón	567.93	99.14	64.39	91.44	70.69	62.44	84.29	78.72
F. País	9.57	107.32	69.74	99.04	76.56	67.63	91.30	85.26
M, Tames	30.72	68.99	44.83	63.67	49.22	43.47	58.69	54.81
CCS V Megret	34.4	68.99	44.83	63.67	49.22	43.47	58.69	54.81
CSR S. Vicente	52.94	121.55	78.98	112.17	86.71	76.59	103.40	96.57
O. Gonzalvo	167.66	104.03	67.60	96.01	74.22	65.56	88.50	82.65
Total	**11560.47**	**87.68**	**56.98**	**80.92**	**62.55**	**55.25**	**74.59**	**69.66**

En la Figura 3 se presenta la distribución espacial de los Rendimientos Mínimos Potenciales Promedios de la UEB “Argeo Martínez” y la cantidad de Bloques por Rangos de Rendimiento, como muestra de los diferentes Mapas Temáticos que se pueden generar derivados del trabajo. Este “Promedio”, es el generado del cálculo por las diferentes cepas, pero es bueno reiterar que depende del área que se coseche por cada una de ellas, no obstante, nos dan una aproximación de cuanto se puede alcanzar por cada una de las unidades productoras de caña en la Provincia.

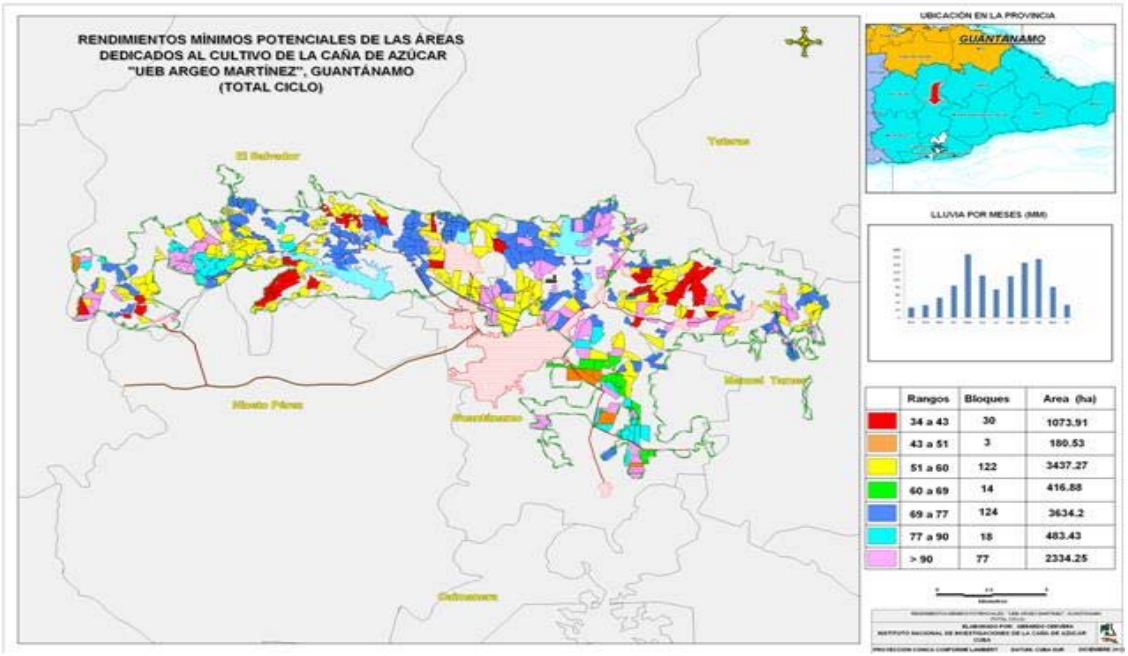


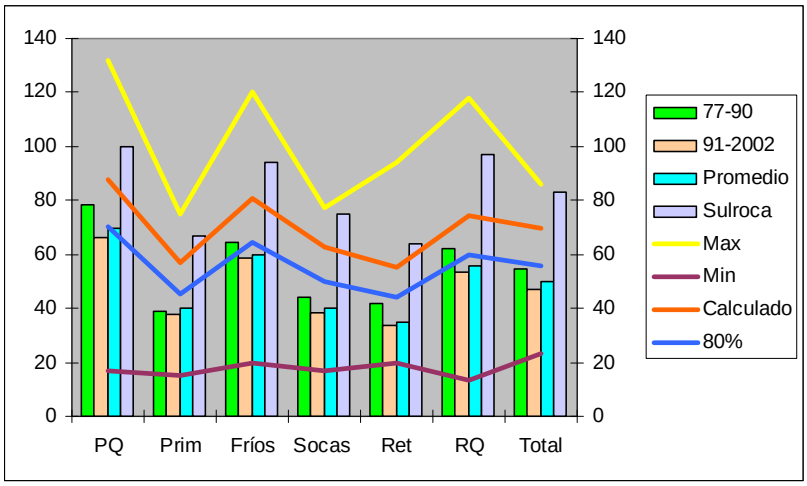
Figura 3. Distribución espacial de los Rendimientos Mínimos Potenciales Promedios

Análisis comparativo: Liquidaciones Vs RMP Calculado Provincia.

En la Figura 4 se presenta un análisis comparativo de las Liquidaciones por diferentes periodos y según diferentes autores, los Rendimientos Máximos y Mínimos por Cepas contra el RMP

Calculado y el 80%. Se puede observar que los Rendimientos Promedios Calculados, al igual que el 80% calculado por cepas, coinciden aproximadamente con todos los periodos analizados, quedando por debajo del Potencial Planteado por Sulroca (2002) en los Instructivos Técnicos del Sector.

La diferencia del Potencial Calculado se encuentra por encima en todas las cepas por los diferentes periodos, en más de 15 t/ha. El 80% del potencial se diferencia del promedio en menos de 10 t/ha y en todos los casos el Máximo alcanzado se encuentra en más de 15 t/ha para cada una de las cepas y en los diferentes periodos analizados, demostrando que los mismos pueden ser alcanzados.



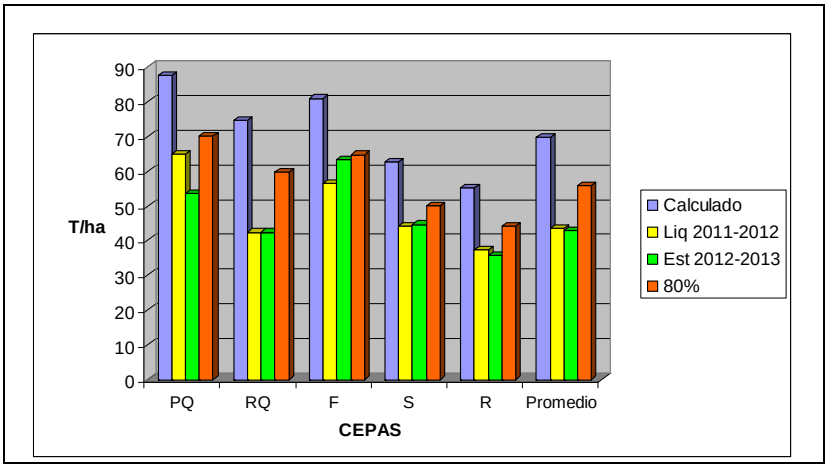
Dif/Cepas	PQ	Prim	Fríos	Socas	Ret	RQ	Total
Dif Cal/Prom	17.68	16.98	20.92	22.55	20.25	18.59	19.46
Dif Cal/Max	-44.32	-18.02	-39.08	-14.45	-38.75	-43.41	-16.34
Dif 80%/Prom	0.144	5.584	4.736	10.04	9.2	3.672	5.528
Dif 80%/Max	-61.856	-29.416	-55.264	-26.96	-49.8	-58.328	-30.272

Figura 4. Análisis comparativo Liquidaciones Vs RMP Calculado Provincia.

Análisis comparativo: Liquidación 2011-2012, Estimados 2012-2013 Vs RMP Calculado y 80% RMP Calculado.

En la Figura 5**,** se realiza un análisis comparativo de la Liquidación de la zafra 2011-2012, los Estimados de zafra 2012-2013 contra el RMP Calculado y el 80% RMP Calculado. Se pudo observar que las liquidaciones se encuentran por debajo del 80% calculado como promedio en 12 t/ha, siendo la cepa de Retoño Quedado la que peor liquida con relación al potencial, esto puede estar influenciado porque en la mayoría de los casos son retoños que no se han cosechado y se han quedado para la próxima campaña, no siendo siempre los adecuados para dejar quedar.

Los estimados de la actual campaña también se encuentran en menos de 12 t/ha como promedio relacionado con el 80% calculado. Los rendimientos estimados para la cepa de Retoño Quedado coincidentemente con las liquidaciones son los que más se diferencian con los potenciales calculados, en el caso de la Cepa de Primavera Quedada los estimados fueron por debajo del potencial en 16.6 t/ha, considerando que fueron reservados ya que la diferencia con las liquidaciones no exceden las 6 t/ha.



Dif/Cepas	PQ	RQ	F	S	R	Promedio
Dif 80/Liq	5.31	17.24	8.19	5.80	6.79	12.30
Dif 80/Est	16.64	17.24	1.45	5.38	8.40	12.95

Figura 5 Análisis comparativo Liquidación 2011-2012, Estimados 2012-2013 Vs RMP Calculado y 80% RMP Calculado

Conclusiones

1. Los RMP calculados se pueden lograr en el 100 % de las UPC de la Empresa Azucarera Guantánamo.
2. El 80% de los RMP calculados, se pueden utilizar para establecer el pago a las Unidades Productoras según la nueva forma organizativa de AZCUBA.
3. La cepa que más difiere con los RMP calculados es la de Retoño Quedado.

Referencias

- Acosta, P. P. (2001). Compendio Azucarero Guantánamo Zafras 1977/1999.
- Angarica, E. (1989). Resultados experimentales obtenidos en la provincia de Holguín.
- Cate, R. B. y L. A. Nelson. (1971). A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into tow classes. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35 (4): 658-659 pp.
- Cervera, G., Matos, J., Hernandez, I. (2001). Informe: Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras Provincia Guantánamo Primera Aproximación.
- FAO. (1990). Evaluación de Tierras para la agricultura en regadío: Directivas. Boletín de Suelos 55. Roma. Italia. 230 pp.
- MapInfo Corporation (1985 – 2005). MapInfo Professional Versión 8.0.
- MINAG Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes Guantánamo (2001). Mapa de Suelos 1:25 000 digitalizado con todos sus Perfiles e información asociada.
- Sulroca, D. F. (2002). Los agropaisajes cañeros, sus rendimientos e implicaciones económicas. Dirección de Producción de Caña .MINAZ.11 pp.
- Pablos, P. (2009). Tesis para Optar por el Titulo de Doctor en Ciencias.
- Pineda, Emma (2002). Tesis para Optar por el Titulo de Doctor en Ciencias.

VARIABLES TECNOLÓGICAS EN NUDOS Y ENTRENUDOS DE TRES VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR (CTC 9, CTC 15 y CTC 16)

VARIABLES TECHNOLOGICAL NODES AND THREE VARIETIES OF SUGARCANE (CTC 9, CTC 15 AND CTC 16)

[1]luiz Carlos Tasso Junior; [2]hélio Francisco Da Silva Neto, [3]bruno Fernandes Modesto Homem, [4]marcos Omir Marques

[1] Bolsista CAPES - Pós-doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil;. E-mail: lctasso@yahoo.com.br
[2] Bolsista CNPq, Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil; e-mail: heliofsn@hotmail.com
[3] Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP - Brasil; e-mail: bruno.homem@hotmail.com
[4] Professor Dr. Adjunto III do Departamento de Tecnologia Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Jaboticabal, SP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n., 14.884-900 Jaboticabal, SP – Brasil. e-mail: omir@fcav.unesp.br

Resumen

La hipótesis que se formuló inicialmente fue que las variedades de caña de azúcar y las partes del tallo podrían presentar diferencias en la calidad del jugo. De esta manera este trabajo tuvo como objetivo analizar la calidad del jugo extraído de diferentes partes del tallo de la caña de azúcar. El experimento fue desarrollado en la FCAV/UNESP-Jaboticabal, SP. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo factorial 3x2, con cuatro repeticiones. Los tratamientos principales fueron las tres variedades de caña de azúcar (CTC9, CTC 15 Y CTC 16), y los tratamientos secundarios las dos partes del tallo (nudo y entrenudo). Con la ayuda de una sierra caladora los tallos fueron separados en nudo y entrenudo y después de la extracción del caldo, se realizó el análisis tecnológico. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza (test F). Cuando hubo diferencia significativa, las medias fueron comparadas por el test de Tukey al 5% de probabilidad del error. Las variedades presentaron diferencias en relación a los AR y a la pureza. El entrenudo obtuvo una mejor calidad de jugo presentando valores más altos para Brix, Pol y pureza e inferiores para AR, lo que nos permite inferir la necesidad de un mejor uso de esta parte del tallo de la caña. Por esta razón la hipótesis inicialmente formulada fue confirmada.

Palabras clave: azúcar, jugo de caña, variedades

Summary

The hypothesis initially formulated was that the cultivars of sugar cane stalk and the parties could present differences in the quality of the broth. Thus this work aimed to analyze the quality of the juice extracted from different parts of the stem of cane sugar. The experiment was conducted at FCAV / UNESP-Jaboticabal, SP. The experimental design was randomized blocks in factorial scheme 3x2, with four replications. The main

treatments were three varieties of cane sugar (9 CTC, and CTC 15 CTC 16), and the sub both sides of the stem (node and internode). With the aid of a chainsaw like "fret" the stems were separated and node and internode and after extraction of juice, there was the technological analysis. The results were subjected to analysis of variance (F test). When significance was found, means were compared by Tukey test at 5% probability. The cultivars showed differences in relation to RS and purity. The internode had a higher quality of juice, with higher value of Brix, Pol and purity and lower RS., which allows us to infer the need for a better use of this part of the stem of sugarcane. Thus the initially formulated hypothesis was confirmed.

Keywords: broth, fiber, purity.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Fernandes (2000), la materia prima de la caña de azúcar se define como el material que se entrega para la fabricación de azúcar y etanol en las industrias, que comprende los tallos más las impurezas y estas se llevan junto con los tallos durante la carga mecanizada o el corte por cosechadoras.
Podemos definir la calidad de la caña de azúcar a través de la materia prima de acuerdo con Fernandes (2000) donde definimos el potencial para la producción de azúcar y etanol a través de una serie de características intrínsecas de la propia planta, alterando de esta forma su manejo agrícola e industrial. En la extracción de su jugo algunos parámetros como Brix, Pol, Pureza, AR y ART son obtenidos, y por medio de estos podemos definir la relación de la calidad con la materia prima procesada en la fábrica, el pago de los productores y la productividad de azúcar y etanol visando una mejor producción de caña de azúcar.

Para que la caña este en el punto de ser comercializada es necesario seguir algunos parámetros. El Brix es uno de los parámetros más utilizados en la industria del azúcar y del etanol y debe cumplir con ciertas condiciones, como por ejemplo Fernandes (2000), recomienda que el jugo extraído debe tener como mínimo 18º Brix, por lo tanto 18% de sólidos solubles.

Los valores de Pol también se analizan y según Fernandes (2000) se define como el porcentaje aparente de sacarosa contenido en una solución de azúcar. De acuerdo con Deuber (1988) una caña de azúcar consigue madurar en el momento en que presente un nivel mínimo de sacarosa superior al 13%. Ya Ripoli y Ripoli (2004) utilizan como criterio de calidad el valor de Pol superior al 14%.

Los niveles de pureza o pureza total son el porcentaje de sacarosa que se encuentra en los sólidos solubles (Fernandes, 2000), y que la pureza inicial del jugo es esencial para el control en la producción de azúcar y alcohol, principalmente en factores que conllevan a una mejor eficiencia en el proceso y calidad del producto final. Cuanto mayor es la pureza mejor será el resultado de la muestra de acuerdo con Ripoli y Ripoli (2004), los valores deben tener como estándar de calidad un porcentaje de sacarosa y pureza por encima de 14 y 85 respectivamente.

Los azúcares reductores (AR) son productos precursores del color en el proceso industrial del azúcar, o sea, identifican el color del azúcar, empeorando su calidad (Fernandes, 2000). En estas condiciones una caña madura debe presentar niveles de AR inferiores al 0.8%, de acuerdo con Ripoli y Ripoli (2004).

La evaluación de la calidad de las piezas de la materia prima del tallo tiene diferentes comportamientos. Por concentrar las células de reserva el entrenudo posee mayor nivel de sacarosa y también menos fibra, diferente del nudo que posee una banda de raíces y por lo tanto un nivel mayor de fibras y estas son las responsables por el desgaste de los molinos para la extracción del jugo (Silva Neto et al., 2010).

En este sentido la hipótesis inicialmente formulada fue que las variedades de caña de azúcar y las partes del tallo pueden presentar diferencias en la calidad del jugo. De esta forma este trabajo tuvo como objetivo analizar la calidad del jugo extraído de diferentes partes del tallo de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue desarrollado en la hacienda de "Ensino e Pesquisa" de la FCAV/UNESP, ubicada en el municipio de Jaboticabal, São Paulo (SP), a una altitud promedio de 575 metros sobre el nivel del mar, con relieve caracterizado como suavemente ondulado. Su localización geográfica es definida como: latitud 21º 15' 22"S y longitud 48º 18' 58" WG. El clima es tropical con invierno seco, y clasificado de acuerdo con el Sistema Internacional de Clasificación de Köppen, como Aw. La precipitación anual tiene un promedio de 1425 mm, con una concentración de lluvias en el verano. El experimento se realizó en un Latosuelo Rojo Eutrófico, A moderado, textura arcillosa, relieve suavemente ondulado – Eutrustox (Embrapa, 1999)

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con un arreglo factorial 3x2, con cuatro repeticiones. Los tratamientos principales fueron las tres variedades de caña de azúcar (CTC 9, CTC 15 y CTC 16) y los tratamientos secundarios las dos partes del tallo (nudo y entrenudo). En el campo, el experimento era conformado por cuatro bloques. En cada bloque había tres parcelas que representaban las variedades de caña.

Las parcelas experimentales eran compuestas por 5 líneas de caña con 12 metros de largo, 1.5 metros de espacio entre ellas, totalizando 90 m^2, siendo considerada como superficie útil las 3 líneas centrales, descartando un metro en los extremos de cada fila, para un total de 45 m^2.

En cada parcela de cada bloque, con caña soca de 8 meses de edad a partir del tercer corte, se recogió un haz de caña que contenía 10 tallos industrializables, en secuencia fueron cortados, preparados y enviados al laboratorio de Tecnología de Azúcar y Etanol de la FCAV/UNESP. En el laboratorio los tallos fueron divididos en nudos y entrenudos. Con el auxilio de una sierra eléctrica calada. Después de la extracción del jugo de cada parte, se determinó el nivel de fibra, humedad, AR y ART de acuerdo con el método propuesto por el Consecana-SP (2006). Los valores de Pol fueron obtenidos por medio de cálculo siguiendo las recomendaciones de Consecana-SP (2006). El análisis estadístico fue realizado según la metodología propuesta por Pimentel – Gomes (2002). Los resultados encontrados fueron sometidos al análisis de varianza (teste F). Cuando hubo diferencia significativa, las medias fueron comparadas por el test de Tukey al 5% de probabilidad del error.

RESULTADOS E DISCUSIÓN

Los valores del análisis tecnológico realizado para las variedades y sus respectivas partes del tallo se encuentran en la tabla I. Las variedades CTC 9, CTC 15 y CTC 16 presentaron valores para el Brix de 21,16; 20,20 y 20,43 respectivamente, mostrando un resultado no significativo entre ellos, sin embargo estos valores fueron más altos que los determinados por Fernandes, (2000) que reporta un valor mínimo de 18º Brix, o sea 18% de sólidos solubles. Por el contrario los valores encontrados por Pauli et al (2010) fueron en promedio para la misma variedad CTC 9, 15,66% de Brix y el CTC 16 presentó un Brix de 14,33% demostrando valores más bajos.

Para los azucares reductores (AR) la variedad CTC 16 obtuvo el valor más alto (0,19) seguido por la CTC 15 y CTC 9 con 0,18 y 0,15 respectivamente. Por consiguiente todas obtuvieron valores por debajo de los relatados por Ripoli y Ripoli (2004) y también de aquellos encontrados por Raggghianti et al (2009), donde las variedades CTC 9 y CTC 16 mostraron valores de 1,00 y 2,00 respectivamente.

Con relación a los valores de Pol, no se observaron diferencias para las variedades CTC 9, CTC 15 y CTC 16 con 16,99; 17,59 y 17,27 respectivamente, lo que demostró valores superiores a los encontrados por Deuber (1988) y Ripoli y Ripoli (2004). La variedad CTC 16 y CTC 15 presentaron una pureza más alta, sin embargo solamente la CTC 16 presentó el valor superior al recomendado por Ripoli y Ripoli (2004).

Con relación a los resultados el nudo y el entrenudo fueron significativos para el Brix, Pol y Pureza, donde el entrenudo obtuvo resultados más elevados. Por el contrario, para los AR los valores del nudo fueron superiores a los del entrenudo.

Tabla I: Valores promedio y datos estadísticos de Brix, AR, Pol y Pureza obtenidos de las variedades de caña de azúcar y las partes del tallo en estudio.

Variedades (C)	**Brix**	**AR**	**Pol**	**Pureza**
CTC 9	21,16	0,15 b	16,99	80,08 b
CTC 15	20,20	0,18 ab	17,59	84,45 a
CTC 16	20,43	0,19 a	17,27	86,45 a
DMS (5%)	1,47	0,02	0,96	3,27
Test F	1,66^{NS}	8,43**	1,35^{NS}	14,13**
Partes (P)				
Nudo	19,55 b	0,21 a	15,00 b	76,83 b
Entrenudo	21,64 a	0,14 b	19,56 a	90,49 a
DMS (5%)	0,98	0,01	0,64	2,18
Test F	21,44**	104,62**	238,73**	186,36**
Estadística				
Test F (Int. CxP)	4,76*	0,93^{NS}	8,07**	0,019^{NS}
Promedio General	20,60	0,17	17,28	83,66
C V (%)	4,64	8,56	3,62	2,54

1 Comparaciones para cada uno de los factores estudiados en la línea vertical. Promedio seguido de letras diferentes son diferentes entre si por el test de Tukey con 5% de probabilidad. NS. ** y * - No significativo y significativo al 1% y 5% de probabilidad.

En el desdoblamiento entre las variedades de caña y parte de la planta para la evaluación del Brix (Tabla II), el entrenudo de las variedades CTC 9 y CTC 15 obtuvo un valor más alto en relación con el entrenudo. Para la variedad CTC 16 no hubo diferencia entre las partes del tallo. Cuando se compararon las variedades para una misma parte del tallo no hubo diferencia entre las variedades de caña.

Tabla II. Desdoblamiento del promedio del Brix de las diferentes partes de la planta para cada variedad.

Variedades/Partes	Nudo	Entrenudo	Test F

CTC 9	20,20 Ba	22,13 Aa	6,12*
CTC 15	18,26 Ba	22,13 Aa	24,49**
CTC 16	20,20 Aa	20,66 Aa	0,35^{NS}
Test F	4,08 ^{NS}	2,35 ^{NS}	

Letras mayúsculas comparaciones horizontales. Letras minúsculas comparaciones verticales. Promedios seguidos de letras diferentes varían entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error. NS, * y ** no significativo al nivel del 1% y 5% de probabilidad respectivamente.

En la interacción para los valores de Pol entre las variedades de caña y partes del tallo, el entrenudo demostró valores más altos para todos las variedades cuando este se comparó con el nudo. No hubo diferencias cuando se compararon las variedades de caña para el nudo, esto se observa en la tabla III.

Tabla III. Desdoblamiento del promedio de Pol de las diferentes partes de la planta para cada variedad.

Variedad/Partes	Nudo	Entrenudo	Test F
CTC 9	14,81Ba	19,17Ab	72,76**
CTC 15	14,53Ba	20,64Aa	142,49**
CTC 16	15,66Ba	18,88Ab	39,62**
Test F	2,61NS	6,81**	

Letras mayúsculas comparaciones horizontales. Letras minúsculas comparaciones verticales. Promedios seguidos de letras diferentes varian entre si por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error. NS, * y ** no significativo al nivel del 1% y 5% de probabilidad respectivamente.

CONCLUSIONES

Las variedades presentaron diferencias en relación a los AR y pureza. El entrenudo obtuvo mejor calidad de jugo, presentado valores más altos para Brix, Pol, Pureza y más bajos para AR, lo que nos permite inferir la necesidad de aprovechar de una mejor manera esta parte del tallo de la caña.

Por esta razón la hipótesis que se formuló inicialmente fue confirmada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONSECANA - Conselho Dos Produtores De Cana-De-Açúcar, Açúcar E Álcool Do Estado De São Paulo. **Manual de Instruções**. Piracicaba: Consecana , 2006. 112p.

Deuber, R. Maturação da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. In: Seminário De Tecnologia Da Copersucar, 1988. Piracicaba. *Anais.* Piracicaba: Copersucar, p. 33-40, 1988.

Embrapa – **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa. Produção de informação. Rio de Janeiro; Embrapa solos, 1999, 412p.

Fernandes, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana de açúcar**. Piracicaba, STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, p. 193, 2000.

Pauli, F.A.; Silva, J. D. R.; Silva Neto, H. F.; Tasso Junior, L. C.; Marques, M. O. Avaliação tecnológica em caldos de seis cultivares precoces de cana-de-açúcar, safra 2009/2010. In: Congresso de Iniciação Científica

da UNESP, 22., 2010, Jaboticabal. Anais Eletrônicos... Jaboticabal: UNESP, 2010. Disponível em: http://prope.unesp.br/xxii_cic/trabalhos_fase1.php Acesso em: 22 mar. 2011.

Pimentel-Gomes, F.; Garcia, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2002. 309p.

Ragghianti, K. C.; Silva Neto, H. F.; Tasso Junior, L.C.; Marques, M. O. Qualidade de cultivares de cana-de-açúcar para o meio de safra. In: Siicusp - Simpósio Internacional De Iniciação Científica da Usp, 17., 2009, Pirassununga. Anais eletrônicos... Pirassununga: USP, 2009. Disponível em: http://www.usp.br/siicusp/Resumos/17Siicusp/resumos/3187.pdf Acesso em: 02 março 2011.

Ripoli, T. C. C.; Ripoli, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p

Silva Neto, H. F. Tasso Junior, L. C.; Silva, J. D. R.; Marques, D. Marques, M. O. Nós e entrenós de cana de açúcar armazenados por 168 horas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 34, 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: Centro de Convenções de Vitória, 2010. 1 CD.

ESTUDIO DE VARIOS CULTIVARES DE CAÑA DE AZUCAR (SACCHARUM SPP. HÍBRIDO) BAJO CONDICIONES DE SEQUÍA EN DOS LOCALIDADES DE LA PROVINCIA HOLGUÍN.

ESTUDY OF SUGARCANE CULTIVARS (SACCHARUM SPP. HIBRID) UNDER CONDITIONS OF DROUGHT IN TWO PLACE AT HOLGUÍN.

Autores: Yulexi Mendoza Batista[1], Yaquelin Puchadez Izaguirre[2], Hector Cuello Torres[1], Rubisel Cruz Sarmiento[1].

1. Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar EPICA – Holguín. (INICA)
yulexi.mendoza@inicahl.azcuba.cu
2. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar ETICA-Oriente Sur. (INICA)
ypuchades@etica.ciges.inf.cu

Resumen:

El estudio se desarrolló en dos localidades de la provincia Holguín, con los objetivos de profundizar en los aspectos relacionados con el comportamiento de la caña de azúcar en condiciones de estrés por sequía, evaluar la respuesta de un grupo de variedades y definir las de mejor comportamiento agroindustrial y fitopatológico para cada localidad en estudio. Para ello, se establecieron experimentos de campo, en los cuales se plantaron 10 cultivares en un diseño de Bloques al Azar con tres repeticiones en parcelas de 48m^2, y se le efectuaron tres cosechas: caña planta, primer retoño y segundo retoño, se evaluó el comportamiento fitopatológico ante la roya y el carbón en condiciones naturales y las variables de cosecha: ton caña / há, % pol caña y ton pol / há; se realizaron análisis de varianza y comparación múltiple de medias cuando las diferencias fueron significativas, además se efectuaron análisis multivariados (modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI)). Los resultados del análisis de varianza factorial, donde se incluyeron las fuentes de variación que abarcaron todos los ambientes estudiados (localidades y cepas), indicaron diferencias significativas en la interacción genotipo-ambiente ($p<0,05$) para todas las variables de cosecha evaluadas. Por su comportamiento integral se recomienda incrementar en Urbano Noris los cultivares C86-156 y C90-317 y en Cristino Naranjo los cultivares C90-317 y B78505. Los cultivares más estables en ambos ambientes son: C90-317, C86-503 y B78505 para las t caña/ha; C88-380, C86-156 y B78505 para el porcentaje de pol y C89-176 y C86-503 para las t pol/ha.

Palabras claves: caña de azúcar, rendimiento, cultivares, sequía.

Abstract:
The study was developed in two places of Holguín, with the objectives of deepening in the aspects related with the behavior of the sugar cane under conditions of drought stress, to evaluate the answer of a group of varieties and to define those of better agronomic and phytopathologic behavior for each place in study. For it, field experiments settled down, in which 10 cultivars was planted at a design of Random Blocks with three repetitions in parcels of 48m^2, and were made three crops: cane plant, first sprout and second sprout, the phytopathologic behavior was

evaluated before the rust and coal in natural conditions and the crop variables: ton cane / ha, % pol cane and ton pol / ha; were carried out variance analysis and multiple comparison of mean when the differences were significant, analysis multivariate was also made (AMMI). The results of the analysis of factorial variance, where the variation sources were included that embraced all the studied environment (places and stumps), they indicated significant differences in the interaction genotype-environment ($p < 0,05$) for all the evaluated crop variables. For their integral behavior it is recommended to increase in Urbano Noris the cultivars C86-156 and C90-317 and in Cristino Naranjo the cultivars C90-317 and B78505. The most stable cultivars in both environments are: C90-317, C86-503 and B78505 for the t cane/ha; C88-380, C86-156 and B78505 for the pol percentage and C89-176 and C86-503 for the t pol/ha.

Key words: sugar cane, yield, cultivars, drought.

Introducción

En Cuba, el cultivo de la caña de azúcar continúa siendo uno de los principales productos agrícolas e industriales y es fuente importante de nuestras riquezas. (García 2004).
En los últimos años se comienza a materializar los resultados esperados del proceso de perfeccionamiento del sector azucarero; se detuvo el decrecimiento de la producción de azúcar y se muestran signos alentadores de recuperación de los niveles requeridos (Castro, 2011).
En ese contexto, según García (2007) una de las vías más prácticas y económicas se encuentra en la obtención de genotipos con elevado contenido azucarero y adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del país, mediante el desarrollo de programas de mejoramiento genético.
Las variedades de caña de azúcar se comportan de manera diferente en distintas condiciones de suelo, clima y manejo agronómico. El efecto fisiológico de la sequía sobre las plantaciones involucra una serie de procesos metabólicos que en la mayoría de los casos se refleja en una disminución del rendimiento del cultivo (Hernández y Amaya, 2002; citado por Miguelina Marcano y otros, 2005).
El estrés hídrico es una de las causas más importante de disminución de la productividad de las plantas (Du *y otros*, 1996, Cruz *y otros, 2*000).
Se considera que la caña de azúcar tiene altos requerimientos de agua (1500-2500 mm anuales) y cuando esta es insuficiente, se afectan la fotosíntesis y otros procesos vitales, ocasionando una disminución en el rendimiento; al respecto, Fonseca (1984) y Viqueira (1995) señalan que las necesidades de agua de la caña de azúcar deben considerarse de acuerdo con la etapa de desarrollo, siendo mayores durante el periodo de auge de crecimiento.
Villegas y Benítez (2003), señalan que como resultados del proceso de evaluación de tierras del Ministerio del Azúcar, los suelos aptos pueden en un 30.3% presentar estrés por sequía a causa de su excesivo drenaje.
Además, sólo el 3.7% del área agrícola dedicada a caña se encuentra bajo riego y los rendimientos agrícolas que se obtienen en áreas de secano no supera el 60% de su potencial (MINAZ, 2009).
Ante tales limitaciones, una de las soluciones más práctica y económica, lo constituye la obtención de genotipos con cierto grado de tolerancia, mediante el desarrollo de programas de mejoramiento genético. Sin embargo, las difíciles circunstancias enfrentadas por la agroindustria azucarera en Cuba durante los últimos años, motivaron un reordenamiento de las investigaciones y los sitios de pruebas de nuevos cultivares, lo que provocó poca correspondencia entre los ambientes de selección genética y los ambientes de destino de los cultivares (García, 2007).
Durante los últimos años, el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar ha recomendado un grupo numeroso de variedades, las cuales han tenido un comportamiento

satisfactorio en las respectivas provincias donde se han evaluado. No obstante, existen un grupo de variedades comerciales de caña de azúcar que se desconoce su comportamiento bajo las condiciones de sequía predominantes en localidades de la provincia Holguín.

Materiales y Métodos.

Sitio experimental y material vegetal.

Los experimentos se plantaron en dos localidades de la provincia Holguín, donde se emplearon 10 cultivares de Caña de Azúcar replicados en ambas localidades, los cultivares empleados se muestran en la Tabla I. Se utilizó el cultivar C86-12 como testigo tolerante al estrés por déficit hídrico. Ya que es el más extendido en áreas comerciales de la provincia Holguín, con amplia adaptación a diferentes ambientes (INICA-MINAZ, 2010). Las localidades y los tipos de suelos (Hernández y otros., 1999) se presentan en la Tabla II. Los estudios se desarrollaron en el período comprendido entre junio 2006 y marzo 2010. Se utilizaron las informaciones existentes de precipitaciones de las redes pluviométricas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y del Grupo Azucarero AZCUBA.

Tabla I: Cultivares de Caña de Azúcar empleados en el estudio.

C 86-503	C 88-380	B78505	C 90-317	C 90-469
C 86-156	C 89-176	C 89-161	C 90-647	**C 86-12 (Testigo)**

Tabla II: Localidades y tipos de suelos utilizados en el estudio.

No.	Localidad	Abreviatura	Tipo de suelo
1	Urbano Noris	UN	Vertisol Crómico
2	Cristino Naranjo	CN	Vertisol Pélico

Diseño experimental y caracteres evaluados.

Se plantó un experimento de campo en cada localidad en junio 2006. Se utilizó un diseño experimental de Bloques al Azar con tres repeticiones, con parcelas de 48$m^{2.}$

Las evaluaciones se realizaron en las cepas de caña planta (febrero 2008), primer retoño (marzo 2009) y segundo retoño (marzo 2010) a los 20, 13 y 12 meses de edad respectivamente.

Las cosechas se realizaron por estimación (en febrero las de caña planta y en marzo las de retoño). Las variables de cosecha estudiadas fueron: t caña/ha, porcentaje de pol en caña y t pol/ha.

También se evaluó el comportamiento fitopatológico ante la roya y el carbón en condiciones naturales.

Todos los experimentos fueron conducidos y evaluados, según está estipulado en las Normas y Procedimientos para el Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba (Jorge y otros, 2002).

Los datos originales de las variables de cosecha, fueron evaluados respecto a su normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chí cuadrado y Bartlett-Box F. En ningún caso fue necesaria su transformación.

Se realizaron análisis de varianza de clasificación doble para conocer la influencia en la varianza genética de los factores ambientales y sus interacciones. Con la información proveniente de las variables de cosecha, obtenidas de las evaluaciones realizadas a todos los cultivares en cada

localidad, se realizó un análisis de varianza factorial individual de efectos fijos, tomando como factores los cultivares y las cepas. Asimismo, se utilizaron las dócimas de Tukey (p=0,05) para la comparación múltiple de medias.
Además se realizó un análisis de interacción genotipo-ambiente y de estabilidad fenotípica con el objetivo de determinar la consistencia o estabilidad de los resultados de los genotipos con los datos de las variables de cosecha a través del modelo AMMI. Para ilustrar los resultados del modelo AMMI fue elaborado un gráfico bidimensional (*biplot*) con los efectos principales de genotipos, localidades y cepas; y la media general (eje de las abscisas) y el primer componente del modelo AMMI (eje de las ordenadas).

Resultados y Discusión

Análisis conjunto de las localidades.

En la tabla III se presentan los resultados del análisis de varianza factorial, donde se incluyeron las fuentes de variación que abarcaron todos los ambientes estudiados (localidades y cepas), los cuales indicaron diferencias significativas en la interacción genotipo-ambiente (p<0,05) para todas las variables de cosecha evaluadas, es decir, para el porcentaje de pol en caña, caña ton/ha y pol ton**/**ha. En las tres variables, tanto el efecto de los factores simples (cultivares, localidades y cepas) como el de las interacciones de primer y segundo orden resultaron significativas (excepto las interacciones cultivares x cepas y localidades x cepas en la variable % pol caña); es comprensible que resulte de mayor interés la interacción cultivar x localidad x cepa; los resultados mencionados nos indican que el patrón de comportamiento de los cultivares difiere en las dos localidades y en las tres cepas estudiadas. Las t caña **/** há presentaron un patrón similar a las t pol **/** há, coincidiendo con los resultados reportados por Bernal (1986).
Tabla III: Resultados del análisis de varianza.

Fuentes de variación	GL	% Pol Caña				Caña ton/ha				Pol ton/ha			
		SC	CM	F	p	SC	CM	F	p	SC	CM	F	p
Cultivares	9	16.31	1.81	4.6	0.00	11519.9	1280.0	7.14	0.00	360.64	40.07	6.74	0.00
Localidades	1	30.97	30.97	78.7	0.00	11044.7	11044.7	61.62	0.00	227.52	227.52	38.28	0.00
Cepa	2	180.0	90.02	228.7	0.00	77180.9	38590.5	215.31	0.00	1679.11	839.55	141.2	0.00
Réplica	2	0.11	0.05	0.1	0.87	813.0	406.5	2.27	0.10	34.04	17.02	2.86	0.06
Cultivar * Loc	9	16.16	1.80	4.6	0.00	4739.1	526.6	2.94	0.00	164.83	18.31	3.08	0.00
Cultivar * Cepa	18	10.80	0.60	1.5	0.09	6806.3	378.1	2.11	0.00	254.73	14.15	2.38	0.00
Loc * Cepa	2	1.23	0.61	1.6	0.21	3752.8	1876.4	10.47	0.00	94.38	47.19	7.94	0.00
Cult * Loc * Cepa	18	12.10	0.67	1.7	0.04	9065.7	503.6	2.81	0.00	264.48	14.69	2.47	0.00
Error	118	46.44	0.39			21149.7	179.2			701.33	5.94		
C.V.		3,65				21.86				19.71			

p<0.05

Leyenda: GL-Grados de Libertad SC-Suma de cuadrados CM-Cuadrados medio

La significación de las interacciones de primer y segundo orden de los genotipos con el ambiente pone de manifiesto la capacidad discriminatoria de localidades y cepas. De esta forma los mayores avances en la selección podrían lograrse, cuando sea aprovechado eficientemente el efecto que produce la replicación de los trabajos de selección en tiempo y espacio (Rodríguez, 2012).
Los resultados antes expuestos justifican la búsqueda de variedades de adaptación específica para cada uno de los ambientes. En este sentido reviste gran importancia la replicación de los

ensayos en más de una localidad y cosecha, como también lo indicaron Bernal (1986); López (1986); Milanés (1988); Castro (1991); González (1995) y García (2004[a]).
Para determinar la estabilidad de los cultivares en cada variable analizada se aplicó el modelo AMMI. Los resultados en las tres cosechas y en las dos localidades se visualizaron en un gráfico bidimensional que precisa la consistencia de la respuesta agroproductiva de los cultivares en el tiempo, y ayuda en la toma de decisiones para la recomendación de un genotipo cuando es replicado en tiempo y espacio (Gauch, 2006).
Se determinó la estabilidad de los cultivares en las tres cosechas en ambas localidades para el rendimiento agrícola (figura 1), se puede apreciar que los cultivares que resultaron estables para los dos ambientes, en las tres cepas y de alto rendimiento agrícola por encima de la media fueron C86-12, C90-317, C86-503 y B78505. La C89-161 y C90-647 también resultaron estables pero con rendimiento agrícola inferior a la media.

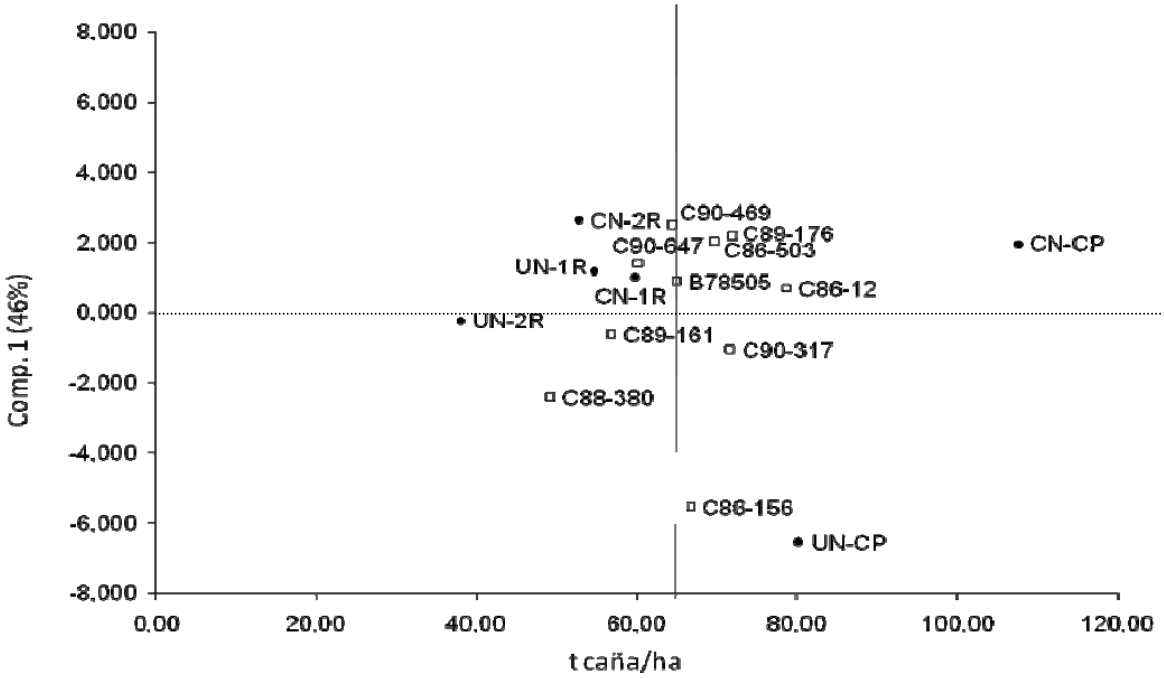


Figura 1: Representación bidimensional de los efectos principales y marcadores de genotipos, localidades y cepas del modelo $AMMI_1$ para t caña/ha.

En la figura 2 se muestra como se comportó la estabilidad de los fenotipos en ambos ambientes para el % pol en caña, los cultivares más estables para los dos ambientes y que tuvieron valores por encima de la media fueron: C88-380, C86-12, C86-156 y B78505, el cultivar C89-176 también se mostró estable pero con valores inferiores a la media.

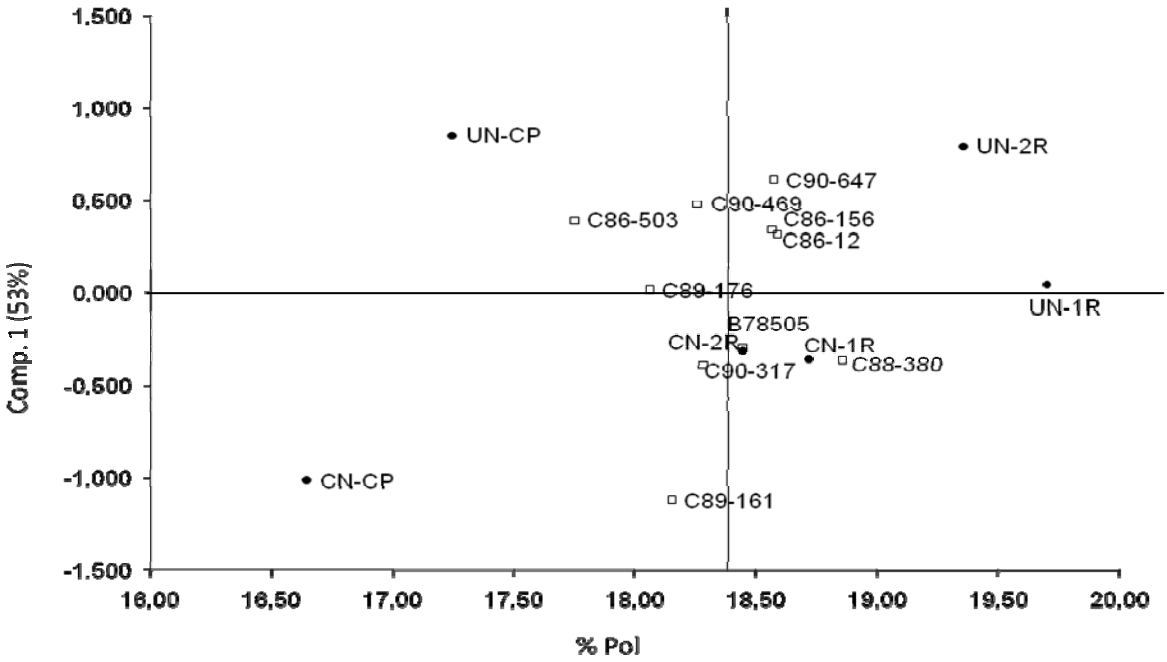


Figura 2: Representación bidimensional de los efectos principales y marcadores de genotipos, localidades y cepas del modelo $AMMI_1$ para % pol en caña.

En la representación biplot se muestra como se comportó la estabilidad de los cultivares en los ambientes para las t pol/ha (figura 3), se observa que los cultivares más estables para esta variable fueron C90-317, C86-12 y C86-503. Los cultivares C90-647 y C89-161 son estables con valores inferiores a la media.

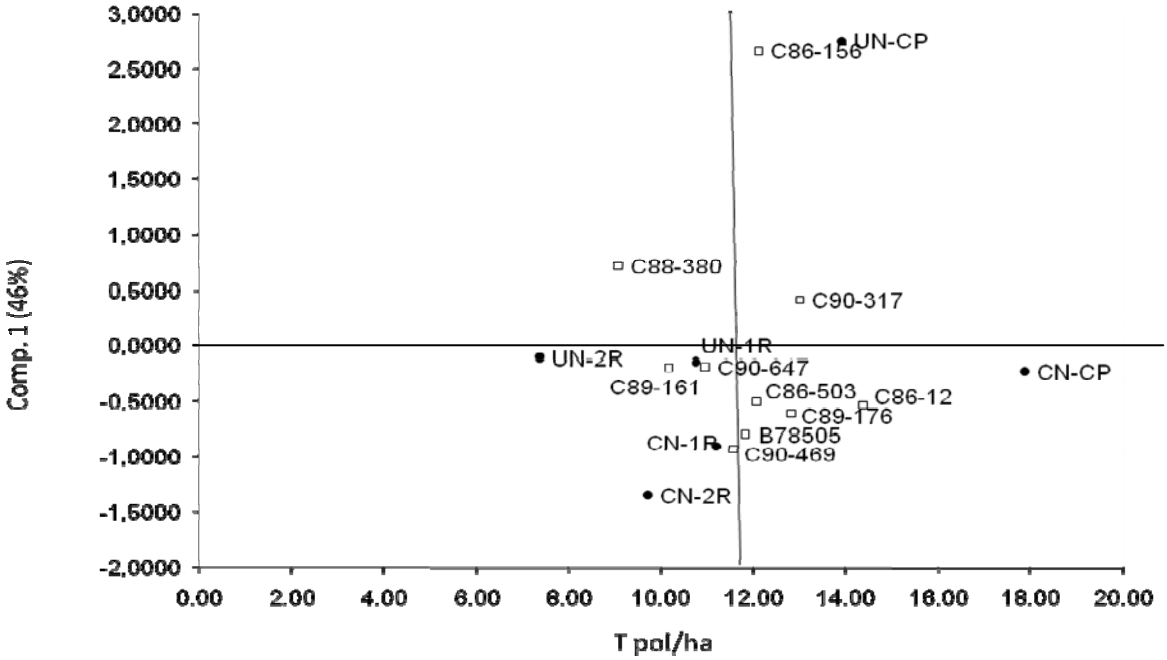


Figura 3: Representación bidimensional de los efectos principales y marcadores de genotipos, localidades y cepas del modelo $AMMI_1$ para t pol/ha.

El cuadro fitopatológico más desfavorable corresponde a los cultivares C86-503, C88-380 y C90-647, pues resultaron ser susceptibles al carbón en condiciones naturales, ningún cultivar presentó síntomas de roya en condiciones naturales.

En el contexto específico de las localidades Urbano Noris y Cristino Naranjo, resulta muy importante que determinadas variedades se comporten favorablemente, pues estas zonas geográficas se caracterizan por presentar lluvias insuficientes y generalmente mal distribuidas, tal y como se aprecia en las figuras 4 y 5.

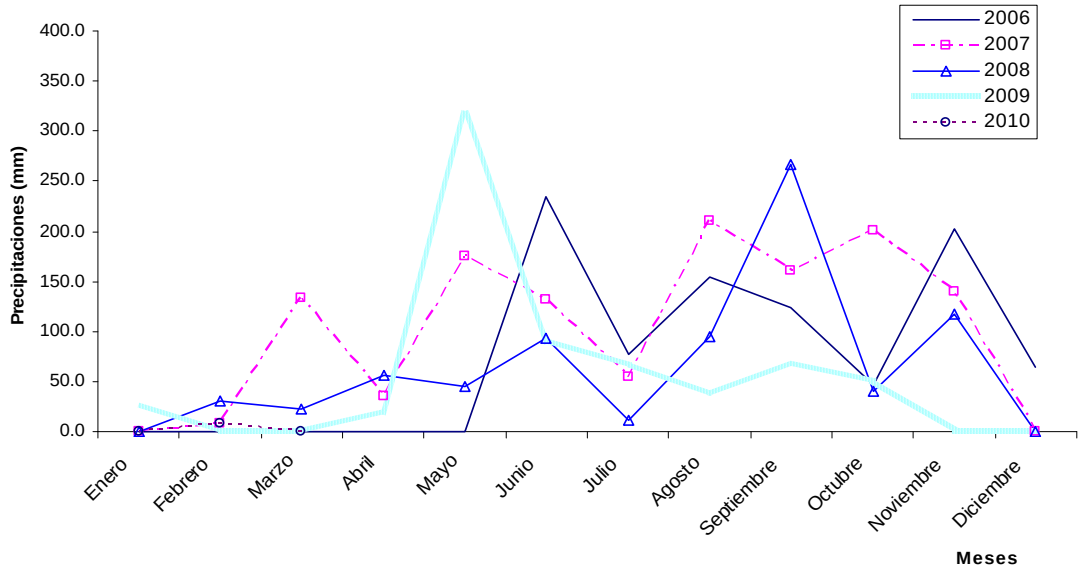


Figura 4: Comportamiento de las lluvias en UN en el período estudiado.

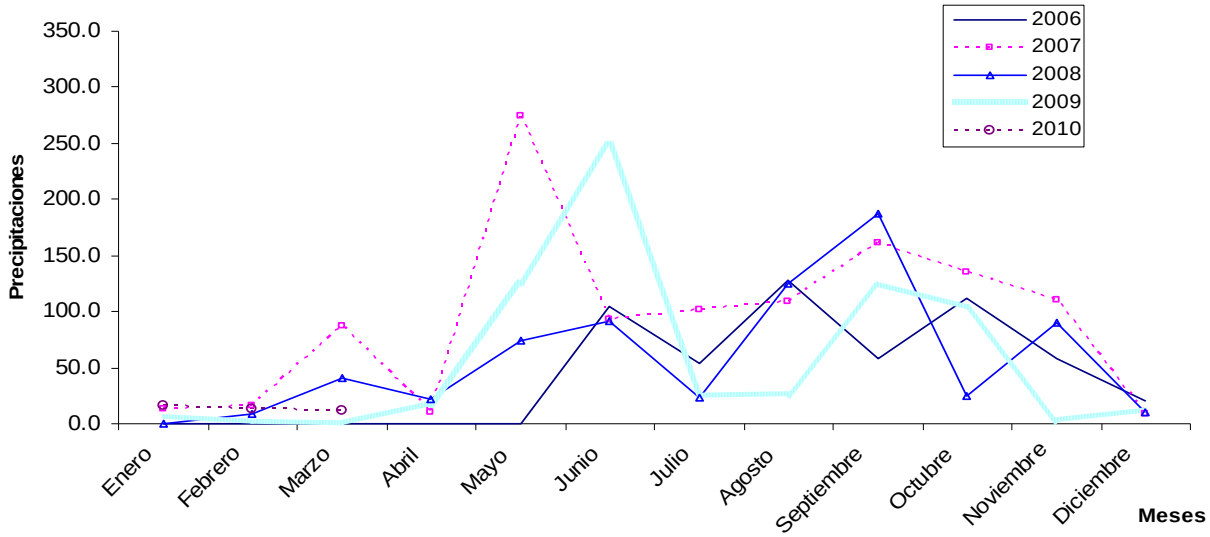


Figura 5: Comportamiento de las lluvias en CN en el período estudiado.

En las figuras 6 y 7 se muestra el comportamiento de las precipitaciones en la década del 2000 en las localidades Urbano Noris y Cristino Naranjo respectivamente, se puede observar que en ninguno de estos años las precipitaciones estuvieron por encima de los 1500 mm, cifra que señalan algunos autores Fonseca, (1984); Hernández (2007); como necesidad hídrica de la caña de azúcar.

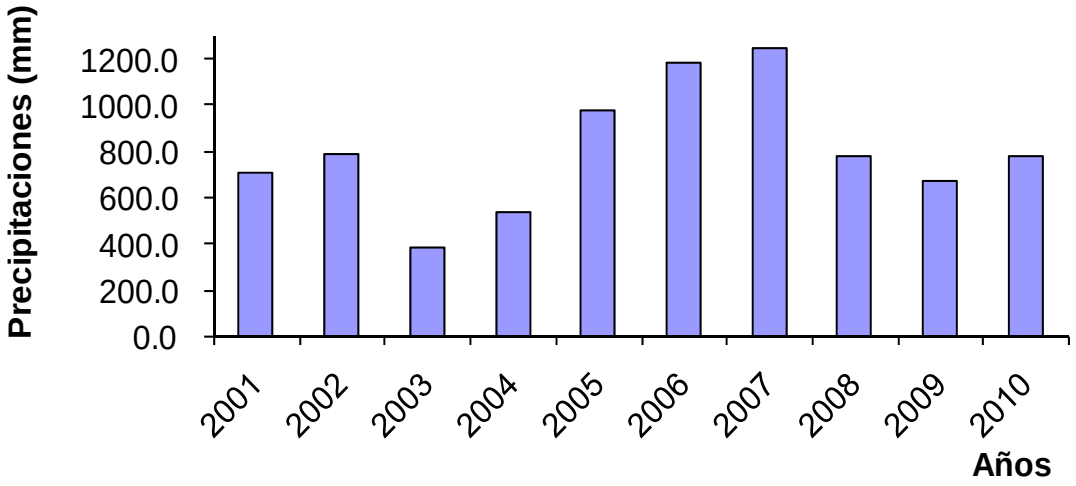


Figura 6: Comportamiento de las precipitaciones caídas en UN en la década del 2000.

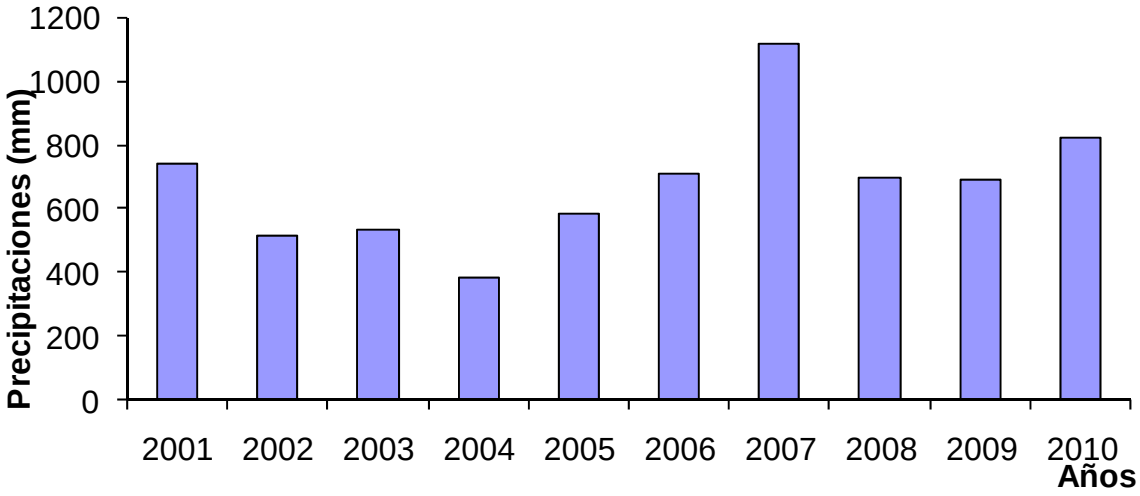


Figura 7: Comportamiento de las precipitaciones caídas en CN en la década del 2000.

Análisis por localidades independientes.

En las tablas IV y V se muestran los resultados de los análisis de varianza de las tres variables evaluadas, en las localidades "Urbano Noris" y "Cristino Naranjo", respectivamente. Se observa que en las dos localidades, hubo diferencias significativas entre los cultivares respecto a las tres variables analizadas; así como entre cepas, no resultando así para el caso de la interacción cultivar * cepa que en el caso de Urbano Noris no mostró diferencias significativas para la variable % Pol en caña y en la localidad Cristino Naranjo dicha interacción solo fue significativa para la variable ton de caña/ha. No obstante, coincidiendo con lo planteado por Rodríguez (2012), se puede decir que estos resultados reafirman la existencia de interacciones de los genotipos con el ambiente.

Tabla IV: Resultados del ANOVA para la localidad Urbano Noris.

Localidad: Urbano Noris										
Fuentes de Variación		**% Pol en Caña**			**Caña ton/ha**			**Pol ton/ha**		
	GL	**SC**	**CM**	**p**	**SC**	**CM**	**p**	**SC**	**CM**	**p**
Cultivares	9	16.30	1.81	***	7052.0	783.6	***	267.19	29.69	***
Cepa	2	105.47	52.74	***	27258.2	13629.1	***	637.57	318.78	***
Cult * Cepa	18	13.65	0.76	N.S	8845.6	491.4	***	319.55	17.75	***
Error	58	26.22	0.45		8969.3	154.6		317.58	5.48	

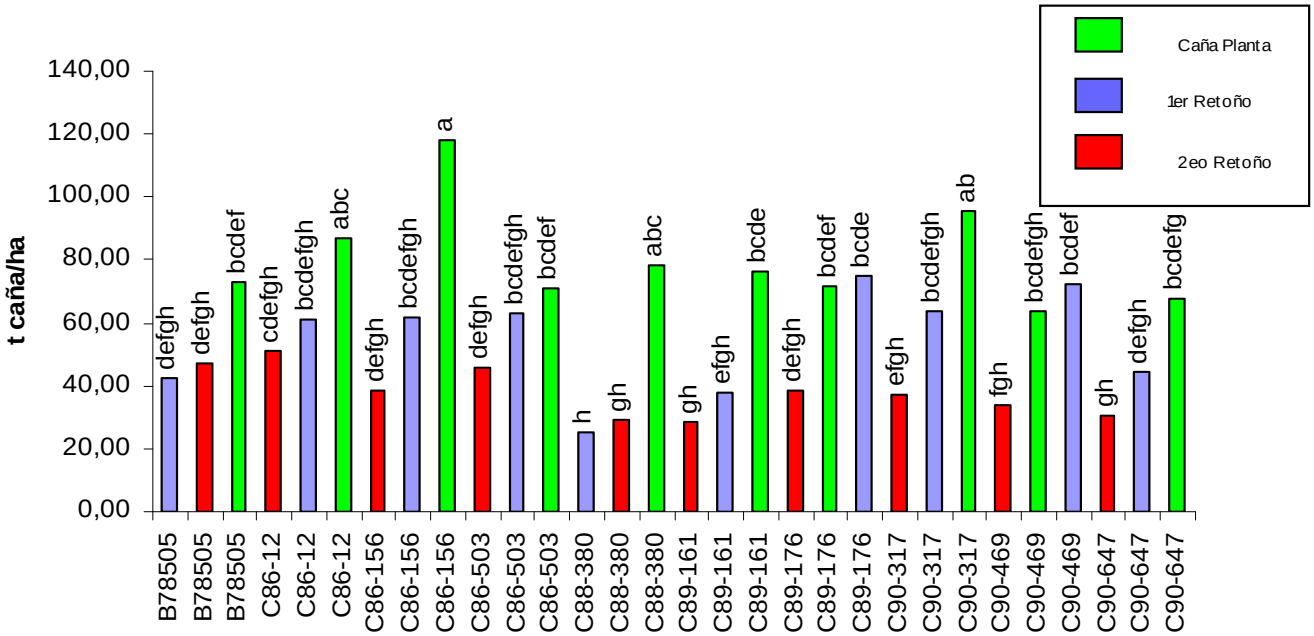
p<0.05

Tabla V: Resultados del ANOVA para la localidad Cristino Naranjo.

Localidad: Cristino Naranjo										
Fuentes de Variación		**% Pol en Caña**			**Caña ton/ha**			**Pol ton/ha**		
	GL	**SC**	**CM**	**p**	**SC**	**CM**	**p**	**SC**	**CM**	**p**
Cultivares	9	16.16	1.80	***	9207.0	1023.0	***	258.29	28.70	***
Cepa	2	75.79	37.89	***	53675.4	26837.7	***	1135.92	567.96	***
Cult * Cepa	18	9.25	0.51	N.S	7026.3	390.4	**	199.66	11.09	N.S
Error	58	20.04	0.35		12171.0	209.8		383.12	6.61	

p<0.05

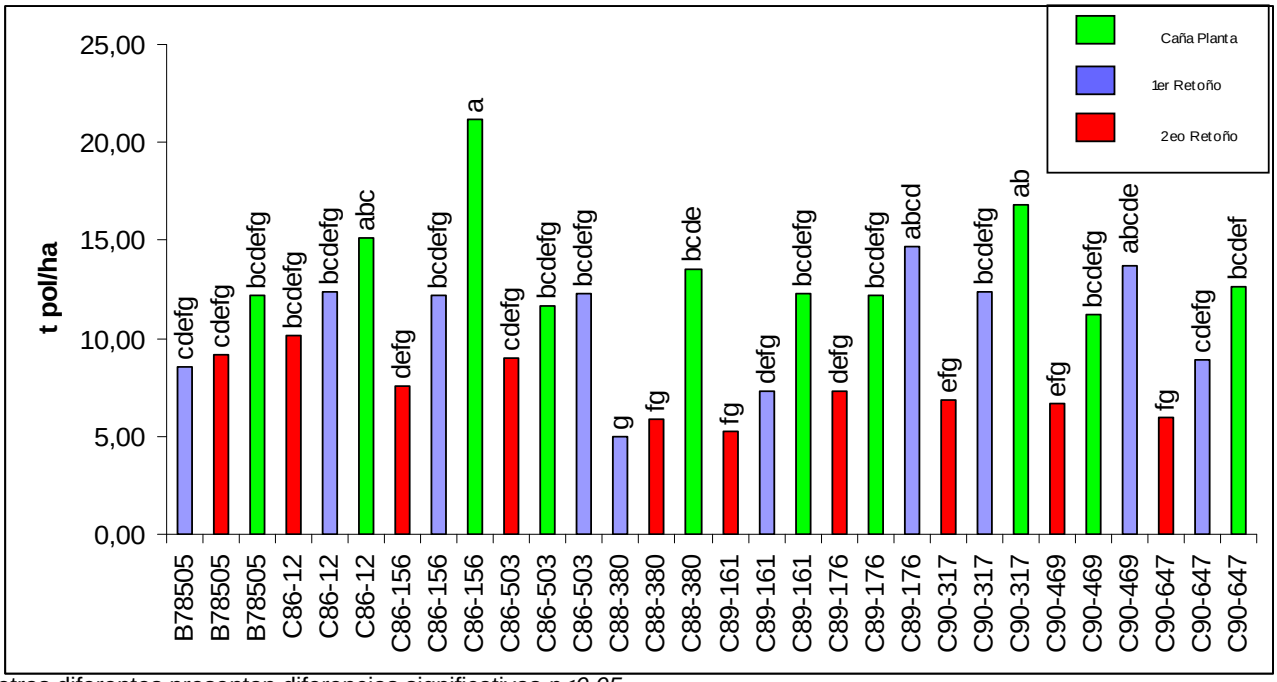
Los resultados de la comparación múltiple de media a la interacción cultivar * cepa para las ton caña/ha de la localidad Urbano Noris (Figura 8), indican que el mayor rendimiento agrícola lo alcanza el cultivar C86-156 en la cepa de Caña Planta sin diferencias significativas con los cultivares C90-317, C 86-12 y C 88-380 todos en la cepa Planta y supera de forma significativa al resto de los cultivares, sin embargo el cultivar C88-380 en cepa 1er y 2do Retoño resultó ser el de menor rendimiento, coincidiendo con Rodríguez (2012), cuando plantea que el cultivar C88-380 presentó buenos resultados en la cepa de caña planta, no comportándose así en la siguiente cosecha.



Letras diferentes presentan diferencias significativas *p<0.05*

Figura 8: Comparación múltiple de medias de la interacción cultivar x cepa en la localidad Urbano Noris para la variable ton caña/ha.

La figura 9 muestra los resultados de la comparación múltiple de media de la interacción cultivar x cepa en la localidad Urbano Noris para ton pol/ha, los mejores resultados se alcanzaron con los cultivares C86-156 y C90-317 en la cepa de caña planta comportándose de manera similar al testigo C 86-12 en la cepa Planta, los cultivares C89-176 y C 90-469 en la cepa 1 Retoño tampoco mostraron diferencias significativas con el testigo, los resultados más bajos se alcanzaron con el cultivar C88-380 en la cepa 1 Retoño.



Letras diferentes presentan diferencias significativas *p<0.05*

Figura 9: Comparación múltiple de medias de la interacción cultivar x cepa en la localidad Urbano Noris para la variable ton pol/ha.

En la figura 10 se muestra el comportamiento de los cultivares en la localidad Urbano Noris en la variable % Pol en Caña, los mejores resultados corresponden a los cultivares C90-647, C88-380 y C86-156 que se comportaron de manera similar al testigo (C86-12), los valores mas bajos corresponden al cultivar C89-161.

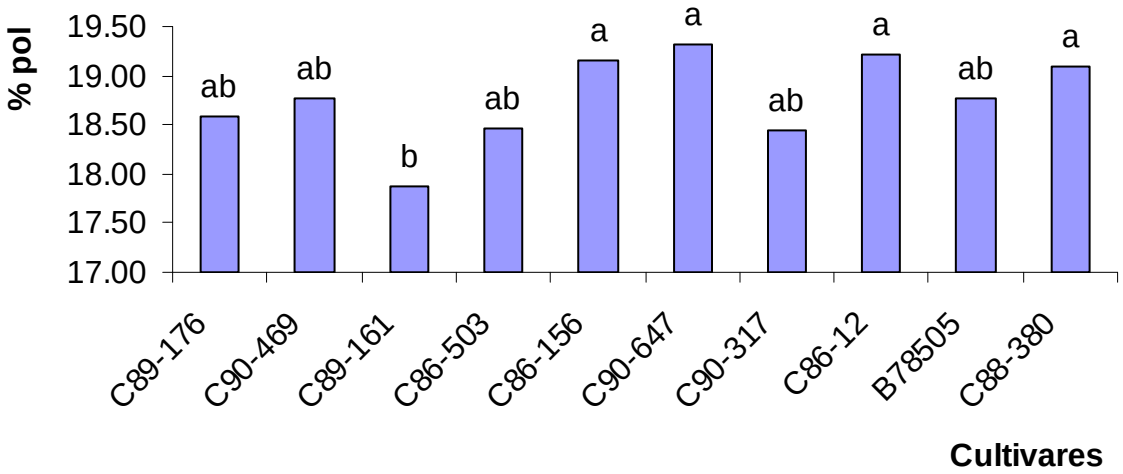
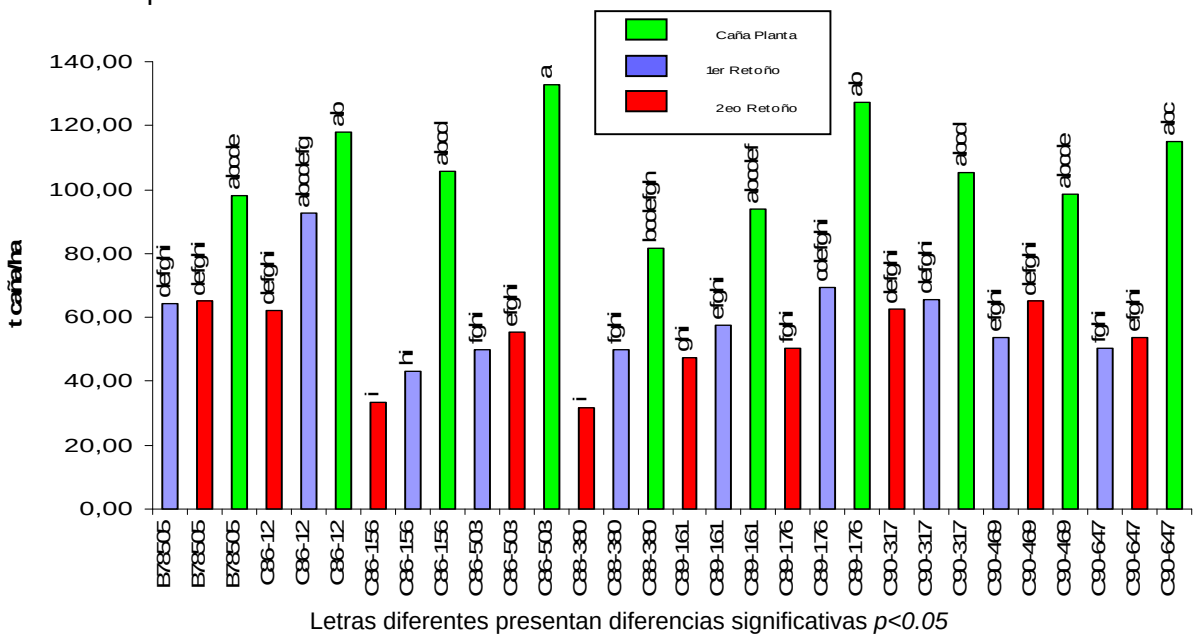


Figura 10: Comportamiento de los cultivares en % Pol en Caña en Urbano Noris.

La interacción cultivar * cepa en la localidad Cristino Naranjo mostró diferencias significativas solamente para la variable ton caña/ha a la cual se le realizó una prueba de comparación múltiple de medias (Figura 11), destacándose que el cultivar con mejores resultados fue C86-503 en la cepa Planta, se puede observar que los mejores resultados corresponde a la cepa de Planta ya

que dicha variedad no tuvo diferencias significativas con los cultivares C89-176, C86-12, C90-647, C86-156, C90-317, C90-469 y B78505 todos en la cepa Planta, dicho comportamiento se explica coincidiendo con lo planteado por García (2009), por las características propias de cada una de dichas cepas y por la diferencia de edad (20 meses en caña planta, 13 meses en 1er Retoño y 12 meses en 2do Retoño); los rendimientos más bajos los obtuvieron los cultivares C88-380 y C 86-156 en la cepa de 2do Retoño.



Letras diferentes presentan diferencias significativas *p<0.05*

Figura 11: Comparación múltiple de medias de la interacción cultivar x cepa en la localidad Cristino Naranjo para la variable ton caña/ha.

En la figura 12 se muestran las medias de los porcentajes de pol en caña de los cultivares en la localidad Cristino Naranjo acompañadas de los resultados de la prueba de Tukey de comparación de medias. Al comparar los cultivares se observa que los mejores resultados corresponden a C88-380 seguido de C89-161, B78505, C90-317 y C86-156 con valores superiores al testigo, pero sin diferencias significativas entre ellos. Mendoza y otros. (2010); también reportaron el cultivar C89-161 con alto porcentaje de pol bajo condiciones de estrés por sequía. El cultivar C86-503 presentó e valor más bajo de porcentaje de pol en caña en esta localidad.

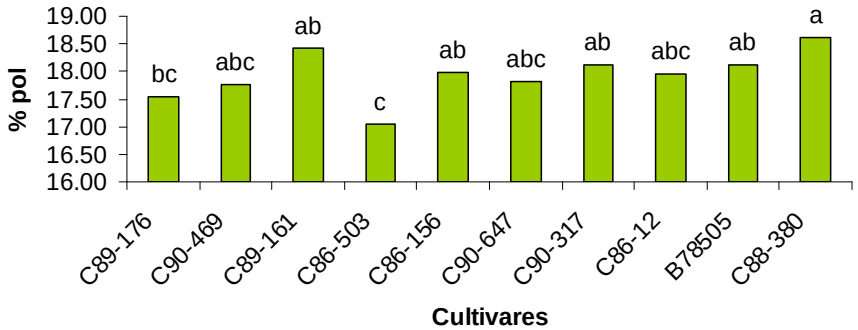


Figura 12: Comportamiento de los cultivares en % Pol en Caña en la localidad Cristino Naranjo.

En la figura 13 se muestran las medias de las ton pol/ha de los cultivares en la localidad Cristino Naranjo y los resultados de la comparación múltiple de medias, el mejor comportamiento lo obtuvieron los cultivares C86-12, C90-317 y C89-176 sin diferencias significativas entre ellos, y superando de manera significativa al cultivar C88-380.

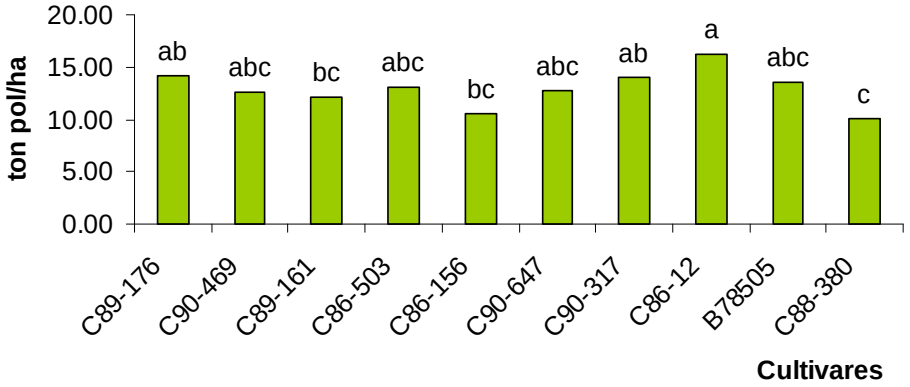


Figura 13: Comportamiento de los cultivares en ton pol/ha en la localidad Cristino Naranjo.

Conclusiones:

- El estudio posibilitó obtener conocimientos e información sobre el comportamiento de variedades de caña de azúcar en condiciones de sequía.
- En las dos localidades existió diferencias significativas entre los cultivares para las tres variables de cosecha evaluadas.
- Se determinaron los cultivares de mejor adaptación a cada localidad en cuanto a producción de caña y contenido azucarero.
- Se comprobó la estabilidad fenotípica de los cultivares en ambos ambientes, resultando más estables los cultivares: C90-317, C86-503 y B78505 para las t caña/ha; C88-380, C86-156 y B78505 para el porcentaje de pol en caña y C90-317 y C86-503 para las t pol/ha.
- Los cultivares C86-503, C88-380 y C90-647, resultaron ser susceptibles al carbón en condiciones naturales.

Recomendaciones:

- ✓ Se recomienda incrementar en Urbano Noris los cultivares C86-156 y C90-317.
- ✓ Se recomienda incrementar en Cristino Naranjo los cultivares C90-317 y B78505.
- ✓ Realizar estudios de este tipo en otras localidades para poder recomendar cultivares que demuestren mejor adaptación a las condiciones específicas de cada ambiente.

Bibliografía

1. Bernal, N. A. (1986). Clasificación de ambientes en las provincias de Holguín, Las Tunas y Granma en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar. Tesis en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA.106 p.
2. Castro, R. (2011). Continuaremos haciendo realidad todo lo acordado. Granma (CU), diciembre 2:2.
3. 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. INICA. pp 94.
4. Cruz, S. R. y otros. (2000). Obtención de variedades de caña de azúcar tolerante a condiciones de estress hidro-salino. Informe final del proyecto, 45 pp.
5. Du, Y. C. y otros. (1996). Effects of water stress on carbon exchange rate and activities of photosynthetie enggmes in leavs of sugarcane (Saccharum sp.). Aust. J. Plant Physiol. (23): 719-726.
6. Fonseca, J. (1984). Necesidades de agua de la caña de azúcar plantada en diferentes épocas de siembra en el occidente de Cuba. Tesis presentada en Opción al Grado de Dr. en Ciencias. 241 p.
7. García, H. (2004). Estudio de poblaciones clonales y genotipos de caña de azúcar (Saccharum spp.) en diferentes condiciones de estrés ambiental. 137pp. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA, MINAZ
8. García, H. (2004[a]). 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.
9. García, H. (2007). Fitomejoramiento Participativo en caña de azúcar, complementación necesaria de la mejora convencional. Propuesta de Proyecto de Investigación. La Habana, ETICA Villa Clara – Cienfuegos. INICA. Ministerio del Azúcar, 30 p.
10. García, P. (2009). Evaluación de Variedades de caña de azúcar (Saccharum spp) en condiciones de sequía. Tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo. p. 13.
11. Gauch, H.G., (2006). Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. Crop Sci. 46:1488–1500.
12. 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. INICA. 120 pp.
13. Hernández, E. y Amaya L. (2002). Respuesta de cuatro variedades de caña de azúcar (saccharum sp) a condiciones de sequía, mediante la determinación de la salida de electrolitos. Caña de Azúcar 20(2):3-16. Disponible en: http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/ canadeazucar /cana2002/arti/hernandez_e.htm [Consulta: Mayo 20 2009].
14. Hernández, A; Pérez, J.M; Bosch, D. y Rivero, L. (1999). Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. La Habana. AGRINFOR, 64 p.
15. Hernández, I. A. (2007). Requerimientos hídricos para la caña de azúcar en las condiciones de bajo nivel pluviométrico. Cuba&Caña. No. p.3-11.
16. INICA-MINAZ. (2010). Reunión Nacional de Variedades, Semilla y Sanidad Vegetal. Ministerio del Azúcar. Sancti Spíritus. 136pp.
17. 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.
18. 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 Avila. Tesis en opción al grado de Dr en ciencias agrícolas. 198 pp. INICA.
19. Mendoza, Y.; Cruz, R. y Luis Odalis. (2010). Comportamiento de Variedades de caña de azúcar (Saccharum spp híbrido) en condiciones de sequía. XVII CONGRESO CIENTÍFICO INTERNACIONAL INCA. Libro Resumen.
20. Miguelina Marcano; Editor Rivas; Ursulino Manrique; Moraima García; Francisco Salcedo y Delvalle Mark. (2005). Prueba de ocho variedades de Caña de Azúcar (Saccharum sp.) bajo condiciones de secano en un suelo de sabana del estado Monagas, Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Revista UDO Agrícola 5 (1): 54-61.
21. Milanés, N. (1988). Interacción genotipo - ambiente. Conferencia curso de Post- grado Genética Cuantitativa II. 1er Estudio de Post - grado sobre Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. Jovellanos.
22. MINAZ. (2009). Estrategia para la producción de caña 2009-2013. Ministerio del Azúcar. 20pp.
23. Rodríguez, R. (2012). Perfeccionamiento del programa de mejora genética de la caña de azúcar para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por déficit hídrico. Tesis presentada en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA. p. 26.
24. Villegas, R. y Ledia Benítez, 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.
25. Viqueira, Lilliam. (1995). Características de las variedades de caña de azúcar en su respuesta al riego en diferentes etapa del proceso de selección y condiciones edafoclimáticas. Proyecto de Inv. pág. 31, (Inédito).

CONSIDERACIONES SOBRE EL PRONÓSTICO DE RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR
CONSIDERATIONS ON IRRIGATION PROGNOSIS IN SUGARCANE CROP

Raúl Carrillo Urrutia

Ing. Agrónomo, Presidente ATAC Filial Mayabeque, Empresa Azucarera-Mayabeque, AZCUBA, Carretera a San Nicolás Km. 2 ½ Guines, Mayabeque.
e-mail: raul.carrillo@eamy.azcuba.cu
Teléfonos: 52-3413, 52-2963.

Resumen

De forma general se hace referencia a los métodos que existen para determinar el momento de riego de los cultivos agrícolas y de la actividad del pronóstico de riego en el cultivo de la caña de azúcar que data de la década de 1980, donde se combinaban los métodos: Bioclimàtico y Gravimètrico para establecer el momento y la dimensión de la norma neta parcial en cada riego, con la entrada del periodo especial en el país, se deterioró la actividad del pronóstico de riego de la caña al reducirse las redes pluviométricas y las estaciones de tanque Evaporìmetros clase "A" en los macizos cañeros del territorio nacional, Sin embargo, los trabajos investigativos tanto en parcelas experimentales como en áreas de producción con caña de azúcar revelan la utilización de coeficientes bioclimàticos, Kb, que van desde 0,2 hasta 1,1 para el período vegetativo del cultivo con independencia del tipo de cepa, característica varietal y condiciones edafoclimàticas y Kb globales con valores de 0,53 hasta 0,61; por otro lado, se destaca la conveniencia de no regar el cultivo con un límite productivo fijo del 80% de la CC en la fase vegetativa de la planta hasta el final del gran período de crecimiento, pues el óptimo biológico puede no ser la variante más económica. El pronóstico de riego como método científico racional de aplicación del agua al suelo por las ventajas que ostenta, debe implementarse en breve plazo en las áreas de producción para la caña de azúcar en Cuba.

Palabras clave: Caña de azúcar, Pronóstico de riego, coeficiente bioclimàtico, etapa fenológica

Abstract

In a general way reference is made to the methods that exist to determine the moment of watering of the agricultural cultivations and of the activity of the watering presage in the cultivation of the cane of sugar that dates of the decade of 1980, where they combined the methods: Bioclimatic and Gravimetric to establish the moment and the dimension of the partial net norm in each watering, with the entrance of the special period in the country, deteriorated the activity of the watering presage from the cane when decreasing the rain gauges nets and the stations of tank Evaporìmeter class A in the solid canes of the national territory, however, the investigative works as much in experimental parcels as in production areas with cane of sugar reveal the use of coefficients bioclimàticos, Kb that go from 0,2 to 1,1 for the vegetative period of the cultivation with independence of the stump type, characteristic varietal and conditions edafoclimàticas and global Kb with values of 0,53 up to 0,61; on the other hand, he/she stands out the convenience of not watering the cultivation with a fixed productive limit of 80% of the Field Capacity in the vegetative phase of the plant until the end of the great period of growth, because the good one biological it cannot be the most economic

variant. The watering presage as rational scientific method of application of the water to the floor for the advantages that it shows should be implemented term shortly in the production areas for the sugarcane in Cuba.

Key words: Sugarcane, irrigation prognosis, bioclimatic coefficient, vegetative face.

Introducción

Actualmente en el mundo existen y se aplican muchos métodos para determinar el momento de riego de los cultivos agrícolas: el índice de sequía o aridez de Martonne que toma en cuenta la lluvia y la temperatura Carrillo (1986), el tensiomètrico Carrillo (1980), el de la resistividad eléctrica u Òhmico Carrillo (1980), el de la "Olla y Membrana de Richards" Soil Moisture Test Equipment Santa Bárbara California: Carrillo (1980); Carrillo y Álvarez (1991), en los cuales se han realizado algunos aportes ; el Gravimètrico, Termogravimètrico o termostàtico :Tzenova (1978); Carrillo (1979), que resulta el método directo o patrón, por este se ajusta o calibra el bioclimàtico, profundamente tratado por Rey y Delibaltov (1982), ambos se complementan y constituyen la técnica para realizar el pronóstico de riego, entre muchos otros.

No obstante, además de los métodos tradicionales o clásicos expuestos Tzenova (1978ª), indicaba eventualmente el uso del balance térmico y el de las observaciones del gradiente como métodos más modernos en el establecimiento de la relación agua-rendimiento para determinar el régimen de riego más económico en los cultivos agrícolas.

El pronóstico de riego constituye una herramienta científico- racional para la aplicación óptima del agua en la interrelación: agua-suelo-planta-atmósfera, ya que con ello se posibilita:

- El ahorro y uso racional del agua.
- Decrece hasta el 8% la norma de riego. Rey y Delibaltov (1982).
- Incrementa el rendimiento agrícola de los cultivos.
- Ahorro y eficiencia del uso de los portadores energéticos y lubricantes.
- Reduce el número de riegos (Evita riegos innecesarios).
- Aumenta la rentabilidad del riego.
- Decrece los gastos de explotación.
- Uso más efectivo de las áreas y la técnica de riego.
- Humaniza el trabajo del hombre.

El riego por pronóstico aplicado por ambos métodos estuvo bien implementado en el cultivo de la caña de azúcar en la década de1980, donde un técnico especializado atendía la actividad con todos los recursos: equipamiento, instrumentos y utensilios necesarios tanto a nivel de laboratorio como de campo, aplicándose esta novedosa técnica en las áreas de producción.

En 1989 y a principios del año 1990, producto del período especial en el país, se fueron reduciendo las redes pluviométricas de pluviómetros estándar americano Carrillo (1992), y los puestos agro meteorológicos de Tanques Evaporìmetros Clase "A", instalados en las regiones cañeras del territorio nacional. En nuestros días, sólo está generalizado en los bancos de semilla básica o categorizada para garantizar una semilla vigorosa y de buena calidad en las nuevas plantaciones y quizás alguna provincia esté más favorecida en el uso de este método.

El trabajo pretende reflexionar acerca del conocimiento del método del pronóstico de riego en el cultivo de la caña de azúcar en Cuba, así como la de contribuir a su posible implantación al más breve plazo.

Materiales y métodos

El basamento del método termostàtico consiste en el empleo de barrenas agrológicas o de tirabuzón para la toma de muestras del suelo en la determinación de la humedad presente, mientras que el método bioclimàtico se fundamenta en el balance hídrico del terreno, mediante la conjugación de datos tales como:

- Las propiedades hidrofisicas del suelo.
- Las fases fonológicas del cultivo.
- Los coeficientes bioclimàticos o de Evapotranspiraciòn.
- La lluvia y la evaporación atmosféricas.

Fundamento del pronóstico del momento de riego

Este se basa en la determinación de la dinámica de la humedad del suelo Alemán y otros (1991), la que al disminuir o consumirse hasta el límite productivo (% CC) prefijado, se dan las indicaciones para efectuar el regadío. Para ello se utilizan las particularidades biológicas de los cultivos Rey y Delibaltov (1982) y la Evapotranspiraciòn durante el período vegetativo, esta última se calcula en las áreas de balance con la ayuda de los lisìmetros o con el tanque evaporìmetro clase "A".

Para obtener el dato de las precipitaciones ocurridas en el área regada se instalan pluviómetros cada 2,5 Km. Y diariamente se mide la cantidad de agua caída. Y mediante la ecuación de balance hídrico (egresos e ingresos de humedad al suelo), se determina la dimensión de la norma de riego total.

Ecuación de balance hídrico:

$$W f = Wi + N + M + Wp + Wc - E -- \Delta W$$

Donde:

W f – cantidad de agua en la capa activa del suelo al final del período de tiempo calculado (5, 7 ò 10 días) en m^3/ha.

Wi – cantidad de agua en la capa activa del suelo al inicio del período calculado.

N -- cantidad de precipitaciones durante el período de tiempo calculado.

M – dimensión de la norma total (solo la parte utilizada), se toma en cuenta sólo si se ha realizado el riego.

Wp – cantidad de agua por la profundización de la capa activa del suelo.

Wc – cantidad de agua utilizada por la planta fuera de la capa activa del suelo (de las aguas subterráneas o freáticas altas).

E – Evapotranspiraciòn de las plantas en el período calculado.

ΔW – pérdida de agua de las precipitaciones y los riegos, la cual infiltra y escurre fuera de los límites de la capa activa del suelo.

Todos los elementos del balance hídrico se reflejan en mm. o en m3/ha.

Los límites productivos se determinan de acuerdo a las peculiaridades del cultivo y de las propiedades hidrofisicas del suelo, pero son utilizados de manera general en:

1. Suelos pesados ---------- 80-85% CC.
2. Suelos medios ---------- 75-80% CC.
3. Suelos ligeros ---------- 65-70% CC.

Sin embargo, el régimen de riego de explotación de la caña de azúcar en Cuba Carrillo y Álvarez (1995), debe sustentarse sobre la base de utilizar límites productivos óptimos por etapas fonológicas del cultivo para maximizar el rendimiento agro-azucarero con y sin restricción del volumen de agua, que van desde 60, 80 y 85% de la CC, tanto en los suelos Ferralíticos rojos de La Habana como para las arcillas montmorillonìticas dilatables en las condiciones ecológicas de la costa norte de la provincia Villa Clara. Aun con más razón, Carrillo y Álvarez (1992a), cuando la retención del agua en el suelo, no está igualmente disponible en toda la faja de la capacidad de humedad aprovechable para los diferentes tipos genéticos de suelos.

La norma parcial que forma parte de los ingresos en la ecuación de balance hídrico, ocupa un lugar importante la dimensión de este parámetro por medio de las propiedades hidrofisicas del suelo y la potencialidad del sistema radical del cultivo de acuerdo a sus fases de desarrollo por la ecuación siguiente:

$W = 100\ H\ \alpha\ (CC - Lp)$

Donde:
W – Norma parcial neta en m^3/ha.
H -- Profundidad de la capa activa del suelo a humedecer en m.
α -- Peso volumétrico o densidad aparente del suelo en g/cm^3.
CC -- Retención de la humedad del suelo a Capacidad de Campo en % P.S.S.
Lp -- Humedad del suelo al Límite productivo predeterminado en % P.S.S.
P.S.S. -- Peso de Suelo Seco a estufa.

Resultados y discusión

Aseveraban Carrillo y Álvarez (1998), que al menos en los suelos Ferralíticos rojos, que presentan una marcada uniformidad de sus propiedades hidrofisicas en los horizontes constitutivos del perfil,, se puede racionalizar la determinación de la humedad del suelo en capas de 20 en 20 cm. de profundidad para el riego de la caña de azúcar con un beneficio económico por equipamiento, pesa filtros, combustible y electricidad ahorrados en áreas de producción de casi $16 000,00 pesos anuales a nivel de Empresa. Y no realizar el muestreo de 10 en 10 cm. como se utiliza convencionalmente.

Tabla I. Capa activa del suelo, fase vegetativa y coeficiente bioclimàtico global en caña de azúcar.

Cepa	**Período vegetativo**	**Duración aproximada (días)**		**Profundidad a regar (m)**	**Coeficiente bioclimàtico global (Kb)**
		Frió	**Primavera**		
Caña planta (Frió-Primavera)	Plantación-brote	0-30	0-20	0,20-0,30	0,53
	Brote-ahijam.-CC	30-120	20-110	0,30-0,40	0,53+- 0,3
	CC-gran período de C	120-300	110-240	0,40-0,50	0,54
	Gran período-madurez	300-440	240-360	0,40-0,50	0,54
Caña (1er y 2do retoño)	Corte-brote	0-20		0,30-0,40	0,58
	Brote-ahijam.-CC	20-120		0,30-0,40	0,58+- 0,3
	CC-gran período de C.	120-240		0,40-0,50	0,59
	Gran período-maduración	240-360		0,40-0,50	0,59

C – Crecimiento, CC – Cierre de Campo, ETr = Ev x Kb en (mm. o m^3/ha)

La tabla I, recopila datos esenciales acerca del cultivo de la caña de azúcar: la duración aproximada y la profundidad a humedecer con el riego por fases fenológicas, así como los coeficientes bioclimàticos globales

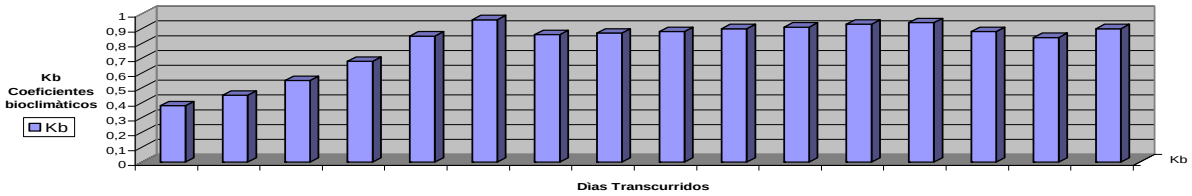
con los valores de la dispersión que se emplean para establecer el pronóstico de riego, recomendando el uso de los valores menores y medios para las primeras etapas, es decir, hasta el cierre de campo
Y posteriormente del promedio hacia el más elevado hasta la terminación del gran período de crecimiento.

Tabla II. Resultados del cociente Kb en varios países productores de caña.

Autor	País	Año	Intervalo de Kb	Aproximac.	Diferencia
Scott	Hawai	1971	0,40- 0,94	0,4 – 0,9	0,5
Fogliata	Argentina	1974	0,70- 0,98	0,7 – 1,0	0,3
Early y Gregorio	Filipinas	1974	0,40- 1,19	0,4 – 1,2	0,8
Moberly	Sudáfrica	1974	0,12- 0,79	0,1 – 0,8	0,7
Sousa y Scardua	Brasil	1977	0,54- 0,80	0,5 – 0,8	0,3
Rey y de la Hoz	Cuba	1979	0,38- 1,0	0,4 – 1,0	0,6
Rey y Delibaltov	Cuba	1982	0,15- 0,8	0,2 – 0,8	0,6
Álvarez y Fonseca	Cuba	1982	0,23- 1,08	0,2 – 1,1	0,9
Pacheco y otros.	Cuba	1983	0,17- 0,88	0,2 – 0,9	0,7
Cabrera y otros.	Cuba	1996-97	0,50- 0,95	0,5 --0,9	0,4

Para Cuba, aunque sólo se analizaron los datos reportados en cinco trabajos de investigación: Rey y de la Hoz (1979); Rey y Delibaltov (1982); Álvarez y Fonseca (1982); Pacheco y otros (1983); Cabrera y otros (1996-97), se observa en una primera aproximación que el coeficiente bioclimàtico varió en un diapasón desde 0,15 hasta 1,08 para diferentes condiciones edafoclimàticas, de cepas y cultivares de caña de azúcar a lo largo de su ciclo vegetativo y que los valores obtenidos por Sousa y Scardua (1977) en Brasil, para Kb (0,54-0,80), y Scott (1971) de 0,4 a o,94 están comprendidos en una posición intermedia de nuestros resultados, sin embargo, mantuvieron un rango más estrecho con tendencia a ser relativamente elevado.
Similar a los resultados de Cabrera y otros. (1996-97) en Cuba, pero específicamente para la zona semiárida del valle de Guantánamo que posee mayores valores de temperatura, radiación solar y evaporación que en el resto del país.

Figura 1. Coeficientes bioclimàticos en caña planta. Frìo Nov.-Marzo



Al procesar una parte de los datos, cortesía de Álvarez y Fonseca (1982) en la la figura 1, se presenta la tendencia creciente del coeficiente bioclimàtico de 15 en 15 días, donde alrededor de 3 a 4 meses de la plantación, tiene un incremento casi constante, (desde 0,38 hasta 0,85), coincidiendo con el cierre de campo de la caña, para después en la fase del gran período de crecimiento mantener mayor estabilidad con un valor elevado entre 0,8 y 0,9 hasta los 12 meses para las condiciones de una caña planta sembrada de frío de noviembre a marzo.

Por otro lado, los trabajos de Carrillo (1980), Carrillo y Álvarez (1991), muestran que al confeccionar las curvas de calibración de campo o laboratorio Tensión –humedad o de pF del suelo y las de resistencia eléctrica versus humedad en el Intervalo de la capacidad aprovechable del agua para los cultivos, no tan solo se puede determinar el momento de riego, sino también el tamaño de la norma neta parcial en cada aplicación, combinándose estas técnicas con el método del pronóstico de riego.

Mientras que, el pluviómetro estándar americano pudiera sustituirse por el pluviómetro plástico de cuña de producción interna del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, INRH; Carrillo y Álvarez (1992), que tuvo un coeficiente de correlación r=0,98 con el primero, en la medición de la lluvia caída para el completamiento y rediseño de las redes pluviométricas del MINAZ.

Y de acuerdo con Tejeda y Peña (2000), el evaporìmetro plástico tipo cubilete correlaciona al 98% con el tanque evaporìmetro clase “A”.

Conclusiones

La combinación de los métodos: Bioclimàtico y Gravimètrico para conformar el pronóstico de riego, ha sido profundamente estudiado y aplicado en el país presentando resultados satisfactorios, incluso para el cultivo de la caña de azúcar en décadas pasadas, por lo que se debe revitalizar ambas metodologías al más breve tiempo en las áreas de producción cañera para su recuperación, en la medida de las posibilidades.

Consideraciones finales:

1. Al parecer la caña planta evapotranspira más que los retoños con independencia de la fecha de plantación.
2. No sobrepasar de 40 a 50 cm. de profundidad la capa activa de suelo a humedecer por riego en el cultivo de la caña de azúcar.
3. En los suelos Ferralíticos rojos, se puede realizar el muestreo para determinar la humedad en capas de 20 en 20 cm. de profundidad.
4. Utilizar los coeficientes bioclimàticos entre 0,2 y 1 en el período vegetativo de este cultivo y Kb globales entre 0,5 y 0,6; hasta tanto no se precisen los mismos en cada lugar.
5. No es aconsejable el manejo del riego manteniendo fijo un límite productivo de humedad del 80% de la CC durante todo el ciclo vegetativo de la caña de azúcar.
6. Si se tienen las curvas de calibración de campo o de laboratorio: Tensión-Humedad (Succión o pF) y Resistencia eléctrica-humedad del suelo se puede determinar tanto el momento de riego como la dimensión de la norma neta parcial.
7. La pérdida de humedad del suelo por Evapotranspiraciòn se puede relacionar con la succión del agua del suelo, mediante la curva de retención o pF.
8. En las redes pluviométricas del Ministerio del Azúcar, el pluviómetro estándar americano puede remplazarse por el pluviómetro plástico de cuña de manufactura nacional.
9. Con la finalidad del riego por pronóstico, el tanque evaporìmetro clase “A”, pudiera sustituirse por el evaporìmetro plástico tipo cubilete referido en el artículo.

10. Se debe establecer un programa de trabajo para la ejecución del pronóstico de riego que contemple un Centro de recepción y cálculo de los datos, así como la capacitación del personal involucrado en la aplicación del riego.

Referencias

Alemán, G. C., R. Juan y J. Ortega (1991) ***Comportamiento de las áreas de pronóstico de riego por cultivos en Cuba .*** Revista Ingeniería Hidráulica 12(2):39-44, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ISPJAE, MES, Ciudad de La Habana,

Álvarez, V. P. y J. Fonseca (1982) ***Respuesta de la variedad Jaronù 60-5 al riego .*** En Trabajo de Diploma, Facultad de Riego y Drenaje, 46 pp., Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, ISCAH, La Habana,

Cabrera, G. R., A. Luís e I. Hernández (1996-97) ***Evapotranspiraciòn de la caña de azúcar del clima semiárido .*** Revista Ingeniería Hidráulica 18(2): 75-80, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ISPJAE, MES, Ciudad de La Habana,

Carrillo, U. R. (1979) ***Determinación gravimètrica de la capacidad de campo en tres suelo Ferralíticos en la provincia de La Habana ,*** en Ciencia y Técnica en la Agricultura. Riego y Drenaje, 2(1): 57-65, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), CIDA, Ministerio de la Agricultura (MINAG), Ciudad de la Habana

Carrillo, U. R. (1980) ***Estudio de diferentes métodos para determinar el momento de riego .*** Impresión Ligera, Informe Final, PPE-05, Tema 31, 40 p., Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, IIRD, Ministerio de la Agricultura, MINAG, Ciudad de la Habana, Quinquenio (1976 -1980).

Carrillo, U. R. (1986) ***Un índice de sequía para determinar el momento de riego o drenaje*** Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura Cañera 6(1): 53-65, Información Técnica, MINAZ, Ciudad de La Habana,

Carrillo, U. R., y P. Álvarez: (1991) ***Ajuste de modelos matemáticos a las propiedades hidrorretentivas de los suelos .*** Revista Ingeniería Hidráulica 12(2): 23-37, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ISPJAE, MES, Ciudad de La Habana,

Carrillo, U. R., y P. Álvarez (1992ª) ***Algunos apuntes sobre el aprovechamiento de la humedad del suelo para las plantas .*** en Revista Ingeniería Hidráulica 8 (2): 53-63, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ISPJAE, MES, Ciudad de La Habana,

Carrillo, U. R., y P. Álvarez (1992) ***Relaciones correlativas entre dos tipos de pluviómetros usados en Cuba .*** en Revista Ingeniería Hidráulica 14 (2): 49-57, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ISPJAE, MES, Ciudad de La Habana,

Carrillo, U. R., y P. Álvarez (1995) ***Efectos de la lluvia y el riego en las épocas de siembra y (o) plantación de los principales cultivos agrícolas de Cuba 1. Caña de azúcar y granos .*** Revista Ingeniería Hidráulica 16 (2-3): 20-47, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ISPJAE, MES, Ciudad de La Habana,

Carrillo, U. R., y P. Álvarez *(1998)* ***Reducción de las mediciones de humedad en Suelos Ferralíticos rojos para el riego de la caña de azúcar.*** Revista Ingeniería Hidráulica 19 (3): 49-57, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, ISPJAE, MES, Ciudad de La Habana,

Early, A.C. and RP. Gregorio (1974***) Consumptive use of water by sugarcane in the Philippines.*** In Proceedings of the XV Congress of the ISSCT, 2: 668-678, Durban, South Africa.

Fogliata, F. A. (1974) ***Sugar irrigation in Tucuman.*** In Proceedings of the XV Congress of the ISSCT, 2: 655-667, Durban, South Africa.

Moberly, P. K. (1974) ***The decline in rate of evapotranspiration of fully canopied Sugarcane during a winter stress period.*** In Proceedings of the XV Congress of the ISSCT, 2: 694-700, Durban, South Africa.

Pacheco**,** J., N. Alonso and A. Gutierrez (1983) ***A study of the sugar cane evapotranspiration in Cuba.*** In Proceedings of the XVIII Congress of the ISSCT, Vol. 1: 380-387, Ciudad de La Habana,

Rey, G. A. y L. O. de la Hoz (1979) ***Manual del régimen de riego de los principales cultivos de Cuba.*** Editorial Orbe, 394 pp., Ministerio de Agricultura, MINAG, La Habana,

Rey, G. A. e Y. Y. Delibaltov (1982) ***Metodología para pronosticar el momento óptimo del riego en los cultivos agrícolas cubanos*** . En Monografía, Centro de Información y Divulgación Agropecuaria, CIDA, 40 pp., Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, IIRD, MINAG, La Habana,

Scott, P. (1971) ***A plantation method of determination of the value of water.*** in Proceedings of the XIV Congress of the ISSCT, p. 859-864, New Orleans, 1765 pp., Louisiana.

Sousa, J. A. G. C. and R. Scardua (1977) ***Furrow irrigation of sugar cane in Araras. Sao Paulo***. In Proceedings of the XVI Congress of the ISSCT, Vol. 2: 1091-1111, Brazil.

Tejeda, M. VM. y E. Peña (2000) ***Evaporìmetro de fácil manejo para el control del momento de riego.*** Revista Cañaveral 6 (1): 40-42, Ministerio del Azúcar, MINAZ, Ciudad de La Habana.

Tzenova, L. K. (1978) ***Metodología para la determinación de la humedad del suelo según el método gravimètrico*** . En: Ciencia y Técnica en la Agricultura. Riego y Drenaje, 1(2):63-70, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), CIDA, Ministerio de la Agricultura (MINAG), Ciudad de la Habana,

Tzenova, L. K. (1978ª) ***Optimización del régimen de riego de los cultivos agrícolas*** . En: Ciencia y Técnica en la Agricultura. Riego y Drenaje, 1(2):53-58, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje (IIRD), CIDA, Ministerio de la Agricultura (MINAG), Ciudad de la Habana,

CARACTERIZACIÓN DE CULTIVARES DE CAÑA DE AZÚCAR ACORDE CON LOS MOMENTOS DE COSECHA Y SU ESTABILIDAD EN DIFERENTES CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS DEL PAÍS.

Caracteritation of cultivars of sugarcane MOMENTS OF HARVEST CROP OF SUGAR AND STABILITY CULTIVARS AT EACH STAGE OF HARVEST IN FIVE LOCATIONS IN CUBA.

Irenaldo Delgado[1], Héctor Jorge[2], Antonio Vera[3], Arian Céspedes[4], Isabel Torres[5], Rubisel Cruz[4], Yoandri Vaillan[4], Yaquelín Puchades[6], Reynaldo Rodríguez[6], Juan C. Pérez[7], José C. Santos[7], Sergio Guillén[7], Héctor García[1], Félix R. Díaz[1], Harol González[1], José Ramón Gómez[1], Susana Reyes[1], Aylín Gallardo[1], Javier Barroso[1], Luis F. Machado[1], y Dunia Nuñez[1].

1- Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Centro VC).
2- Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).
3- Centro Nacional de Hibridación Sancti Spiritus.
4- Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA Holguín).
5- Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Camaguey).
6- Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Oriente Sur).
7- Grupo Azucarero AZCUBA

ETICA Villa Clara. Autopista Nacional Km. 246, Ranchuelo, Villa Clara, C.P. 53100. E mail: (**fitomejoramiento@epica.vc.azcuba.cu) (irenaldo.delgado@inica.azcuba.cu)**.Teléfonos: **(53-42) 451520** Fax: **(53-42) 451520**

Resumen.

La cosecha de la caña de azúcar realizada en el tiempo adecuado, mediante el empleo de una técnica apropiada, es necesaria para una mejor utilización del material genético disponible, ubicando cada variedad en la época en que mejor pueda manifestar su potencial, tanto de producción como de calidad azucarera, y en esa forma alcanzar unos mayores niveles de rentabilidad del cultivo. El objetivo del presente trabajo, es identificar los momentos de cosecha en caña de azúcar en cinco localidades del país, así como la estabilidad de los cultivares estudiados en cada uno de ellos. Los estudios se desarrollaron en las Estaciones Provinciales de Investigaciones de Villa Clara, Sancti Spiritus, Camaguey, Holguín y Santiago de Cuba. Fueron plantados cinco experimentos (uno por cada localidad), en bloques completamente al azar con tres repeticiones, en secano. Se establecieron dos grandes momentos de cosecha, momento1 (M1) con los resultados de cosecha de los meses de noviembre hasta enero (inicio de zafra), y momento 2 (M2) con los datos obtenidos a partir de febrero hasta abril (etapa media-final de zafra). Los resultados del Análisis Discriminante permitieron agrupar dos grandes momentos de cosecha para el período de zafra (noviembre-enero y febrero-abril) en estas cinco localidades, con porcentajes de buena clasificación superior al 74 %, así como sugieren la posibilidad de utilizar para M1 en estas cinco localidades, a los cultivares C86-12 y C92-514, así como utilizar en sitios específicos a C90-530 y para M2 utilizar los cultivares C92-514 y C89-165.

Palabras claves: familia de cultivares, diferentes momentos de cosecha.

Abstract

The harvest of sugarcane on at the right time, through the use of proper technique is necessary to make better use of available genetic material, placing each in the time range that can best show their potential, both production sugar quality, and thereby achieving higher levels of profitability. The aim of this study is to identify the moments of sugarcane crop in five locations in the country as well as the stability of the cultivars studied in each of them. The study was conducted in the Provincial Research Station Villa Clara, Sancti Spiritus, Camaguey, Holguin and Santiago de Cuba. Were planted five experiments (one for each location), in a randomized complete block with three replications in rainfed. There were two great moments of harvest, time1 (M1) with the results of harvest from November to January (beginning of harvest) and time 2 (M2) with data collected from February to April (average stage- end of harvest). The results of the discriminant analysis allowed the grouping two great harvest for the harvest period (November to January and February to April) in these five locations, with good classification rates higher than 74%, and suggest the possibility of using M1 in these five locations, to cultivars C86-12 and C92-514, as well as at specific sites using C90-530 and for M2 cultivars using C92-514 and C89-165.

Keywords: family of cultivars, different times of harvest.

Introducción.

Desde finales del pasado siglo el efecto del cambio climático, con el aumento de la temperatura mínima y media del aire en 1,4 y 0,6° Celsius respectivamente, así como el incremento de los eventos de sequía meteorológica con déficit anual de 57 mm de lluvia, y que las capacidades de regadío solo satisfacen el 3,7 % del área cañera, puede comprenderse la necesidad de buscar una solución, que permita elevar los potenciales de producción de esas áreas que apenas rebasan el 60%, Rodríguez, (2012)

Producto del cambio climático se refleja un impacto adverso sobre los ecosistemas y los recursos naturales, contribuyendo a agravar problemas sociales como la crisis alimentaria, el estrés hídrico, salino, así como un aumento de la variabilidad genética de los cultivos. En ese contexto, una de las soluciones más prácticas y económicas se encuentra en la obtención de genotipos con cierto grado de tolerancia, mediante el desarrollo de programas de mejoramiento genético. Para esto será necesario acercar cuanto más se pueda, los ambientes de selección de los cultivares a los ambientes de destino, distanciados en los últimos años a causa de las limitaciones económicas del país, cuando la red para estudios mutiambientales se redujo de 30 a 13 ambientes (Jorge y col., 2011).

En Cuba se han realizado numerosos estudios relacionados con la evaluación de genotipos en diferentes ambientes de producción y sus implicaciones en el mejoramiento de los rendimientos cañeros y azucareros (Gálvez, 1978; Bernal, 1986; López, 1986; Castro, 1991; Vega, 1993; González, 1995 y Jorge, 1996). Los resultados de estos estudios reiteran la importancia y significación de la interacción genotipo-ambiente, lo que apunta a la necesaria evaluación multiambiental de los cultivares durante el proceso de selección, fundamentalmente en las etapas finales (Gilbert y col., 2006).

Dada esta problemática, el siguiente trabajo tiene como objetivo general:

- Caracterizar cultivares de caña de azúcar acorde con los momentos de cosecha y su estabilidad en cada etapa de zafra en diferentes condiciones edafoclimáticas del país.

Materiales y Métodos.

Los estudios se desarrollaron sobre suelos Pardo sin carbonato perteneciente a la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara, Pardo con carbonato de Sancti Spiritus, Camaguey y Santiago de Cuba y Oscuro plástico de Holguín según la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba, por Hernández et al., (1999). Fueron plantados cinco experimentos (uno por cada localidad) en el período septiembre – octubre 2009, en bloques completamente al azar con tres repeticiones, en secano. El área de las parcelas fue de (48 m^2).

Se evaluaron 17 cultivares los que aparecen en la tabla I.

Tabla I: Cultivares estudiados

N°	**Genotipos**	**N°**	**Genotipos**
1	C323-68	**10**	C89-161
2	C86-12	**11**	C89-250
3	C86-156	**12**	C90-317
4	C86-165	**13**	C90-530
5	C86-56	**14**	C91-356
6	C87-252	**15**	C91-367
7	C88-297	**16**	C92-514
8	C88-380	**17**	SP70-1284
9	C89-148		

Los experimentos fueron cosechados de noviembre 2010 a mayo de 2011 en las cepa de caña planta con edades entre 13 - 19 meses, las variables evaluadas fueron porcentaje de pol (% pol en caña), toneladas de caña por hectárea (t caña/ha) y toneladas de pol por hectárea (t pol/ha), según la metodología establecida por el INICA (Jorge et al., 2011).

Para definir los momentos de cosecha, se realizó un Análisis Factorial Discriminante, utilizando las tres variables anteriormente mencionadas.

Se realizó la comparación de medias mediante prueba de Múltiple Rango con dócima de Tukey ($P<0.01$). Los datos originales fueron comprobados para su ajuste a la normalidad mediante Bartlett-test, con su correspondiente Chi cuadrado.

Para analizar la (IGA) Interacción Genotipo Ambiente se realizaron los análisis estadísticos multivariados y estabilidad fenotípica (Gauch, 2006).

Para la representación bidimensional (*biplot)* AMMI1, se representará en el eje de las abscisas los efectos aditivos (media de genotipos y ambientes y la media general) y en el eje de las ordenas los valores de los "marcadores" de genotipos y ambientes de la componente 1 (CP1).Durante el procesamiento estadístico – matemático de toda la información se dispuso de los paquetes estadísticos STATISTICA 6.0 y STATGRAPHICS_PLUS_50.

Resultados y Discusión.

En la tabla II se ofrecen los resultados del Análisis Factorial Discriminante, donde se establecieron los momentos de cosecha en que mejor se agrupaban, definiéndose el Momento1 (M1) con los resultados de cosecha de los meses de noviembre hasta enero (inicio de zafra), y Momento 2 (M2) con los datos obtenidos a partir de febrero hasta abril (etapa media-final de zafra), alcanzándose más de un 74 % de buena clasificación (aceptable), resultados acreditados por la significación de las dos funciones discriminantes.

Rubio *et al.*, (2002), en un estudio de grado esperado de uso, de los antimicrobianos aminoglucósidos en pacientes oncológicos, señalaron como e**l** elevado porcentaje (74,5 %) de casos correctamente clasificados, muestreaban la calidad de las funciones discriminantes obtenidas, a partir de las cuales podría ser clasificado un nuevo individuo como perteneciente a uno de los grupos dados por el grado esperado de uso.

Jorge *et al.*, (2010) señalaron que en el cultivo de la caña de azúcar existen tres etapas bien definidas durante la zafra (inicial, intermedia y final), sin embargo, para las condiciones de este estudio, solo se definieron dos grandes momentos de cosecha (inicio y medio-final).

Las variables que definen el agrupamiento se expresan en la tabla III, donde el porcentaje de pol en caña fue el que caracterizó este modelo, demostrando la importancia de esta variable para definir periodos de cosechas.

Delgado *et al.*, (2012) realizaron similar procedimiento para establecer los momentos de cosecha con tres cultivares de caña de azúcar evaluados durante todo el año, sin embargo, este nuevo agrupamiento sugiere una nueva concepción en el manejo de las variedades en el período azucarero para estas localidades.

Tabla II: Resultados del Análisis Discriminante en dos momentos de cosecha.

Función	Valor Eje	Correl. Canón.	Wilks Lambda	X^2	G.L	Prob.
1	0,57	0,6	0,63	75,9	3	0.00

Grupos	% Buena Clasif.	G1	G2
M1(nov- enero)	70,59	**60**	25
M2 (febrero – abril)	77,65	19	**66**
Total	**74,12**	**79**	**91**

Tabla III. Variables que caracterizan el agrupamiento.

Discriminant Function Analysis Summary (Spreadsheet1) Step 2, N of vars in model: 2; Grouping: M (2 grps) Wilks' Lambda: ,63379 approx. F (2,167)=48,247 p< ,0000

	Wilks'	Partial	F-remove	p-level	Toler.	1-Toler.
PPC	0,956036	0,662935	84,90996	0,000000	0,978101	0,021899
TCHA	0,677778	0,935100	11,59053	0,000830	0,978101	0,021899

Discriminant Function Analysis Summary Step 2, N of vars in model: 2; Grouping: M (2 grps) Wilks' Lambda: ,63379 approx. F (2,167)=48,247 p< ,0000

El análisis de varianza bifactorial (variedad por localidad), para M1 y M2 mostró en la interacción variedad*localidad, diferencias significativas en las tres variables evaluadas (tablas IV y V). Coincidiendo

este resultado por los reportados en estudios anteriores de interacción genotipo ambiente (Bernal, 1986; Castro, 1991; García, 2004), entre otros.

Tabla IV. Análisis de Varianza bifactorial en M1.

Causa Variación	PTHA			PPC			TCHA		
	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
V	37,31	8,34	0,00	6,14	8,27	0,00	1390	18,32	0,00
L	599,26	134,04	0,00	153,59	206,89	0,00	14928	196,71	0,00
V*L	22,30	4,99	0,00	2,67	3,59	0,00	1019	13,43	0,00
Error	4,47			0,74			76		

Tabla V. Análisis de Varianza bifactorial en M2.

Causa Variación	PTHA			PPC			TCHA		
	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
V	44,40	6,43	0,00	2,35	5,3	0,00	1659	11,07	0,00
L	94,94	13,76	0,00	169,05	377,8	0,00	7434	49,61	0,00
V*L	24,95	3,62	0,00	1,83	4,1	0,00	832	5,55	0,00
Error	6,90			0,45			150		

Resultados en el Momento 1 (M1)

El modelo AMMI representado en la figura 1 en la variable porcentaje de pol en caña, ofrece 78.96 % de la varianza contenida en el efecto de los genotipos más la interacción genotipo ambiente (IGA) de las dos componentes. Al conformar este tipo de *biplot* se observa que las localidades de prueba quedaron en cinco zonas bien definidas.

Sin embargo, la estabilidad de los genotipos es diferente para cada localidad, presentado a los cultivares C89-161, C92-514, C86-156 y C86-12 como los más estables en estos ambientes y de alto rendimiento azucarero, coincidiendo con el criterio de Yan y Tinker, (2006), en que los genotipos de mejor comportamiento en cada localidad son aquellos que se encuentran más cercanos a la misma (Yan y Tinker, 2006). Además los cultivares C91-367 y C90-530 presentan contenido azucarero por encima de la media, pero no son estables en los ambientes analizados, lo que demuestra la adaptabilidad de los mismos en ambiente específicos, es decir, presenta alto rendimiento en la localidad de Santiago de Cuba, coincidiendo con estudios reportados por Rodríguez *et al*., (2010).

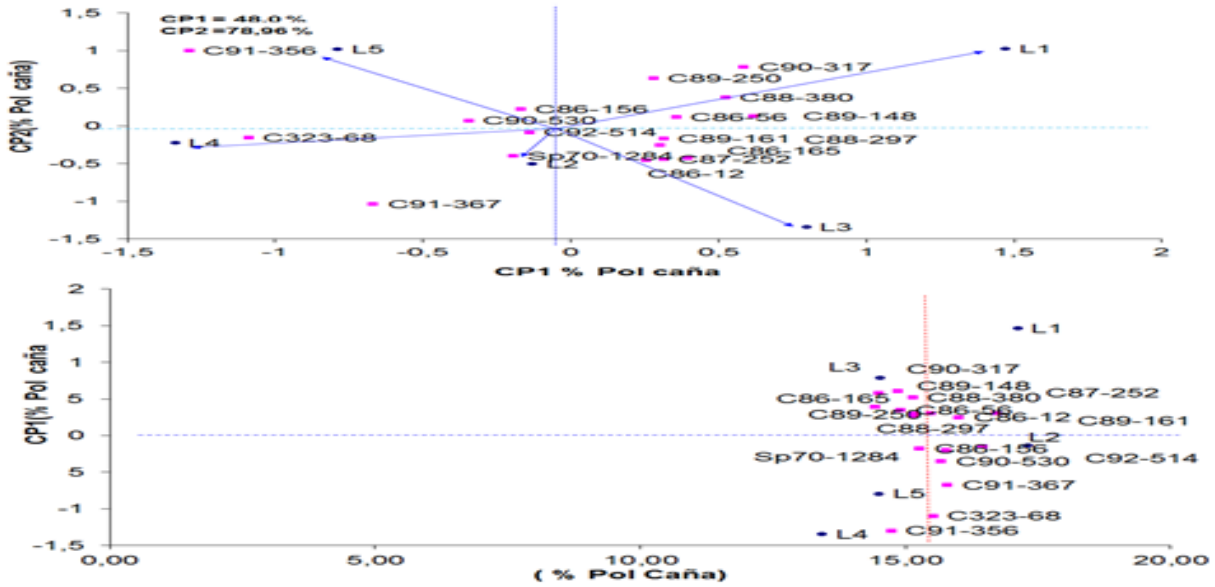


Figura 1. Biplot del comportamiento de los genotipos en M1 para cada ambiente y su estabilidad (% Pol Caña).

Estos resultados sugieren la posibilidad de utilizar para M1 en estas cinco localidades, a los cultivares C86-12 y C92-514 por sus respuestas destacadas integralmente en las dos variables estudiadas, así como utilizar en sitios específicos a C323-68 y C90-530 por poseer alto contenido agrícola y azucarero.

Resultados en el Momento 2 (M2)

El modelo AMMI representado en la figura 2 en la variable porcentaje de pol en caña, existe menor variabilidad de los genotipos y de las localidades para este momento, ofreciendo 73.66 % de la varianza en sus dos componentes. Los cultivares C92-514, C91-367 y C89-165, ofrecieron alto contenido de pol para este momento, así como buena estabilidad en los ambientes. Indicando la posibilidad de utilizar a los genotipos C92-514 y C89-165 para este momento de cosecha y en estas localidades, por su alto contenido agrícola y azucarero.

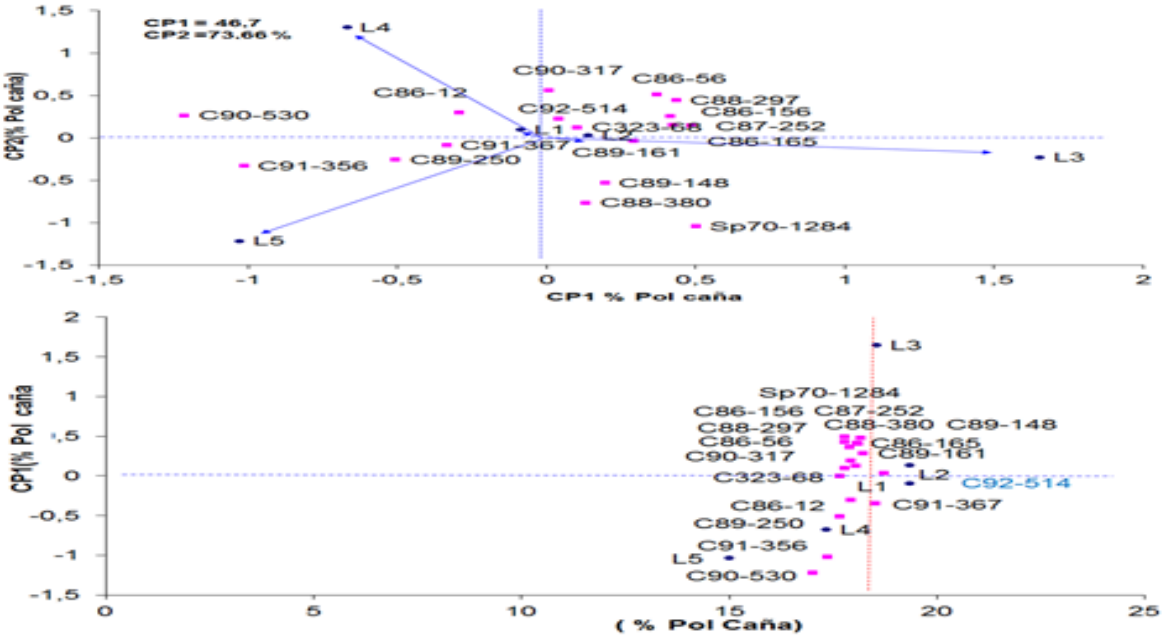


Figura 2. Biplot del comportamiento de los genotipos en M2 para cada ambiente y su estabilidad (% Pol Caña).

Conclusiones.

1. Los resultados del Análisis Discriminante permitieron agrupar dos grandes momentos de cosecha para el período de zafra (noviembre-enero y febrero-abril) en estas cinco localidades, con porcentajes de buena clasificación superior al 74 %, siendo agrupadas principalmente por la variable porcentaje de pol en caña.
2. Los resultados sugieren la posibilidad de utilizar para el Momento 1 en estas cinco localidades, a los cultivares C86-12 y C92-514, así como utilizar en sitios específicos a C90-530 por poseer alto contenido agrícola y azucarero y para el Momento 2 los cultivares C92-514 y C89-165, dado su respuesta en cada periodo.
3. El genotipo C92-514 demostró capacidades agrícolas y azucareras para utilizarlo durante todo el período azucarero.

Referencias Bibliográficas.

1. Delgado I; Jorge, H; García, H; Bernal, N; Díaz, F. R; Bernal, A; Gómez, J. R; Aday, O; González, H; Buedo, M; Reyes, S; Núñez, D; Barroso, J; Machado, L.F. (2012), Potencialidades de familias de variedades para diferentes períodos de zafras en Cuba. Revista Cultivos Tropicales, vol. 33, no. 3, p. 5-14 julio-septiembre.
2. Delgado, I. (2008), Manejo Sostenible de Caña de Azúcar en cuba. Tesis para optar por el título académico de Master en Agricultura Sostenible. UCLV.
3. Estrada, C. B; Martínez, V. (2003), Estabilidad del rendimiento de grano de híbridos de maíz usando mejores predictores lineales insesgados. Agrociencia 37:605-616.
4. Gauch, H.G. (2006), Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. Crop Sci. 46:1488–1500.

5. Hernández, A; Pérez J.M; Bosch, D; Rivero, L. (1999), Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. AGRINFOR, 64 pp.
6. Hernández, A; Pérez, J; Ortega, O; Avila, L; Cárdenas, A; Marrero, A; Companioni, N. (1975), II Clasificación genética de los suelos de Cuba. Revista Agricultura. VIII (1): 47-69.
7. Jorge, H; González, R; Casas, M; Jorge, I. (2010), Principios y conceptos básicos para el manejo de variedades y semilla de caña de azúcar en la agroindustria azucarera cubana. PUBLINICA. ISSN 1028-6527. La Habana. Cuba.
8. Jorge, H; González, R; Casas, M; Jorge, I. (2011), Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. La Habana, Cuba, PUBLINICA. 308 p.
9. López, E. P. (1986), Influencia de algunos factores del ambiente sobre el rendimiento y aplicación de tres métodos de estabilidad en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp*.) en las provincias de Camagüey y Ciego de Ávila. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana, 198 pp.
10. Pérez, J.L; Milanés, N. (1979), Revista Ciencias de la Agricultura. No. 4.
11. Rodríguez, R. (2012), Perfeccionamiento del programa de mejora genética de la caña de azúcar (saccharum spp.) para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por déficit hídrico. Tesis presentada en opción al grado Científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA.
12. Rodríguez, R; Puchades, Y; Bernal, N; Jorge, H; García, H. (2010), Métodos estadísticos multivariados en el estudio de la interacción genotipo ambiente en caña de azúcar. ISSCT.
13. Yan, W. and Tinker, N.A. (2006), Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Can. J. Plant Sci. 86:623–645.
14. Yan, W; Kang, M.S; Ma, B; Woods, S; Cornelius, P.L. (2007), GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environmentdata. Crop Sci. 47:643–655.

Energía renovable

ESTADO DEL ARTE DEL USO DE LA BIOMASA

STATE OF THE ART OF THE USE OF BIOMASS

Autor: Antonio Aguilar Pardo.
Antonio.aguilar@icidca.edu.cu

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca No 804 Esquina Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba

Resumen.
La biomasa corresponde a los recursos biológicos, es el conjunto de materias orgánicas, de origen vegetal ó animal y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial; es la única fuente de energía que contiene carbono biogénico; su potencial en el mundo es equivalente en energía a $2 \cdot 10^{21}$ julios, aproximadamente 10 veces el consumo mundial de energía y 200 veces la energía consumida en forma de alimentos.
Las tecnologias de conversion energética se dividen en: Primera generación y Segunda generación. Las de primera generación, actualmente están bien definidas con diversas tecnologías e instalaciones de aprovechamiento energético disponibles en el mercado internacional, desde pequeñas hasta de gran tamaño como las centrales térmicas a base de residuos agrícolas ó forestales, para obtener electricidad, o suministrar calefacción a un distrito o ciudad, etc. y son aplicables a la biomasa cañera. Mientras las tecnologías de segunda generación, se refieren a la conversión de materia lignocelulósica en combustibles, dichas tecnologías incluyen una variedad de alternativas que van desde la producción enzimática de etanol, combustibles syngas, biocombustibles de pirolisis oleaginosa hasta la gasificación, entre otras; por el contrario a las anteriores, en estas tecnologías algunos aspectos técnicos se encuentran en desarrollo y aún no son viables económicamente.
En el presente trabajo, se da a conocer el alcance tecnológico de la temática, tendencias y limitaciones actuales en el mundo.

Palabras claves: biomasa, energía, tecnología, combustible renovable, medio ambiente.

Summary.
The biomass corresponds to biological resources, is the set of organic materials, plant or animal materials come from natural or artificial processing, is the only energy source that contains biogenic carbon, its potential in the world is equivalent energy to $2 \cdot 10^{21}$ joules, about 10 times the world energy consumption and 200 times the energy consumed as food.
The energetic conversion technologies are divided into: First and Second Generation. The first generation are

now well defined with various technologies and facilities available energetic advantage in the international market, from small to large power plants as the basis of forest or agricultural residues for electricity or provide heat to a district or city, etc.. and are applicable to sugarcane biomass. While second generation technologies refer to the conversion of lignocellulosic material in fuels such technologies include a variety of alternatives ranging from the enzymatic production of ethanol, syngas fuels, biofuels oilseed pyrolysis to gasification, among others, for the contrary to the above, in some technical aspects of these technologies are in development and are not yet economically viable.
In this paper, disclosed the technological scope of the topic, trends and current limitations in the world.

Keywords: biomass, energy, technology, renewable fuel, environment.

Desarrollo

La biomasa corresponde a los recursos biológicos, es el conjunto de materias orgánicas, de origen vegetal ó animal y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial; es la única fuente de energía que contiene carbono biogénico, es decir su combustión no produce emisiones de dióxido de carbono, siendo de gran beneficio para el medio ambiente a diferencia de los combustibles fósiles. En este amplio conjunto de materias, se incluyen los subproductos y residuos de las actividades agrícolas, ganaderas, forestales, agroalimentarias y de la transformación de la madera. Larousse. (1998), Aureum (2004)

Potencial y clasificación

El potencial de biomasa en el mundo es equivalente en energía a $2 \cdot 10^{21}$ julios, aproximadamente 10 veces el consumo mundial de energía y 200 veces la energía consumida en forma de alimentos. Fernández (2010), http://www.alu.ua.es/v/vap/index.htm

Así es de grande su diversidad que se clasifica en:

1. Bosques
2. Cultivos energéticos
3. Residuos

Este último es dividido en: residuos agrícolas, residuos forestales, residuos pecuarios (porcino, vacuno y avicola), residuos industriales, residuos urbanos sólidos y líquidos como son las aguas residuales.
También la biomasa es clasificada como:

- Biomasa natural; es la que se produce de manera espontánea en la naturaleza, como el material que se recoge en la poda y limpieza de los bosques.
- Biomasa residual seca; se compone de desechos derivados de la actividad agrícola, forestal ó alimenticia, como la cáscara de almendra, el orujillo o el aserrín. Este tipo de biomasa es el que ofrece un mayor interés para el aprovechamiento industrial.
- Biomasa residual húmeda; surge de los vertidos biodegradables, como las aguas residuales y los residuos pecuarios.

Cultivos energéticos; son plantas que se cultivan con ese fin, como el cardo, el girasol ó la caña energética que se utilizan para obtener biomasa transformable en biocombustibles. Bueno (2010), ISPJAE (2003)

Preparación previa de la biomasa

La biomasa tal como se obtiene en la naturaleza ó procesos socio-económicos, no posee generalmente las características apropiadas para el uso eficiente en los procesos industriales, requiere de una preparación previa, la cual facilita las operaciones de transporte y almacenamiento, la manipulación y la conversión energética en la industria. Entre los procesos de preparación previa están: la molienda, el astillado, el tamizado, el peletizado, el briqueteado, el empacado y el secado, entre otros.
http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home, Aguilar. (1989)

Conversion energética de la biomasa

La conversión de la biomasa ha alcanzado un alto nivel de desarrollo entrando; en la vertiginosa carrera de la industria tecnológica, en la solución de los graves problemas del deterioro del medio ambiente y de la creciente demanda de energía y recursos; ante el dificil reto de evolucionar y satisfacer a usuarios cada vez más exigentes.

Actualmente, las tecnologías se clasificadan en dos grandes categorías: primera y segunda generación, que incluyen procesos termoquímicos y bioquícos. Ripoli, (1991).

TECNOLOGÍAS DE PRIMERA GENERACIÓN**.**

- **Procesos termoquímicos**

Los procesos termoquímicos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa; están bien adaptados al caso de la biomasa seca, en particular, la paja y la madera. La energía contenida en esta biomasa, es más fácil de aprovechar, mediante los procesos termoquímicos siguientes:

- Combustión; es la oxidación completa de la biomasa por el oxígeno del aire, libera simplemente agua y gas carbónico.
- Pirolisis; es la combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500 ºC, para producir carbón vegetal.
- Gasificación; es un caso especial de la pirólisis donde la biomasa es convertida totalmente en un gas combustible.

El rendimiento energético obtenido suele ser alto. En la tabla I adjunta se indican los productos que se obtienen, entre los que se destacan el calor para la calefacción, el cocido de alimentos, etc.); la electricidad obtenida haciendo pasar vapor a alta presión por una turbina unida a un generador eléctrico; el vapor de agua caliente, ó diversos combustibles como el metanol, el etanol, etc.

Tabla I. Procesos termoquímicos de primera generación. Eficiencia y productos obtenidos.

Combustión	Pirólisis	Gasificación
Calor, electricidad, vapor de agua	Electricidad, metanol	Combustibles diversos
Rto: 65-95%	Rto: 30-90%	Rto: 65-75%

Entre las aplicaciones tecnológicas más significativas están:

a) El Motor de Combustión Interna; máquina donde se obtiene energía mecánica ó eléctrica directamente de la energía química del combustible.

b) Ciclos con Turbinas de Vapor, como el esquema energético de las termoeléctricas y de la industria azucarera.

c) Ciclo Combinado, en el cual se incluye la turbina de gas.

- **Procesos biológicos**

En el caso de las materias primas en base a azúcares, el proceso para la obtención de etanol se basa en primer lugar en la extracción del contenido de sacarosa presente en las mismas. El jugo que se obtiene se fermenta y Finalmente, se somete a un proceso de destilación y deshidratación de manera que la concentración de etanol sea cada vez mayor.

Cuando la materia prima utilizada es almidonada (mandioca ó yuca), antes de la extracción de los azúcares debe realizarse un proceso de sacarificación mediante el cual el almidón se transforma en azúcar extraíble.

Asimismo, si la materia prima es lignocelulósica debe llevarse a cabo un proceso de pretratamiento (físico, químico o biológico) para conservar la celulosa y la hemicelulosa aislando la lignina. Es por ello que se favorece el uso de aquellas materias primas lignocelulósicas con menor contenido de lignina. Posteriormente debe

someterse la materia prima a un tratamiento de hidrólisis enzimática, para transformar la celulosa y la hemicelulosa en sacáridos.

Los procesos biológicos se basan en la fermentación de las sustancias orgánicas con exclusión de aire ó de oxígeno; donde participan diferentes bacterias anaeróbicas, como en los casos siguientes:
a) La fermentación alcohólica; empleada en la digestión de azucares, y almidones.
b) La fermentación metánica; idónea para la transformación de la biomasa húmeda en biogás.
Generalmente ofrecen tiempos de procesamiento más largos y menor rendimiento energético, como se aprecia en la tabla II adjunta. FAO. (2007).

Tabla II. Procesos biológicos de primera generación. Productos y eficiencia.

Fermentación metánica (a)	Fermentación alcohólica (b)
biogás	Etanol
Rto: 20-35%	Rto: 20-25%

La fermentación metánica permite solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos húmedos, siendo de mayor interés ecológico cuando se trata de sustancias contaminantes. http://servenave/Bvirtual.., Sebastián (2002).

Aplicaciones tecnológicas
Entre las aplicaciones tecnológicas están:
Los Biodigestores; Son sistemas sencillos que en su forma simple es un contenedor ó reactor cerrado herméticamente, dentro del cual se deposita el material orgánico como son; los residuos pecuarios e industriales. Los materiales orgánicos se ponen a fermentar con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano y fertilizante orgánico, rico en fósforo, potasio y nitrógeno, entre otros nutrientes.

El proceso de biodigestión ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos en los residuos pecuarios que al actuar en el material orgánico produce una mezcla de gases combustibles con alto contenido de metano, denominada biogás. Mientras los residuos sólidos de este proceso constituyen un excelente fertilizante por su alta concentración de nutrientes que pueden ser empleados inmediatamente (frescos), ya que no tienen malos olores en las condiciones anaeróbicas que se producen. Andrade (2012).

Entre los biodigestores de primera generación están el digestor Chino y el digestor Indú. Este último es de tapa flotante, consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. El gas producido se entrampa bajo la tapa flotante que sube y baja a través de una guía central. La presión del gas disponible depende del peso sobre la tapa por el área de la unidad y normalmente varía entre 40 y 80 mm de presión de agua. www.energiasrenovables.com. (2012) Sosa (2012)
Mientras el Biodigestor Chino es de domo fijo; consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y fondo son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de inspección en la cima del digestor que facilita la limpieza. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1000 y 1500 mm de agua. Sosa. (2012).

Más de cinco millones de biodigestores se han construido en China y funcionan correctamente, pero desdichadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China. Esta instalación tiene como ventaja una larga vida útil, pueden alcanzar 20 años como promedio, siempre que se realice un mantenimiento sistemático adecuado.

Los métodos de primera generación (termoquímicos y bioquímicos), actualmente están bien definidos con diversas tecnologías e instalaciones de aprovechamiento energético de la biomasa, disponibles en el mercado internacional, desde pequeño tamaño ó capacidad para el uso doméstico (chimeneas u hogares de leña), de tamaño mediano (digestores de residuos ganaderos en granjas), y de gran tamaño (centrales térmicas que queman residuos agrícolas ó forestales para obtener electricidad, o suministrar calefacción a un distrito o ciudad, etc.); más adelante se relacionan algunos ejemplos.

En las tecnologías de primera generación, los procesos termoquímicos suelen tener rendimiento energético alto, mientras los procesos bioquímicos, disponen generalmente de tiempos de procesamiento más largos y menor rendimiento energético.

TECNOLOGÍAS DE SEGUNDA GENERACIÓN Ó DE AVANZADA

Las tecnologías de segunda generación se refieren a la conversión de materia lignocelulósica en combustibles, dichas tecnologías incluyen una variedad de alternativas que van desde la producción enzimática de etanol, combustibles syngas, biocombustibles de pirolisis oleaginosa hasta la gasificación, entre otras.

El biocombustible de mayor interés es el etanol ya que puede servir como combustible ó como material de partida en la producción de productos químicos como ácido acético, acetaldehído, butanol, etileno, etc. Actualmente constituye el 90% de los biocombustibles producidos a escala mundial. Los principales destinos son la producción de combustibles (64%) y en menor medida, la industria (27%) y bebidas (9%). En la Tabla III se presenta la proyección de la producción Mundial de Alcohol 2001 – 2010 en la que se evidencia una tendencia de crecimiento del biocombustible, con un incremento interanual de alrededor del 5%.

Tabla III Proyección de la producción Mundial de Alcohol 2001-2010
Unidad de medida: Millones de litros.

		Destino		
Año	Total	Combustible	Industria	Bebidas
2001	31.8	19.0	9.8	3.0
2002	33.1	20.0	10.0	3.1
2003	34.7	21.o	10.5	3.3
2004	34.8	21.5	10.0	3.3
2005	37.4	23.0	11.0	3.4
2006	39.7	25.0	11.2	3.5
2007	42.1	27.0	11.5	3.6
2008	43.5	27.5	12.2	3.8
2009	45.5	29.0	12.7	3.8
2010	47.3	30.5	12.9	3.9

El bioetanol se obtiene a partir de los azúcares presentes en distintas materias primas vegetales. No obstante, la biomasa inicial a partir de la cual se extrae dicho contenido sacaroso no tiene necesariamente que ser esencialmente azucarada, sino que también puede ser almidonada o lignocelulósica. Obviamente, en el primer caso, el proceso de obtención del etanol es mucho más directo (Primera generación), lo cual repercute en los costos de producción. Sin embargo, hay otros factores a considerar a la hora de decidir qué materia prima utilizar, como es la caracterización agronómica de la zona de cultivo. Entonces, podemos señalar algunas de las materias primas más comunes para la obtención de etanol:

a) En base a azúcares: caña de azúcar, remolacha y sorgo dulce.
b) En base a almidón: trigo, maíz y mandioca[2].
c) En base a celulosa: árboles (eucalipto, álamo, sauce), hierbas (*bermudag*).

Las altas producciones de etanol clásico (primera generación), despertó una oleada de escepticismo, en primer lugar al emplear la parte alimenticia de la planta para el uso energético, lo cual entra en conflicto con la alimentación a nivel mundial, dado que el aumento de la demanda conduce a precios más elevados que repercuten sobre los países menos favorecidos. En segundo lugar, considera las emisiones que conlleva el cultivo de la planta, el transporte de la materia prima desde su lugar de origen hasta la central transformadora y el transporte del etanol hasta los centros consumidores.

Sin embargo el uso de la celulosa como materia prima, cambia radicalmente la consideración de la producción de los biocombustibles. La primera ventaja es que se puede aprovechar toda la planta en los cultivos energéticos y no sólo las partes alimenticias, como en el bioetanol clásico y la segunda ventaja, es que entrarán en consideración otros materiales que hasta ahora no se habían tenido en cuenta para la generación de biocombustibles, tales como los residuos (agrícolas, urbanos, pecuarios, etc.).

Para mejorar la competitividad del bioetanol frente a los combustibles derivados del petróleo se deben reducir los costos de producción, y para ello es necesario reducir el precio de las materias primas, ya que estas actualmente representan alrededor del 60% del costo final del etanol. Es necesario desarrollar nuevos cultivos y considerar la biomasa secundaria y los residuos orgánicos como recursos complementarios para la producción de biocombustibles. La utilización de biomasa lignocelulósica es, a mediano plazo, la opción más prometedora para la obtención de etanol combustible a bajos costos posibilitando que este producto pueda ser adoptado por la industria sin afectación de los alimentos.

La tecnología básica de primera generación, para la producción de este alcohol está más que probada (a base de fermentar el azúcar). En el caso de las tecnologías de segunda generación, la celulosa es fragmentada y se continúa el proceso en la fabricación de etanol similarmente (bajo el seudónimo de bioetanol), para lo cual se desarrollan múltiples tecnologías.

Procesos de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica.

La biomasa lignocelulósica presenta una estructura compleja, compuesta de varias fracciones (celulosa, hemicelulosa y lignina) que deben ser procesadas por separado para asegurar una conversión eficiente de estos materiales a etanol ya sea mediante la plataforma bioquímica (Hidrólisis sobre material lignocelulósico pretratado seguido de la fermentación de los azúcares generados) ó mediante la plataforma Termoquímica mediante, la transformación del material lignocelulósico en “gas de síntesis” (gasificación), constituido por CO, CO_2 y H_2. Estos gases pueden ser convertidos a etanol por fermentación o catálisis termoquímica.

Plataforma Bioquímica

El esquema general del proceso de producción de etanol celulósico mediante la plataforma bioquímica incluye los procesos de pretratamiento, hidrólisis, fermentación y destilación. En la fig. 1 se ilustra un esquema de la producción de bioetanol por esta vía a partir de diferentes materias primas.

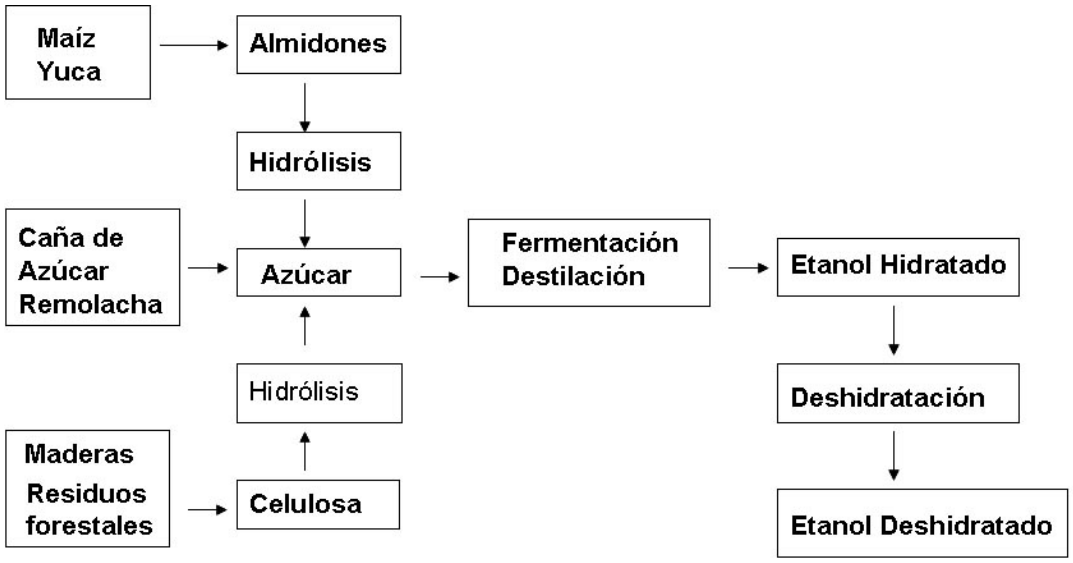


Fig1 Producción de bioetanol a partir de diferentes materias primas

Entre los procesos biológicos por fermentación están:

1. Los que emplean encimas capaces de fragmentar la celulosa en partes más pequeñas e incorporan técnicas de fermentación para obtener etanol de la celulosa. Comparado con la fermentación estándar del azúcar, es un proceso mucho más complicado.

2. Los que utilizan ácidos fuertes, como por ejemplo, ácido sulfúrico concentrado. Entonces las levaduras pueden convertir los azúcares en alcohol de forma normal. El ácido puede ser reutilizado.

3. Otros métodos utilizan primero ácidos suaves y vapor para fragmentar parcialmente la celulosa en azúcares, y se finaliza el proceso aplicando las levaduras.

Plataforma Termoquímica

La conversión termoquímica es un proceso complejo que engloba una serie de pasos para transformar todos los constituyentes no minerales de la biomasa en gas de síntesis o syngas (CO, CO_2 y H_2) a partir del cual se obtiene energía, etanol, otros alcoholes y diversos productos, como en las refinerías petroquímicas, por lo cual se denominan biorrefinerías. Dos métodos de obtención se establecen, la síntesis termoquímica que emplea componentes específicos y los esquemas de operaciones muy similares a las refinerías de petróleo en el cual el gas de síntesis es alimentado a un reactor conteniendo un catalítico para la producción de etanol y otros alcoholes superiores. Este proceso puede generar otros tipos de combustibles líquidos lo que actualmente se encuentra en la etapa de investigación.

1. La empresa estadounidense Range Fuels se ha decidido por un proceso termoquímico. Donde el primer paso es gasificar la biomasa exponiéndola a elevadas temperaturas y presión. El gas sintético que se obtiene de esta forma, compuesto por monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno y agua, se pasa por un catalizador. El etanol o metanol se sintetiza utilizando el procedimiento Fischer -Tropsch.
2. La empresa alemana Choren; también produce gas sintético a partir de biomasa, pero luego utiliza otros procedimientos para obtener parafinas, que luego se venden como biodiesel. Choren. (2007).

Resultados obtenidos en diferentes países.

Una variable significativa para medir el nivel de desarrollo tecnológico alcanzado en la investigación aplicada en torno a la producción de biocombustibles es el Número de patentes registradas en un país ó zona geográfica como se muestran en las tablas IV y V a continuación Boza (2011).

Tabla IV. Número de patentes seleccionadas en cultivos y principales países propietarios, 2006-2010.

Cultivos energéticos	Patentes	Principales países
Soja	867	EEUU (672); China (93); Suíza (63)
Colza	219	China (121); EEUU (17); Japón y Alemania (16)
Palma aceitera	42	China (16); Malasia (9); Japón (8)
Jatropha	85	China (51); India (14); Singapour y Corea (5)
Caña de azúcar	240	China (175); EEUU (18); Japón (13)
Remolacha	83	China (19); Ucrania (18); Rusia (17)
Mandioca	75	China (56); Corea (5); EEUU (4)
Sorgo dulce	35	China (29)
Eucalipto	64	China (29); Japón (19); EEUU (8)
Sauce	38	China (26)
Álamo	53	China (45)
Switchgrass	18	EEUU (14)
Bermudagrass	8	EEUU (5)
Miscanthus	28	EEUU (8); Corea (6); China (5)

Fuente: Informe del proyecto "Desarrollo Sostenible de los biocombustibles" (GER/08/007. Programa Globalización II)

En la tabla IV se pueden ver el número de patentes seleccionadas en cultivos y principales países propietarios, entre los años 2006-2010. Se destacan los resultados de China en número de patentes seleccionadas en casi todos los cultivos, así como Estados Unidos en el caso específico del cultivo de la soya.

Similarmente, en la tabla V se han tabulado, el número de patentes en la obtención de biocombustibles y principales países propietarios, en el mismo período, donde se destaca también China en casi todos los productos, así como Alemania y los Estados Unidos en los casos específicos del biogás y el bioetanol, respectivamente.

Es de mencionar los resultados de Corea en esta actividad con cinco patentes seleccionadas en el cultivo de mandioca y seis en el cultivo de miscanthus. También es considerada en la tabla V con 47 patentes seleccionadas en la obtención de metanol.

Tabla V. Número de patentes en la obtención de biocombustibles y principales países propietarios, 2006-2010

Productos finales	Patentes	Países más con mayor número de patentes
Aceite vegetal	60	Japón (22); China (13); Alemania (6)
Bioetanol	835	China (230); EEUU (214); Japón (153)
Biodiesel	600	China (276); EEUU (75); Japón (71)
Biogás	608	China (247); Alemania (160) Japón (59)
Biobutanol	183	China (60); EEUU (54); Alemania (22)
Syngas	187	EEUU (112)
Metanol	327	China (154); Japón (77); Corea (47)
Total	2800	

Los costos de producción del cultivo pueden viabilizar o frenar el desarrollo de los agrocombustibles, cuya Industria está siempre en competencia con otros mercados, especialmente el de los alimentos que dependen de los mismos cultivos o de las mismas tierras.
En efecto, el éxito de los agrocombustibles manifestado en su creciente utilización provoca un aumento en los precios de los cultivo al convertirlos en materia prima y reduce las existencias. Y un aumento en los precios puede ser letal porque las compañías de agrocombustibles tienen pocas opciones de transferir los costos. Grain (2008).

Tabla VI. El control empresarial de los principales cultivos para agrocombustibles.

Planta	Principales empresas	Control empresarial
Comercio del maíz (EUA)	Cargil, ADM	Las principales que controlan más del 80 % de las exportaciones de maíz de EUA.
Semillas de maíz EUA	Monsanto, Dupont, Syngenta.	Monsanto controla el 41 % del mercado mundial.
Comercio del azúcar (Brasil)	Cargill, Louis Dreyfus, Cosan/Tereos/Sucden	Cargill es el mayor consignador de azúcar crudo de Brasil.
Comercio del aceite de Palma (mundial)	Wilmar, IOI, Synergy Drive, Cargill.	El 60% de la superficie destinada a la producción de aceite de palma en Malasia es propiedad de empresas, solamente el 9% es de propiedad de personas individuales.
Comercio de soja (mundial)	Bunge, ADM, Cargill, Dreyfus.	3 compañías controlan el 80% de la molienda europea; 5 compañías controlan el 60% de la producción brasileña
Semillas de soja (mundial)	Monsanto, DuPont.	Monsanto controla el 25% del mercado mundial

Fuentes: Grupo ETC, WWF, UK Food Group, Cargill.

Como se muestra en la tabla VI, la forma más segura de resolver este dilema es que las compañías de agrocombustibles controlen la producción y la oferta de su propia materia prima. Es por esto que actualmente la mayoría de las fábricas de agrocombustibles se construyen con inversiones simultáneas en la producción de cultivos. Hay una tendencia clara a la formación de redes transnacionales en pos de los agrocombustibles, totalmente integradas, que juntan todo, desde las semillas hasta el flete. Las corporaciones agroindustriales, con sus cadenas mundiales de mercancías agrícolas estructuradas, tienen una ventaja sobre sus competidores. En el futuro cercano, los insumos producidos en cantidades suficientes como para abastecer las operaciones de agrocombustibles en gran escala serán cultivos como: la soja, el maíz, la palma aceitera y la caña de azúcar, cuya producción y comercio están dominados por un pequeño número de empresas transnacionales.

Estado del uso de la biomasa.

Una planta energética de biomasa destinada a la producción de energía u otros biocombustibles puede estar segmentada por las siguientes áreas de proceso: (1) adquisición y recolección de la biomasa; (2) manipulación de la biomasa; (3) tratamiento ó preparación previa de la biomasa; (4) transporte de la biomasa; (5) transformación energética de la biomasa (térmica ó bioquímica) y (6) transformación ó adecuación de la energía de la biomasa, según el usuario (combustible directo, sólido, líquido ó gaseoso; electricidad y/ó calor).

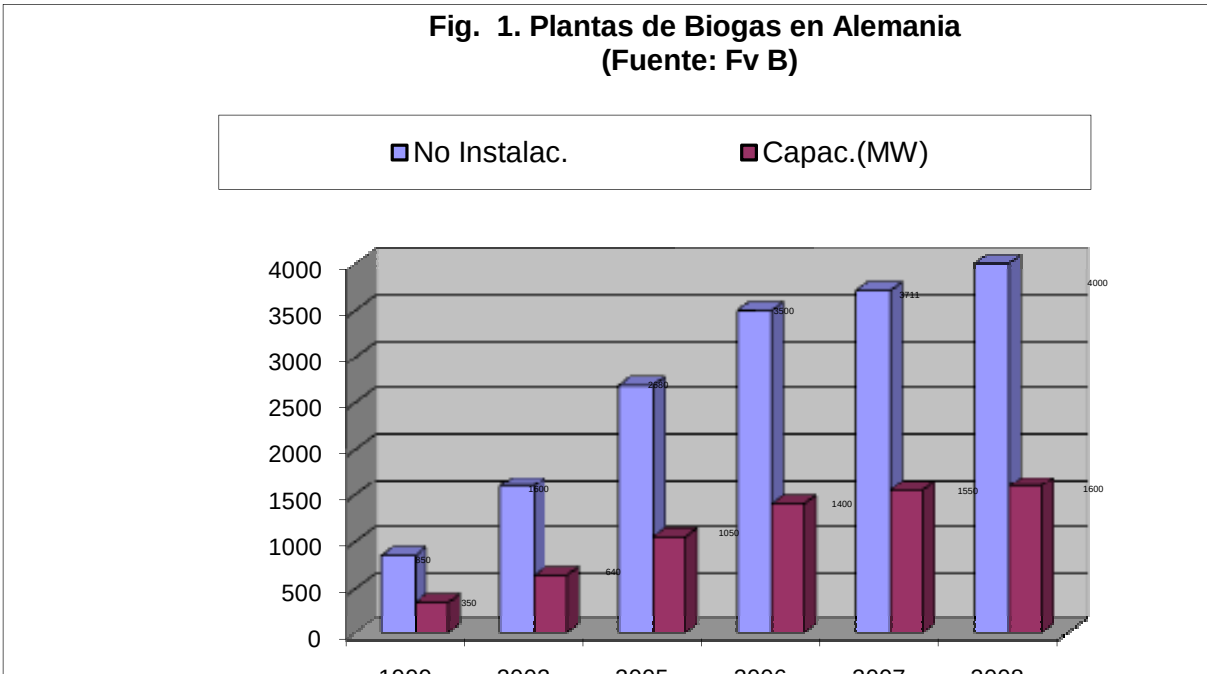
En el año 2006 la capacidad instalada de energía eléctrica procedente de la biomasa en el mundo, ascendió aproximadamente a 45 gigavatios. En los últimos años se han producido fuertes crecimientos en Austria, Dinamarca, Hungría, Suecia, Países Bajos, Alemania y Reino Unido.

En algunos países de la Unión Europea (Dinamarca, Bélgica, Países Bajos, etc.), la combustión de carbón a partir de biomasa ha adquirido bastante importancia en las centrales de carbón. El calor procedente de la biomasa supone un 50 % del calor necesario en algunos países de Europa.

Los combustibles biogénicos sólidos, en particular los pellets de madera, se han convertido en uno de los combustibles más importantes no sólo para el consumo privado sino también para el consumo comercial. Durante los años 2006 – 2008, se consumieron en Europa alrededor de 8,6 millones de toneladas y en todo el mundo, unos 11,8 millones de toneladas de pellets (en sustancia original). Las tasas anuales de crecimiento del aprovechamiento moderno de la biomasa en la producción de calor y de electricidad en todo el mundo se elevaron a una media de 3 a 5 %. .

Los mercados emergentes se encuentran en Italia, República Checa, Francia y Polonia; mientras Alemania es el productor más importante de biogás. Hasta finales de 2008, casi 4000 plantas de biogás estaban en funcionamiento en Alemania con una capacidad total de unos 1400 megavatios de potencia eléctrica (sin gas de clarificación ni de vertedero), como se muestra en la fig. 2

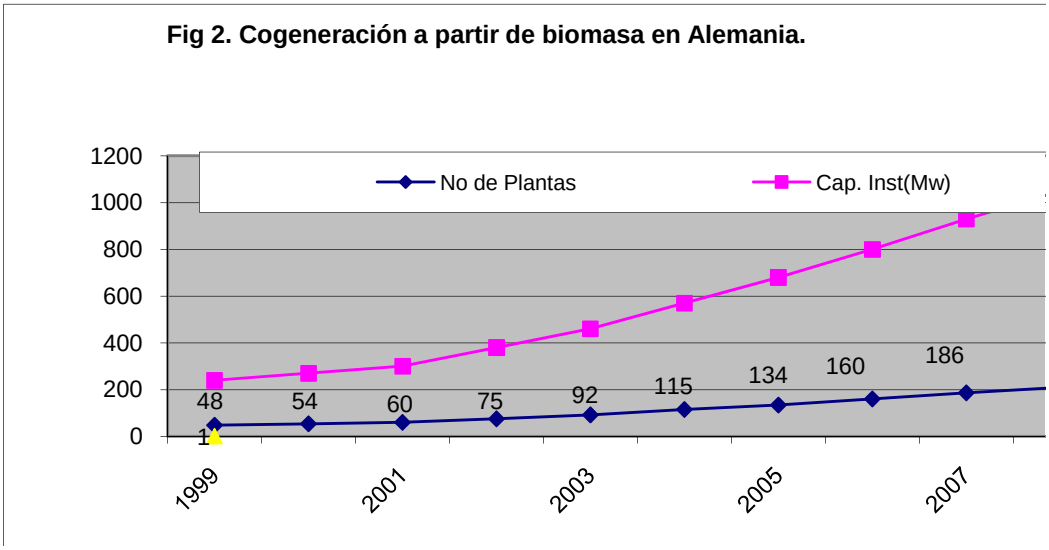
Fig. 1. Plantas de Biogas en Alemania
(Fuente: Fv B)



En Alemania, el número de instalaciones privadas para calefacción con pellets de madera ha aumentado aproximadamente a 105.000 en 2008 de 80.000 existentes en el 2007. En la producción de energía por cogeneración, a finales del 2008 estaban en funcionamiento 210 centrales de biomasa aproximadamente, con

un campo de potencia de hasta 100 Mw, con una potencia eléctrica instalada de 1.040 MW. En estas plantas se produjeron en 2008 aproximadamente 6.700 gigavatios-hora de energía eléctrica, abonada conforme indica la ley de energías renovables (EEG). Ver fig.2.

Fig 2. Cogeneración a partir de biomasa en Alemania.



Gracias a la tendencia de tener plantas cada vez más grandes y potentes, aumentó el interés de los proveedores y empresas de servicios energéticos por los proyectos de biogás.

En cualquier caso, los desarrollos estructurales positivos están ligados a la edificación y a la puesta en marcha de plantas de biogás en zonas rurales y a la creación de puestos de trabajos.
Una nueva área se centra en el procesamiento y la alimentación de biogás en redes de gas natural. A principios de 2009, 14 plantas estaban en funcionamiento en este sector de mercado. Made (2012).

La tendencia mundial anual del consumo de energía eléctrica por habitante, en el 2006-2015, se incrementará 2.1 por ciento (2.342 kWh/habitante en 2003, a 3.007 en 2015), "crecimiento impulsado principalmente por los países asiáticos en transición y latinoamericanos en desarrollo, no OCDE". Constructor E. (2010).

España, actualmente cuenta con 56 plantas de energía en funcionamiento que utilizan diferentes tipos de biomasa con una potencia instalada de 454 megavatios; 30 plantas emplean tecnologías térmicas (355,5 megavatios), 4 con gasificación (3,7 megavatios); mientras 26 plantas emplean biotecnologías para la producción de biogás (95 megavatios). Andalucía es la comunidad autónoma con más plantas de este tipo, debido a su extensión y clima propicio. Dispone de 15 plantas, ocho de ellas en Córdoba que producen 164,2 MW (el 44% del total en España) y son capaces de abastecer a 246.300 viviendas.

El combustible proviene de restos de invernadero, orujo, orujillo y madera. Galicia, Castilla y León y Castilla-La Mancha registran también importantes consumos de biomasa. Por ejemplo, la central de biomasa de Corduente es una central térmica alimentada por biomasa forestal situada en el término municipal de Corduente (Guadalajara; fue inaugurada oficialmente el 29 de julio de 2009. Puede producir unos 14.063 millones de KWh de energía al año, suficientes para abastecer a unos 14.000 habitantes, a través de los 2 MW potencia instalada y requiere cerca de 20.000 toneladas de residuos forestales al año que se obtienen de la limpieza de 800 ha de bosques cercanos del Alto Tajo. González (2011).

En Chile, (Mejillones) las centrales termoeléctricas CTA y CTH Andina y Hornitos, que en conjunto aportarán 300 MW al Sistema Interconectado Norte Grande (SING). Ambas centrales se caracterizan por utilizar tecnología de punta, denominada de Lecho Fluidizado Circulante; se refiere a su capacidad de usar un

amplio rango de combustibles sólidos como carbón o biomasa (hasta un 10% de energía). El Lecho Fluidizado Circulante permite mejorar la eficiencia del proceso de combustión, reduciendo las emisiones de material particulado y gases, producto de una disminución en la temperatura de combustión en la caldera. Lo anterior asegura que ambas plantas cumplan con la nueva norma de emisiones decretada en Chile.

En conjunto, CTA y CTH representan una inversión cercana a los 900 millones USD, cifra que incluye la construcción de una línea de transmisión de 144 kilómetros, la edificación de una nueva subestación (El Cobre) y la ampliación de una subestación existente.

Las centrales generadoras fueron inauguradas junto al proyecto piloto de plantaciones que E-CL lleva a cabo en Mejillones. Iniciativa que cuenta con cultivos energéticos de especies de Paulownias y Nopales que crecen en el desierto utilizando muy poca agua, para abastecer en el futuro a CTA y CTH con biomasa forestal. La cercanía de las plantaciones de biomasa tiene como ventaja adicional la reducción de gastos y emisiones de CO2 relacionados con el transporte de estos. Mejillones. (2011).

En Cuba, como en otros países la energía es un factor fundamental para el desarrollo, la política energética se basa en los siguientes factores:
-Prospección y explotación de las fuentes nacionales de energía (petróleo y gas natural).
-Uso racional de la energía. Desarrollo de una cultura de máximo ahorro y de tecnologías de alta eficiencia.
-Desarrollo de tecnologías para el uso generalizado de las fuentes renovables de energía, con un peso progresivo en el balance energético nacional.

Antes de 1959, la capacidad instalada de generación de electricidad ascendía a los 430 MW. La capacidad de refinación de petróleo era de 4 millones de toneladas por año, se empleaba en muy baja escala y sólo con portadores energéticos importados. Los recursos hidroenergéticos resultaban muy poco aprovechados y la cogeneración de electricidad era pequeña y reducida a algunos centrales azucareros.

Con el desarrollo del proceso revolucionario, creció la capacidad instalada de generación hasta 3.178 MW en centrales termoeléctricas y se aseguró el suministro de energía eléctrica al 95 por ciento de la población. La refinación incrementó su capacidad en casi tres veces respecto a 1958. La cogeneración con biomasa cañera en la industria azucarera se elevó considerablemente. Actualmente la principal fuente de energía renovable es la biomasa. Dentro del total de 37,9% que representan las energías renovables en la producción energética nacional, la originada a partir de la caña de azúcar abarca un 34,5%. Bérriz L. (2003).

A partir de la reestructuración de la industria azucarera realizada en el 2002, se planteo el imperativo de que los centrales en funcionamiento se autoabastecieran energéticamente utilizando la biomasa cañera (el bagazo y la paja de caña), no todos lo lograron como en el caso de Chiquitico Fabregat, como se muestra la tabla siguiente: Fabregat. (2011).

Tabla IV. Producción de Refino en cinco campañas consecutivas.

Campaña	Producción.	Bagazo	Paja	Total Biomasa	t Biomasa/ t Refino
2006	11487.355	7793.718	7781.00	15574.710	1.35
2007	12071.826	6646.860	12142.2	18789.06	1.55
2008	19100.265	11167.36	12174.0	283341.36	1.22
2009	21131.993	19229.92	8890.16	28120.08	1.33
2010	3473.124	2726.500	1070.73	3797.230	1.09

La segunda fuente de biomasa en el país es la obtenida a partir de la explotación de especies forestales, en forma de leña y carbón vegetal para la cocción de alimentos. Mientras le siguen los residuos lignocelulósicos que generan la industria del procesamiento de la madera y la industria arrocera.

Hoy de dispone, de una Planta de biogás en la provincia de la Habana, donde se generan 60 kwh para el autoconsumo de electricidad, en Camagüey existe otra Planta para el suministro de gas a un poblado cercano y para el oxicorte. También se dispone de más de 600 pequeñas plantas de biogás diseminadas por todo el país, para la cocción de alimentos básicamente a escala familiar.

En sentido general, en el mundo, las tecnologías que aprovechan la biomasa necesitan un mayor avance. Su rendimiento es menor que el de los combustibles fósiles, por término medio un litro de gasolina equivale a tres kilos de biomasa, y se necesitan más recursos y sistemas más complejos y costosos de almacenamiento y manejo. No obstante, se espera que con el debido apoyo estos sistemas mejoren en los próximos años.

Consideraciones de Investigación y desarrollo.

1. Promoción de plantas de hidrólisis enzimática y de gasificación de biomasa, y plantas híbridas de biomasa y energía termosolar. abengoa.esabengoa.es
2. Plantas de gasificación / combustión a partir de biomasa forestal. invall.cominvall.com
3. Uso de las tecnologías tradicionales de las centrales eléctricas para lograr un rendimiento más elevado, tecnologías combinadas y nuevos procedimientos, como las centrales eléctricas de lignito secado, combustión de polvo de lignito y de hulla a presión, combustión de lignito, hulla y biomasa en lecho fluido a presión, gasificación integrada del carbón, combustión combinada de combustibles de sustitución o de biomasa, plantas de ciclo combinado con turbinas de gas y de vapor, centrales térmicas en condiciones críticas de vapor. Eur-lex.europa.eueur-lex.europa.eu
4. Biomasa como energía en fábricas de gas y plantas de gasificación de carbón. Eur-lex.europa.eueur-lex.europa.eu
5. Procedimientos para convertir la biomasa en combustible como la gasificación, donde la biomasa se transforma en un gas que puede convertirse a su vez en otros combustibles (proceso de Fischer-Tropsch). unctad.orgunctad.org
6. Producción de hidrógeno por gasificación de carbón o de biomasa. Daccess-ods.un.orgdaccess-ods.un.org

7. Cooperación entre países; (Benin, la India y Nigeria) en actividades relacionadas con la transferencia de tecnología de gasificación de la biomasa. unido.orgunido.org
8. La producción energética de origen vegetal debe orientada hacia aquellas plantas y biomasa que no se afectan de manera natural a la producción de alimentos. Eur-lex.europa.eueur-lex.europa.eu
10. Diseño de plantas para producir gas para cocinar, calefacción y electricidad de forma simultánea y demostrar la viabilidad técnica, económica y de mercado de un sistema moderno de gasificación de biomasa. (ej. Gobierno Provincial local de Jilin y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)) ourplanet.comourplanet.com
11. Exploración de oportunidades para demostrar la tecnología de gasificación de biomasa a escala industrial, para la producción de vapor, electricidad o para ser combinada con instalaciones de energía solar termoeléctrica, para valorización de biomasa forestal. abengoabioenergy.esabengoabioenergy.es
12. Desarrollo de nuevos tipos de catalizador para convertir gas de gasificación de biomasa a etanol. abengoa.esabengoa.es
13. Selección de microorganismos para la captura y fijación del CO2 de las plantas para la producción de biomasa como materia prima para producir biocarburantes. abengoa.esabengoa.es
14. Mayor uso de BIORAISE; sistema de Información Geográfica (SIG) on-line para calcular el potencial de biomasa, los costes de recolección y los de transporte.

Conclusiones y recomendaciones:

1. Los procesos termoquímicos de primera generación se ajustan perfectamente a la biomasa seca y suelen tener rendimiento energético alto. Mientras los procesos bioquímicos, disponen generalmente de tiempos de procesamiento más largos y menor rendimiento energético; se adaptan perfectamente a la biomasa húmeda. Estos procesos de primera generación, están bien definidos con diversas tecnologías e instalaciones disponibles en el mercado internacional, para el aprovechamiento energético de la biomasa.
2. El uso de la celulosa como materia prima en la producción de biocombustibles, cambia radicalmente la consideración de esta industria. La primera ventaja es que se puede aprovechar toda la planta en los cultivos energéticos y no sólo las partes alimenticias y la segunda ventaja, es que entrarán en consideración otros materiales que hasta ahora no habían sido tenidos en cuenta para la generación de biocombustibles, tales como los residuos (agrícolas, urbanos, pecuarios, etc.).
3. Para mejorar la competitividad del bioetanol frente a los combustibles derivados del petróleo se deben reducir los costos de producción, y para ello es necesario reducir el precio de las materias primas, ya que estas suponen alrededor del 70% del costo final del etanol. Es necesario desarrollar nuevos cultivos y considerar la biomasa secundaria y los residuos orgánicos como recursos complementarios para la producción de biocombustibles.
4. La utilización de biomasa lignocelulósica, es la opción más prometedora a mediano plazo, para la obtención de etanol combustible a bajos costos, posibilitando también que este producto pueda ser adoptado por la industria sin afectación de los alimentos.
5. Por el contrario de las tecnologías de primera generación, estas tecnologías aún no son viables económicamente y algunos aspectos técnicos se encuentran en la fase de desarrollo. Todavía no está claro cuál es la tecnología que pueda tener más peso en el futuro y llegue incluso a superar a las otras ó si es posible que se apliquen varios procedimientos en paralelo.
6. En el año 2006 la capacidad instalada de energía eléctrica procedente de la biomasa en el mundo, ascendió aproximadamente a 45 gigavatios. En los últimos años se han producido fuertes crecimientos en Austria, Dinamarca, Hungría, Suecia, Países Bajos, Alemania y Reino Unido.
7. El biogás representa una fuente de energía con un elevado aprovechamiento en relación con su bajo costo y con un impacto medioambiental muy positivo. Sin embargo para el almacenaje necesita de la

tecnología apropiada y medidas de seguridad muy bien controladas con el fin de evitar riesgos de intoxicación, incendios y explosión de los depósitos de gas.

8. La biomasa sólida puede llegar a desempeñar un papel muy importante en el abastecimiento futuro de energía. El potencial global y regional de la biomasa sólida varía enormemente según el emplazamiento geográfico. Es imprescindible disponer políticamente de condiciones marco que ofrezcan seguridad como, los sistemas de subvenciones a largo plazo, mejorar la logística del transporte y la explotación de recursos adicionales de biomasa, como la silvicultura de rotación corta.

Bibliografía.

1. Larousse. (1998) Editorial S.A. ISBN 84-816-266-X. Edición electrónica.
2. Aureum. (2004). Boletín informativo http://www.alu.ua.es/v/vap/index.htm.
3. Fernández M. A.(2010). Biomasa, una energía renovable de gran futuro. N0. 4. Biología, Divulgación, Ingeniería y Medio Ambiente. Feedburner.
4. Biomasa; http://www.alu.ua.es/v/vap/index.htm
5. Bueno G, Cordoves M., Delgado G., Michelena G. (2010). Potencialidad productiva del sorgo dulce para la producción de etanol.
6. Biomasa (2003). Procesos de transformación de la biomasa. Curso de Postgrado ISPJAE.
7. **Ecco Ecrop**. Información sobre cultivos para la producción de bioenergía y sus requerimientos ambientales. http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home
8. Aguilar A. (1989). Características combustibles de los RAC. Revista Cuba Azúcar No. 1. p. 38.
9. Ripoli, T.C. Molina J. y otros. (1991). Estudio sobre enfardamiento de derivados de la cosecha de la caña verde. STAB. Sept-Oct.
10. Seminario de la FAO. (2007)."El rol de biotecnologías agrícolas para la producción de bioenergía en países en desarrollo"
11. Andrade E. (2012) Perspectivas de la Producción Energética a partir de Biomasa Solida; http://civilgeeks.com/
12. Sebastián F. y Col. (2002). Uso de la Biomasa en Europa. Universidad de Zaragoza. http://odyssea.cps.uinizar.es/.....
13. Los biocombustibles. http://servenave/Bvirtual...
14. www.energiasrenovables.com. (2012). El biogás podría cubrir el 2% de la demanda de electricidad de Europa en 2020.
15. Sosa R., Chao R y Díaz Y.(2012). Biodigestores de cúpula fija recomendables en la producción porcina. Centro de producción y desarrollo del biogas. iipoo@ceniai.inf.cu
16. Choren. (2007). http://www.choren.com
17 Boza. S. y Saucedo A. (2011). Análisis comparativo de patentes en la cadena de producción de biocombustibles entre América Latina y el resto del mundo. Informe, proyecto "Desarrollo Sostenible de los biocombustibles; GER/08/007.
18. Grain. (2008). El poder corporativo: Los agrocombustibles y la expansión de las agroindustrias.
19. Made. (2012). Energy renowables. www.renowable-made-in-germany.com.
20. Constructor eléctrico. (2012). Retos y tendencias del presente siglo. http://constructorelectrico.com/home
21. González A.M. (2011). Electricidad a partir de la biomasa.
22. Mejillones. (2011) E-CL inaugura innovadoras centrales termoeléctricas CTA y CTH.
23. Bérriz L. (2003). Energía, medio ambiente y sostenibilidad. Cuba Solar.
24. Central. Ch. Fabregat. (2011). Informe final de zafra. AZCUBA.

CALDERA DE BIOMASA 1,8 T/H: UNA NECESIDAD PARA CUALQUIER INDUSTRIA
BOILER OF BIOMASS 1.8 T/H: A NEED FOR ANY INDUSTRY

Ing. Alexander Sánchez Leyva.

Empresa de Servicios Técnicos Industriales (ZETI, UEB ATIZ)
Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC)
Asociación de Ingenieros Mecánicos (ASIMEC)
alexander.sanchez@zetihl.azcuba.cu

RESUMEN:

La ponencia muestra el diseño de la primera caldera de Biomasa del país, desarrollado por el Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ) Estación Holguín, actualmente Empresa de Servicios Técnicos Industrial (ZETI), dirigido a sustituir los quemadores de petróleo en calderas pirotubulares de pequeñas industrias y fabricas, que posean como combustible biomasas (residuos forestales, residuos cañeros, cáscara de coco y café, etc).
El diseño del primer prototipo se realizó, a partir de la caldera pirotubular Búlgara PKM 2.5 t/h de capacidad, utilizando los materiales que existían en la Fábrica de Calderas y el país.
El horno se diseña con la última tecnología en el mundo en construcción de calderas, con membranas. Se diseñó la interconexión del horno y la caldera Pirotubular, módulos de eficiencia, conductos de aire y gases, cenicero, tuberías de agua y vapor, plataforma de alimentación de combustible y la chimenea. Se diseña los elementos compactos, representando menor tiempo en su montaje.
Esta es la primera caldera de Biomasa que funciona en el País, la cual se instaló y funciona en la Refinería Chiquitico Fabregat, de Villa Clara, para suministrar vapor a la fábrica de Panela que se construye, pero las pruebas y su funcionamiento se realiza a las otras plantas de derivados allí instaladas.
Cuando se realiza el trabajo, por el costo del fuel oíl de ese momento, se ahorra en 11 meses de trabajo 388.608 TM de fuel oíl, representando 180 116 dólares. Se dejaría de expulsar más de 1700 TM de CO_2 a la atmósfera.

Palabras claves: calderas, biomasa, eficiencia.

ABSTRACT.

The report shows the design of the first boiler of Biomass of the country, developed by the Cuban Institute of Investigations Sugar (ICINAZ), Station Holguín, at the moment Industrial (ZETI) Company of Technical Services, directed to substitute the burners of petroleum in boilers pirotubulares of small industries and you manufacture that possess as combustible biomasses (forest residuals, residuals caner's, coconut shell and coffee, etc).
The design of the first prototype was carried out, starting from the boiler Bulgarian pirotubular PKM 2.5 t/h of capacity, using the materials that existed in the Factory of Boilers and the country.
The oven is designed with the last technology in the world in construction of boilers, with membranes. It was designed the interconnection of the oven and the boiler Pirotubular, modules of efficiency, conduits of air

and gases, ashtray, pipes of water and steam , platform of feeding of fuel and the chimney. It is designed the compact elements, representing smaller time in their assembly.
This is the first boiler of Biomass that works in the Country, which settled and Chiquitico works in the Refinery Fabregat, of Villa Clara, to give steam to the factory of Panela that is built, but the tests and its operation is carried out to the other plants of having derived there installed.
When he/she is carried out the work, for the cost of the fuel oíl of that moment, it is saved in 11 months of work 388.608 TM of fuel oíl, representing 180 116 dollars. It would be stopped to expel more than 1700 TM from CO_2 to the atmosphere.

Key words: reconversion, boilers, capacity, efficiency.

INTRODUCCIÓN.

En el mes de Febrero del 2008 se da la Misión por el Ministro del Azúcar, de realizar una visita a Colombia, con el objetivo de recoger la experiencia en el diseño y construcción de calderas de pequeñas capacidades para quemar biomasa.
Se visitaron varios lugares donde estaban instaladas estos tipos de generadores de vapor, así como contactos con especialistas y fabricantes de las mismas. Tomando como patrón la caldera vista en una fábrica de Panela, que cuenta con una caldera Pirotubular, un Horno para quemar combustible, y superficies recuperativas (Economizador y Calentador de Aire), con ventiladores de Tiro inducido y forzado, se inicia la búsqueda de una caldera pirotubular que es la clave para el diseño de la caldera en general.
Luego de varios diagnósticos realizados a varias calderas compactas en desuso, se toma la decisión, por recomendación del diseñador de la caldera, de utilizar la que está desuso instalada en una fábrica de Conservas del organismo, la cual es una caldera Búlgara, modelo PKM 2.5 t/h de capacidad de generación de Vapor y de 13.5 Kgf/cm² de presión (Figura 1). La misma por estar mucho tiempo sin explotación fue necesario realizar una reparación Capital.

Figura 1. Caldera Original PKM 2 t/h y 13 kgf/cm^2

MATERIALES Y METODOS.

La premisa para el diseño de esta caldera fue: de diseñarla con los mismos principios a las vistas en Colombia, pero utilizando los materiales con que contaba Fábrica de Calderas y el país en aquel momento, pero realizando las mejoras necesarias por la experiencia que se posee en el diseño de calderas.

Es relevante destacar, que no se poseía el software para los cálculos del diseño de esta caldera mixta. Se contaba con el software para calderas acuotubulares y pirotubulares por separado. Con la experiencia y conocimientos de especialistas de la Institución, se logra crear un software para el cálculo de la caldera mixta.

Por no contar en el país, con los ventiladores de tiro inducido y forzado, por la capacidad de los mismos, se diseña por especialistas en ventiladores del Instituto, y se construye por el Taller especializado en ventiladores del organismo.

Se diseña una Plataforma frente a la caldera para el almacenaje del combustible que se va a alimentar a la caldera manualmente. Este se introduce al horno a través de dos embudos metálicos construido insertados en la pared frontal y poseen dos registros de hierro fundido.

El horno (Figura 2) se diseñó acorde a la capacidad de la caldera encontrada (2.5 t/h), con la ultima tecnología usada en el mundo en construcción de calderas, apantallamiento con membranas, que ofrece poco exceso de aire a la salida del horno, bajo costo por tener el mínimo de material refractario y de estructura. Se construye compacto, lo que representa menor tiempo en su montaje, en comparación con otro horno convencional. El mismo se instala sobre pequeñas columnas, que van ancladas al cimiento. En cada una de las columnas laterales posee una puerta para la recolección de cenizas.

Figura 2. Horno

En la parte inferior de la pantalla frontal del horno posee dos orificios para los registros de operación de la parrilla, iguales a los de alimentación de combustible.
A la salida del horno, en la pantalla trasera existe un orificio donde se suelda un conducto de acero inoxidable a una altura de 3 metros. A este conducto se conecta una interconexión con el tubo central de la caldera pirotubular. Para alimentar agua de la caldera pirotubular a la interconexión se diseña a ambos lados una tubería, al igual que para las salidas de vapor de la interconexión a la caldera pirotubular. La caldera pirotubular se instala sobre una cimentación a una altura de 2171 mm.
De los colectores traseros y laterales superiores se diseñan tuberías y codos que llevan el vapor hacia la caldera pirotubular. La tubería de alimentación de agua de la caldera Pirotubular al horno compacto se diseñó a través de tres tuberías por ambos lados.
A la salida de la caldera se instalan un pequeño modulo de eficiencia, compuesto por un pequeño calentador de aire y un economizador. A ambos laterales del calentador de aire se le unen conductos de aire. Estos conductos se desplazan hasta la parte inferior del cenicero del horno.
A esta caldera se le diseñan un VTI y un VTF, con conductos de aire y gases. En ambos casos poseen un motor de 7 KW y 900 rpm con transmisión directa. Luego de extraídos los gases por el VTI, son llevados a través de un conducto a una chimenea metálica.
La Reberveria de la caldera solo se concibe debajo del horno con una construcción de ladrillos refractarios.
El sistema de agua alimentación y el de dosificación de productos químicos, se utilizaron los mismos que poseía la caldera. Los parámetros de operación del agua de alimentar y de la caldera son los mismos que dio el fabricante de la caldera compacta.
Toda la caldera está aislada térmicamente con lana mineral y forro de aluminio. Los elementos que se aíslan son los siguientes: horno, tuberías de agua y vapor, interconexión, caldera pirotubular, conducto de salida de gases, calentador de aire, conductos de aire primario y economizador, todo hace un total de 150 m² de superficie.
La instrumentación de esta caldera se basa en el nuevo diseño de la caldera para quemar biomasa, la cual es necesario utilizar en operaciones fáciles y confiables para el operador y que den la posibilidad de utilizar lazos a distancia o remoto según las necesidades operacionales. El control del nivel utilizado es el mismo que se utiliza en las calderas pirotubulares.
La caldera de biomasa terminada se muestra en la figura 3.

Figura 3. Caldera completamente terminada

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados del Balance Térmico de la caldera se muestran a continuación:

*G*eneración de Vapor [T/h]	1.80
Presión de Vapor Sobrecalentado [ata]	10.00
Pérdidas de los Gases a la Salida [%]	10.89
Fracción de Aire Primario	1.15
Pérdidas por Incombustión Química [%]	0.50
Pérdidas por Incombustión Mecánica [%]	3.00
Tipo de Combustible	Bagazo
Perdidas por Radiación al Medio [%]	0.20
Humedad del Combustible [%]	53.00
Eficiencia Bruta [%]	85.41
Temperatura del Combustible [°C]	40.00
Índice de Generación [Kg/Kgcombustible]	2.41
Valor Calórico Inferior [K/Kg]	1685.14
Exceso de Aire a la Salida del Horno	1.25
Temperatura del Aire Ambiente [°C]	30.00
Exceso de Aire a la Salida de la Caldera	1.32
Temperatura de los gases a la Salida [°C]	170.00
Combustible Quemado [Kg/h]	725.40
Combustible Consumido [Kg/h]	747.83
Temperatura de Vapor Sobrecalentado [°C]	180.30
Volumen Gases por VTI [m3/h]	4485.52
Temperatura del Agua de Alimentar [°C]	60.00
Volumen Aire por VTFp [m^3/h]	1930.21
% Purga Continua	3.00

El análisis técnico - económico del trabajo se realizó partiendo de los costos del Presupuesto de la inversión y del bagazo ahorrado por concepto de la sustitución del combustible de la caldera original (fuel oil). El Consumo de fuel oíl de la Caldera PKM 2.5 t/h cuando es nueva es de 184 kg /h de combustible. El Consumo de bagazo para generar las 1,8 t/h de vapor es de 740 kg/h, para generar las 2.5 t/h, igual que la Caldera PKM 2.5, se necesitaría 1028 kg /h de combustible. El costo del Montaje de la inversión es de $160 701.00.

Para convertir el bagazo consumido a petróleo equivalente por su valor calórico seria: 184 Kg/h de petróleo equivalente. Observamos anteriormente, que para la misma generación de la caldera de Biomasa, se obtiene el mismo consumo de combustible equivalente. Esto significa, que para generar 2.5 t/h en 11 meses de trabajo sería de 388 608 kg (388.608 ton). En los datos suministrados por el Banco Central de Cuba el 4 de agosto del 2010,en la parte de Energía informa, que el precio del fuel oil (es lo que consume la caldera PKM 2,5 t/h) estaba en ese momento a 463.49 la dólar/TM. Podemos decir que en un año se ahorraría 180 116 dólares por el cambio de biomasa por fuel oíl. Si el costo total de la Inversión fue de $160 701.00 aún y considerando todo en divisa, el Plazo de recuperación de la inversión será en 9.8 meses.

Con el trabajo realizado se dejaría de expulsar más de 1700 toneladas de CO2 a la atmósfera en cada año de trabajo por cada caldera que se instale.

En caso que las calderas Pirotubulares fueran de más capacidad, el ahorro sería mucho mayor.

CONCLUSIONES REFERENCIA.

- Este prototipo de caldera se puede utilizar en cualquier industria que posea calderas pirotubulares o que la necesite, para esto es necesario tener el combustible garantizado (biomasa: bagazo, paja de café, aserrín, viruta de madera y cáscara de coco, etc), estos últimos con una preparación adecuada.
- Las Pruebas de la caldera se realizaron con pacas de paja y trozos de madera (Figuras 4 y 5), con una excelente combustión sobre la parrilla (Figura 6)

Figura 4. Caldera en operación con paja de Caña

Figura 5. Caldera en operación con trozos de madera.

Figura 6. Combustión sobre la parrilla de la caldera.

- Con la utilización de esta caldera trae consigo un ahorro de combustible fuel oíl de 184 kg/h, cuando es nueva la caldera. Por otro lado El ahorro es superior a medida que el costo del combustible (fuel oil) en el Mercado Internacional sea superior al que se encontraba al realizar el trabajo.
- Se puede diseñar otras calderas de diferentes capacidades, es decir, que para cada modelo de caldera Pirotubular se necesita un nuevo diseño del horno, superficies recuperativas y ventiladores, en dependencia de su capacidad y geometría.
- Con la utilización de las pantallas de membranas o aleteadas se reduce el exceso de aire a la salida del horno, disminuyendo considerablemente la utilización de material refractario que es muy costoso.
- Por construirse todos los elementos en forma de paquete, el tiempo de montaje de la caldera se hace menor y con más calidad.
- Este trabajo obtuvo el Premio del Ministerio del Azúcar a la Innovación Tecnológica en el año 2010.

REFERENCIAS

- Programas de Balances Térmicos y Aerodinámicos de la Empresa de Diseño Mecánico (2009 y 1980).
- Compilación de artículos. 2da Edición DIT-MINAZ (1990), Calderas de vapor en la Industria Azucarera, pp, 2-17
- Pérez Garay L**.** (ICINAZ Abril 1997), Artículo: Recomendaciones para disminuir el arrastre de bagazo fino en los hornos para la Industria Azucarera.
- Planos de las caldera PKM 2.5 t/h.
- NC-19-27: 88. Técnica de Seguridad. Calderas de Vapor y Agua Caliente. Cálculo del grosor de la pared de las piezas.

- NC-19-28: 88. Técnica de Seguridad. Calderas de Vapor y Agua Caliente. Determinación de los coeficientes de resistencia para calcular el grosor de la pared de las piezas.
- Lashinski, A. A. [1983] Construcción de Aparatos Químicos Soldados, Tomo I, II/ Lashinski, A. A/Edición Pueblo y Educación. La Habana, 429 pp.
- Oliva, Luis, Beatón Soler Pedro y otros. [1986] Explotación y materiales constructivos de Generadores de Vapor/ Editorial Moscú, pp, 475.
- http://www.informatik.uni-kiel.de/~procos/dag9523/dag9523.html The steam boiler specification problem.
- http://www.aldelabarra.com/index.html Cálculo de Recipientes Sometidos a Presión Interior.

IMPACTO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA CUBANA CON LAS REMODELACIONES DE GENERADORES DE VAPOR.

REMODELING STEAM GENERATORS AND ITS IMPACT ON THE CUBAN SUGAR INDUSTRY.

Ing. Alexander Sánchez Leyva.

Empresa de Servicios Técnicos Industriales (ZETI, UEB ATIZ)
Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC)
Asociación de Ingenieros Mecánicos (ASIMEC)
alexander.sanchez@zetihl.azcuba.cu

RESUMEN.

La ponencia muestra, el trabajo desarrollado por el antiguo Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ) Estación Holguín, actualmente Empresa de Servicios Técnicos Industriales (ZETI, UEB ATIZ) dirigido a incrementar con bajo costo la capacidad y eficiencia de una parte importante de los Generadores de Vapor instalados en la Industria Azucarera Cubana y extranjera, mediante remodelaciones y rediseños de las mismas, se aumenta fundamentalmente las superficies radiantes del horno, el sistema de agua de alimentación de las pantallas, implementación de sistema de toberas neumáticas, disminuyendo los arrastres de partículas, que eleva la eficiencia de la combustión y de la caldera, además de mejoras en el sistema de aire primario y secundario.
Con los incrementos de la generación de vapor, permite afrontar, aumentos de capacidad en la producción de azúcar, electricidad y derivados, se mejora sensiblemente el Balance Energético de muchos ingenios, que pasan de consumidoras de electricidad, a exportadores de electricidad con los sobrantes de bagazo.
Los trabajos desarrollados se realizaron con buenos resultados en gran número de ingenios del país y el extranjero en los siguientes modelos de calderas: RETAL de 45 t/h, RETO de 25 y 45 t/h, EVELMA de 15 y 25 t/h, KEELER- EU de 40 t/h, DISTRAL Colombiana 40 t/h y TAKUMA Japonesa 40 t/h.
Constituye una de las actividades más importantes desarrolladas dentro del antiguo Ministerio del Azúcar de la República de Cuba. Debido a los positivos resultados obtenidos, se aprobó un “Plan Nacional de Reconversión de Calderas”.

Palabras claves: remodelaciones, calderas, capacidad, eficiencia.

ABSTRACT.

This paper deals with the work developed by Cuban Institute for Sugar Research, Holguín branch office, actuality Industrial Technical Service Enterprise directed to increase Capacity and Efficiency with low cost of the most important part of the Steam Generators (Steam Boilers) installed in the Cuban Sugar Industries and aboard by means of the their reconversion and redesign. Basically the radiation surfaces of the furnace, the feed water of the tube wall system are increase, pneumatic nozzles are used which reduce particles drifting and rises the combustion efficiency and the boiler, besides improve primary and secondary air system.

With the improvement in steam generation, an increment in sugar, electricity and by products production is allowed. Sensitivity Energy balance is improved in several Sugar mills which from Electricity consumers are transformed into Electricity exporters with bagasse surplus.
The works developed with good results in a great amount of Sugar mills in the country and aboard were done. In the following types of Steam Boilers: 1) Cuban RETAL 45 t/h, RETO 25 and 45 t/h, EVELMA , 15 and 25 t/h 2) USA KEELER, 40 t/h, 3) Colombian DISTRAL 40 t/h y 4) Japanese TAKUMA 40 t/h.
It is one of the more important activities within the Sugar Ministry (MINAZ) of the Republic of Cuba, because of the positive results already obtained, that has approved a "National Plan of Steam Boiler Reconversion", as part of its "Program for Energy Development of the Cuban Sugar Agro industry".

Key words: reconversion, boilers, capacity, efficiency.

INTRODUCCION.

Desde hace más de 20 años se están efectuando en la Industria Azucarera Cubana remodelaciones energéticas, con el objetivo, de ir logrando gradualmente una mejor integración de sus esquemas térmicos. Una de las áreas fundamentales en este sentido: es la de Generación de Vapor, pues es una de las que mayor influencia ejerce para lograr lo anteriormente planteado.
Para erradicar estas dificultades se han desarrollado nuevos diseños y remodelaciones de calderas existentes y se continúa trabajando en este sentido. El presente trabajo tiene como objetivo: mostrar en forma sintética, algunos de los diseños desarrollados y los resultados obtenidos durante las últimas décadas, en los modelos de generadores de vapor instalados en nuestro país y algunos trabajos desarrollados en el extranjero. Estos se desarrollaron primero: en la Empresa de Diseño Mecánico (EDIMEC), luego en el Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), y actualmente Empresa de Servicios Técnicos Industriales (ZETI) del Ministerio del Azúcar, dirigido a incrementar la capacidad y la eficiencia de una parte importante de las generadores de vapor, instaladas en la industria azucarera cubana y del exterior mediante remodelaciones y rediseños de las mismas.
Para disminuir los costos de producción del azúcar, es necesario, elevar la eficiencia de nuestros ingenios. Para ello es imprescindible contando con la eficiencia operacional, aumentar la eficiencia y capacidad de los equipos mediante nuevos equipos o realizando remodelaciones a los mismos, para lograr su vez, la mayor compactación de los mismos.
Resulta de capital importancia que la Industria Azucarera logre excedentes de bagazo, capaces de rendir volúmenes notables de energía, que permitan que los ingenios logren un buen balance energético y que aporten electricidad al sistema electro energético nacional en tiempo de zafra y en tiempo inactivo, este ultimo hasta que sus posibilidades lo permitan.
Los mismos constituyen una de las actividades más importantes desarrolladas dentro del Ministerio del Azúcar de la República de Cuba, para lograr la producción de todo el vapor necesario para la industria, utilizando solamente biomasa cañera en la producción de azúcar crudo; esto es, consumo de cero petróleo en los generadores de vapor de los ingenios.

MATERIALES Y MÉTODOS.

La Industria Azucarera Cubana, en este tiempo poseía gran cantidad de calderas ineficientes y de baja capacidad, y calderas eficientes y de baja o mediana capacidad, que tenían posibilidad de mejorar, situación esta que solo se podían realizar por dos vías:

- Sustitución de estas por generadores de vapor nuevos más eficientes,
- Reconversión de estos para aumentar su capacidad y eficiencia.

La primera vía presenta sin embargo algunos inconvenientes:

- Se eleva los costos de la inversión, pues se trata de adquirir e instalar un nuevo equipo con todos sus accesorios y equipamientos auxiliares. Las limitaciones económicas y financieras de nuestro país, anterior y actualmente no permiten alcanzar los resultados deseados, con la celeridad necesaria, solo a partir de esta vía.
- Extensión del plazo de ejecución del montaje. Si el montaje se realiza en área libre, se eleva aun más los costos de la inversión por las obras inducidas que hay que ejecutar como: la extensión de redes de transporte del bagazo y eléctricas, agua y vapor, tragantes de gases, cimentaciones, etc.

A los efectos de la remodelación de calderas deben considerarse de antemano los siguientes aspectos:

1. Si el diseño de la caldera permite su remodelación tecnológica mediante cambios económicamente justificables.
2. Si los domos y cabezales de las calderas poseen un remanente de vida útil de más de 20 años.

Una vez seleccionadas las calderas posibles de remodelar, se establecieron los siguientes lineamientos:

Para lograr el incremento de eficiencia:

- Minimizar la pérdida de energía con los gases de escape, utilizando superficies recuperativas adicionales (economizadores y calentadores de aire) en caso que no los posea o remodelando los mismos.
- Disminuir la pérdida por inquemados mediante la instalación de bloques de toberas adicionales, siempre que fuera posible con aire caliente, constituyendo una barrera neumática.

Para lograr el incremento de capacidad:

- Si el incremento es moderado, aumentar las superficies de transferencia mediante el apantallamiento de las paredes del horno.
- Si el incremento es elevado, diseñar un nuevo horno para incrementar su volumen y con ello las superficies radiantes del horno.
- Verificar la capacidad de las bombas de agua de alimentar y ventiladores, sustituir equipamiento en casos necesarios. Se deben verificar además las válvulas de seguridad.

En concordancia con lo anterior fueron remodelados los siguientes generadores de vapor: RETAL 45 t/h remodelado a 55 t/h, RETO de 25 y 45 t/h remodelados a 36 y 60 t/h respectivamente, KEELER 40 t/h remodelado a 50 t/h, EVELMA 15 t/h remodelado a 25 t/h, EVELMA III 25 t/h remodelado a 36 t/h, DISTRAL 40 t/h y TAKUMA 40 t/h.

En el caso de las Remodelaciones de calderas RETAL 45 t/h, calderas RETO de 25 y 45 t/h, EVELMA III 25 t/h, KEELER 40 t/h y la EVELMA 15 t/h, el trabajo desarrollado persiguió los siguientes objetivos fundamentales:

- Elevar sustancialmente los máximos incrementos de capacidad y eficiencia de la caldera, con el mínimo de recursos materiales.
- Incrementar la capacidad de generación de vapor de las calderas hasta que se permitiera.
- Máxima economía de recursos para la ejecución del trabajo.
- Utilizar al máximo los orificios que poseen los domos, sin la necesidad de realizar nuevos barrenos. Los nuevos domos a diseñar, que se pudieran construirse en la Fábrica de Calderas, al igual que los que los se le agreguen nuevos orificios.

Para diseñar cada una de las remodelaciones, primeramente se realizaron el estudio de las mismas, los cálculos constructivos y térmicos, donde se determinaron cada uno de los valores de sus superficies, y los resultados que se obtendrían en cada una de ellas. Luego se desarrollaron los anteproyectos, discutidos y aprobados en los ingenios seleccionados.

En la caldera RETAL 45 t/h (Figura 1) se elevo en 78 M^2 las superficies evaporativas del horno y la generación de vapor a 55 t/h (22 %) y en 1.54 % su eficiência (Figura 2); en la RETO de 25 a 36 t/h la generación de vapor (44 %) y 42 % las superficies radiantes del horno y en 1.42 % la eficiencia (Figuras 3) y la RETO 45 a 60 t/h (33 %), 4 2 % las superficies radiantes del horno y en 1.52 % la eficiencia (Figura 4). El incremento de la generación de vapor de las mismas, se logro por el aumento del área de las superficies radiantes del horno utilizando un paso más pequeño entre las tuberías, minimizando a su vez, el espesor de

las paredes refractarias, disminuyendo por este concepto el costo de la inversión. Se elevó además, la temperatura de salida de vapor.

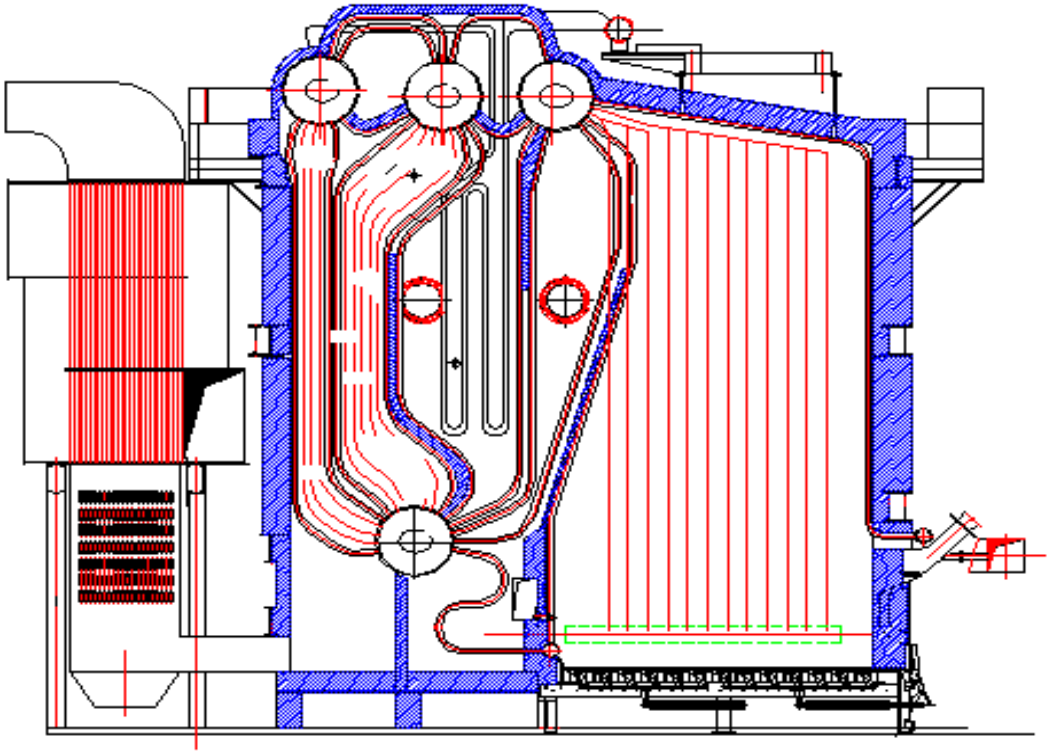


Figura 1. Remodelación de la caldera RETAL a 45 t/h Original

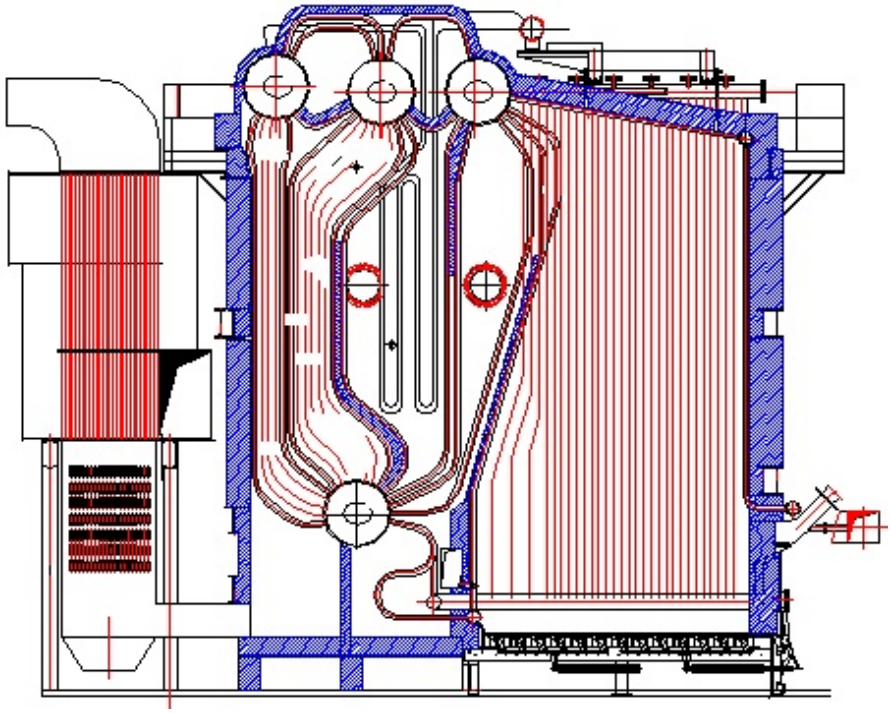


Figura 2. Remodelación de la caldera RETAL a 55 t/h

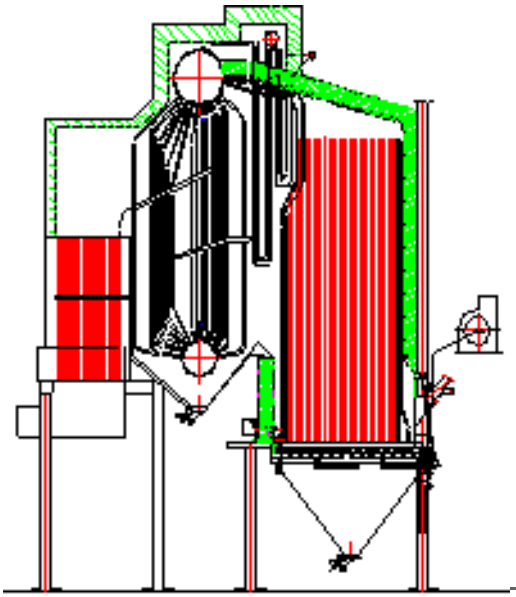


Figura 3. Calderas RET0 a 25 y 45 t/h Originales

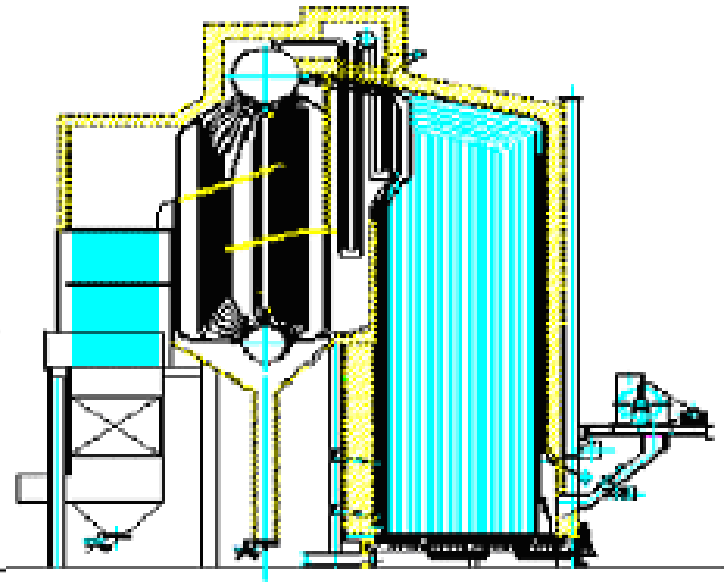


Figura 4. Calderas RET0 a 25 y 45 t/h Remodeladas a 36 y 60 t/h

En el generador de vapor KEELER de 40 t/h (Figura 5), aumentó en 1.3 % su eficiencia y la capacidad de generación de vapor en 10 t/h (25%), 44 % las superficies radiantes del horno (Figura 6), por el incrementó en 102 m^2 las superficies evaporativas del horno. Se eliminó el domo frontal (de los tres superiores), conllevando a un aumento del volumen del horno en un 17 % y la superficie de la parrilla en un 25 %., Se rediseñaron el sobrecalentador de vapor y las superficies recuperativas de calor (economizador y calentador de aire).

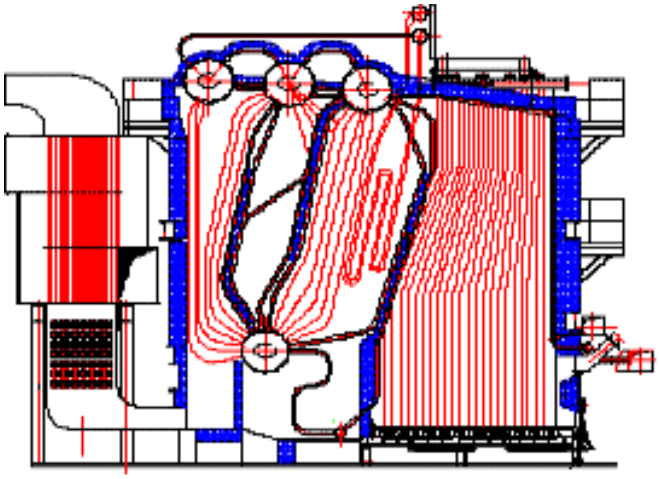


Figura 5. Caldera KEELER 40 t/h Original

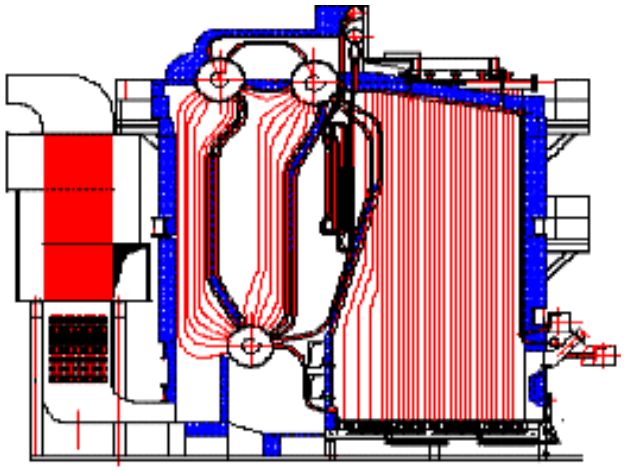


Figura 6. Caldera KEELER 40 t/h Remodelada a 50 t/h

La caldera EVELMA I 15 t/h (figura 7), tenía muy baja eficiencia, baja producción y bajos parámetros de vapor, quema del bagazo en celda, alto coeficiente de exceso de aire y alta temperatura de los gases de escape, respuestas lentas ante variaciones de la demanda de vapor, pues carecía de superficie radiante en el horno, al igual que sobrecalentador de Vapor. Además, no poseía equipos recuperadores de calor.

Por no existir estampas para construir los casquetes de los domos del diámetro original, en la Fábrica de Calderas, se diseñaron nuevos, al igual que los demás elementos de la caldera, teniendo en cuenta las dificultades antes mencionadas. Solamente se dejó el horno de celda, pero, elevando la eficiencia de la combustión, implementando sistemas de aire mediante toberas radiales y tangenciales ubicadas en la celda. Por los trabajos realizados se obtuvo un incremento de 4.47 % su eficiencia y en 10 t/h (66.6 %) en la generación de vapor y 100 % las superficies radiantes (Figura 8).

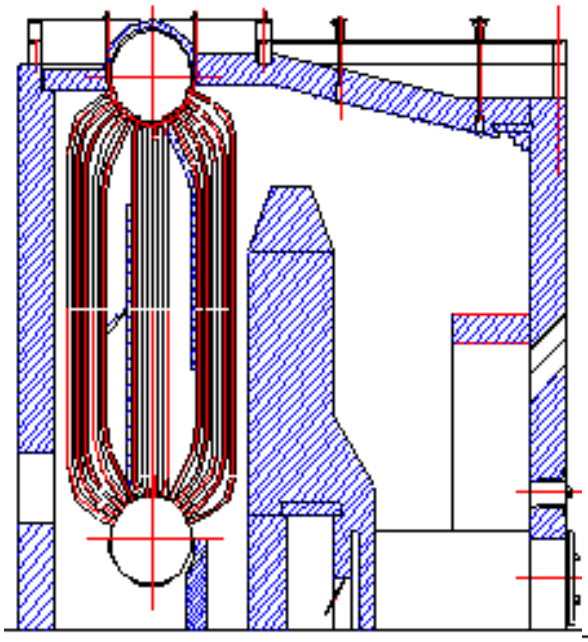


Figura 7. Caldera EVELMA I 15 t/h Original

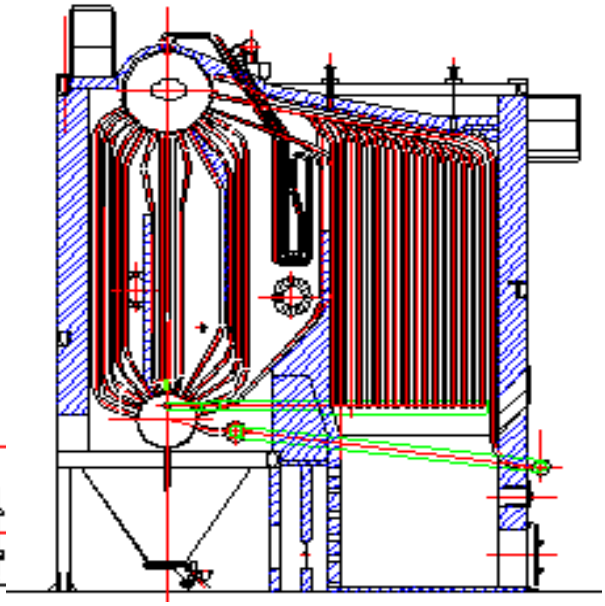


Figura 8. Caldera EVELMA I Remodelada a 25 t/h

La caldera EVELMA III 25 t/h (Figura 9), tenía las siguientes dificultades:

1. El horno de esta caldera es de tipo MARTIN (de herradura) con saltillo, la quema del combustible es en pila, por lo que la eficiencia de la combustión es baja, a pesar que esta caldera tiene instalados módulos de eficiencia y tiros balanceados.
2. La recolección de ceniza en la parte posterior de la caldera se hace engorrosa por la solución en su diseño original.
3. No se puede instalar la instrumentación necesaria para la automatización de la combustión, puesto que carece de los alimentadores de bagazo.
4. El paso de la tubería de las pantallas del horno es grande y variable.
5. Las alturas donde están instalados los colectores de las pantallas, con respecto al nivel 0,0 están por encima de los 3 metros.
6. El sobrecalentador de vapor está instalado dentro del haz de calderas, dificultando la revisión y mantenimiento, o reparación.

A esta caldera se sustituye el horno tipo MARTIN, que quema el bagazo en 4 celdas, por 4 secciones de parrillas basculantes, elevando las superficies radiantes del horno original, agregando además, pantalla trasera (Figura 10), logrando un incremento en la generación de vapor de 11 t/h (14 %) y en más de 8 % la eficiencia. Se remodelando cambiando el diámetro de los serpentines de 42 a 45 mm, aumentando la superficie del sobrecalentador de vapor, elevando la temperatura de salida de vapor. Se disminuye el espesor de las paredes refractarias. El ventilador de tiro inducido y de aire primario fue necesario su sustitución.

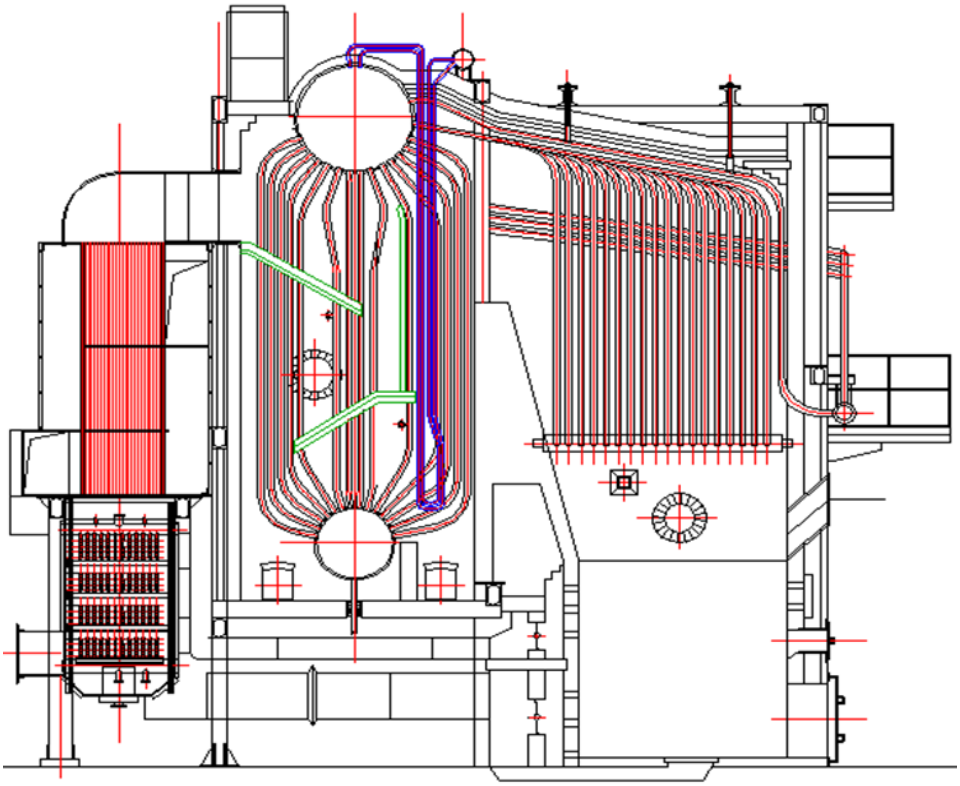


Figura 9. Caldera EVELMA III de 25 t/h Original

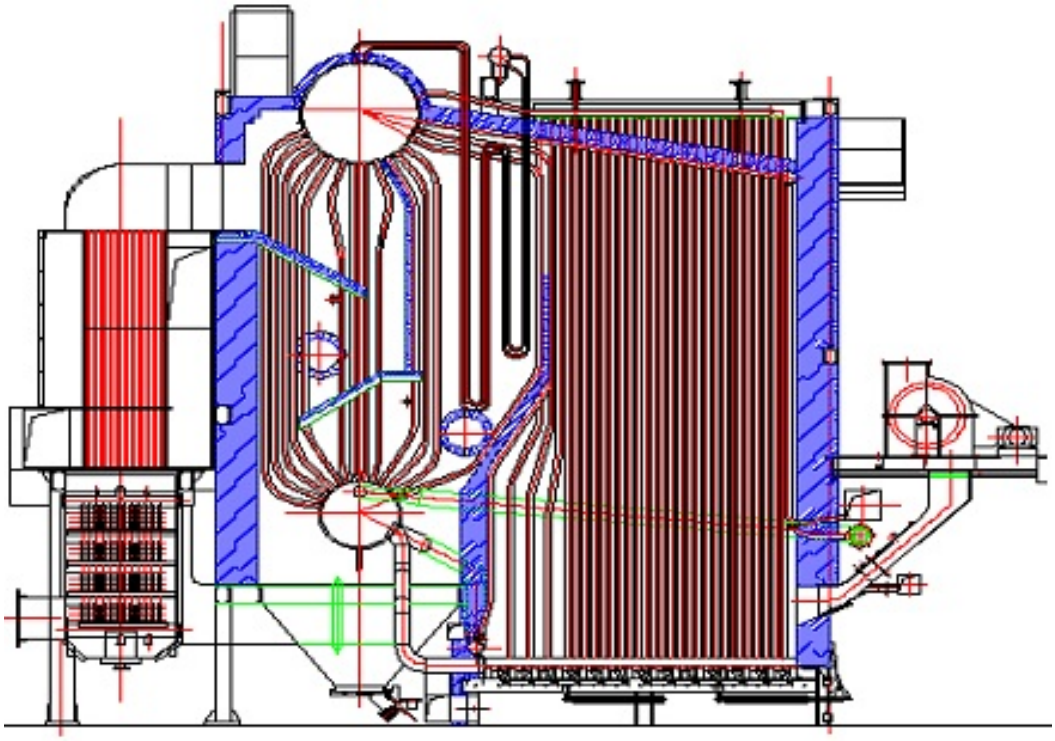


Figura 10. Remodelación de la caldera EVELMA III de 25 a 36 t/h

Las calderas DISTRAL Colombiana 40 t/h instalada en el ingenio Andahuasi, República del Perú y TAKUMA Japonesa 40 t/h, instalada en la Papelera MEXPAPE, en México, en ambos casos, se mejora la eficiencia de la combustión.

Los trabajos realizados a la Caldera DISTRAL, surge a partir del Estudio - Diagnostico realizado al ingenio, donde se señalan un grupo de deficiencias, como fueron:

1. Deficiente combustión del bagazo, por lo que en ocasiones no mantenía estable la presión de trabajo.
2. Gran arrastre de partículas de bagazo sin combustionar antes del sistema ciclónico de separación cenizas (antes del ventilador de tiro inducido).
3. Esta caldera en su diseño original cuenta del gran volumen de aire frío, utilizando tres ventiladores (forzado primario, secundario y sobre fuego), uno más que en los diseños tradicionales. Además en todos los sistemas de aire el número de toberas eran insuficientes por el aumento de la preparación del bagazo en los molinos.
4. Caídas constantes de la pared trasera de la parrilla.

Se rediseñó el sistema de aire, implementando toberas neumáticas con aire caliente, eliminación del ventilador de sobrefuego utilizando el secundario instalado y mejoras en la pared refractaria trasera del horno (Figura 11), dando solución a los problemas antes planteado. Se diseñó además, nuevo sistema de agua de alimentación a las paredes del horno, elevando su fiabilidad y facilidades en su mantenimiento.

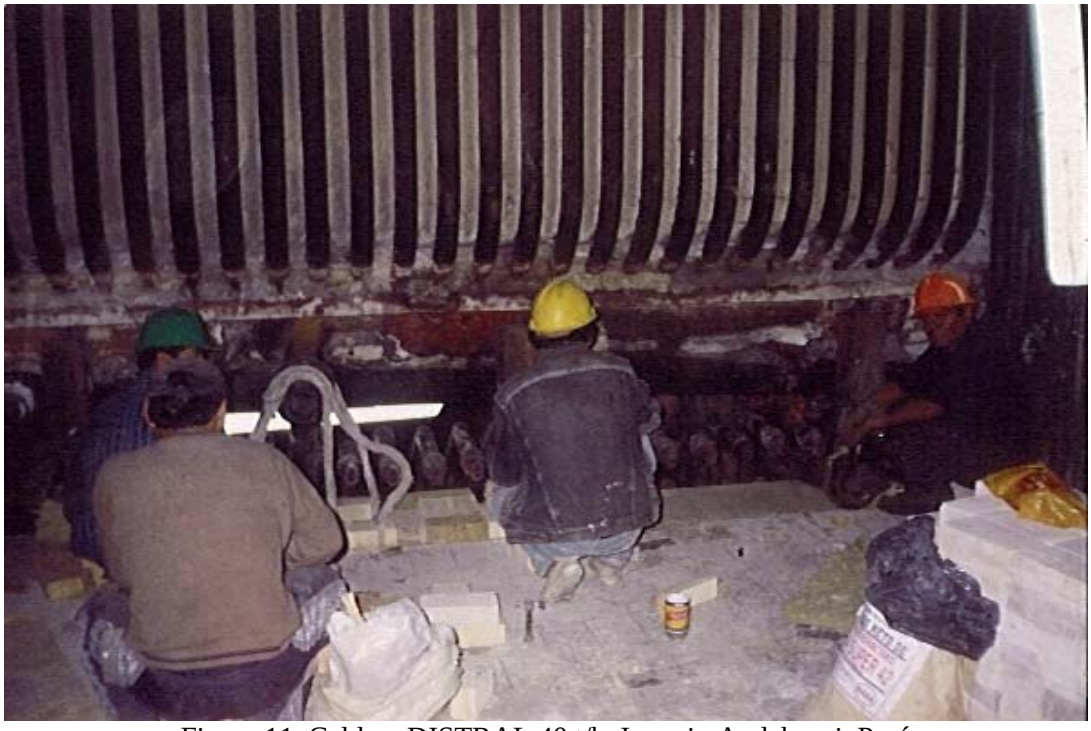


Figura 11. Caldera DISTRAL 40 t/h, Ingenio Andahuasi, Perú
Remodelación pared trasera

En la caldera TAKUMA se rediseña un nuevo sistema de aire, implementando toberas neumáticas con aire caliente (Figura 12), se ejecutó un nuevo diseño del sistema completo de alimentación de combustible y de la parrilla del horno (Figura 13), para quemar meollo (médula) de bagazo. con estos trabajos mejora enormemente la eficiencia de la combustión (Figura 14).

Figura 12. Remodelación de la caldera TAKUMA 40 t/h
Implementación toberas de aire

Figura13. Remodelación de la caldera TAKUMA 40 t/h
Instalación de nueva parrilla en el horno

Figura14. Remodelación de la caldera TAKUMA 40 t/h
Eficiencia en la combustión

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El análisis técnico - económico de cada una de las calderas se realizo partiendo del ahorro de bagazo producto del incremento de la eficiencia, convirtiéndolo en petróleo-equivalente por su valor calórico del en una zafra de 120 días como promedio. El resultado del combustible equivalente se multiplica por el precio del petróleo en el mercado internacional en esos momentos. Se tiene en cuenta además los costos del Presupuesto de la inversión.
El resultado del ahorro en una zafra de 120 días se calcularía el tiempo de recuperación de la inversión en días, y se puede llevar a meses de zafra.
Es importante señalar, que en la valoración económica de este trabajo, no se tuvo en cuenta lo que el ingenio dejo de pagar por amortización, pues en todas las Áreas de Generación de Vapor de los ingenios que se realizaron los trabajos, poseían más calderas y al ejecutar los mismos, se redujo en cuanto a la cantidad. Por otro lado, existe un ahorro sustancial por concepto de mantenimiento, reparación y operación de las mismas.
Los resultados Técnicos – Económicos obtenidos producto a las Remodelaciones, especificando por modelo la cantidad de generadores de vapor que fueron remodelados se muestran a continuación (Tabla I).

Tabla I. Resultados Técnicos – Económicos

	RETAL 55 T/H	**RETO 36 T/H**	**RETO 60 T/H**	**KEELER 50 T/H**	**EVELMA 25 T/H**	**EVELMA 35 T/H**
Aumento Generación de Vapor T/H	10	11	15	10	10	11
Temperatura Gases de Salida º C	200	212	210	225	288	213
Temp. agua salida Economizador º C	122	No posee	No posee	125	-	115
Disminución Pérdida gases escape %	2.0	1.59	1.69	1.61	3.13	2.47
Disminución Pérdida Radiación %	0.09	0.15	0.16	0.06	0.17	0.27
Aumento Eficiencia Bruta %	1.3 %	9.9	10.34	1.29	3.43	3.28
Aumento Índice Generación Kg/Kg	0.1	0.36	0.35	0.08	0.01	0.22
Disminución Combustible Cons. Kg/h	620	5887	5906	3680	2526	782
Volumen de gases por VTI M^3/h	152 530	90 524	148 170	190 406	144 312	126 950
Volumen de Aire por VTFp M^3/h	56 381	22 360	45 299	60 913	38 138	44 941
Volumen de Aire por VTFs M^3/h	4 698	2 795	5 060	11 075	-	3 755
Tensión Térmica Volumétrica $k/m^3/h$	144 133	149 929	154 698	138 555	180 327	166 216
Tensión Térmica de la Parrilla k/m^3h	1 603 294	1 699 203	1 698 184	1228 572	2 447 303	1314 670
Ahorro de bagazo (120 días) ton/zafra	1 800	16 928	17040	10 596	7 272	2252
Equivalente Petróleo (ton)	440	3 192	3215	1 999	1 372	425
Costo Presupuesto Inversión	63 691	173 513	136 003	550 548	220 000	105 729
Tiempo Recuperación Inversión (zafra)	1.2	0.45	0.65	2.3	1.33	
Cantidad de calderas Remodeladas	27	2	1	1	1	16
Ahorro $ (Dólares) x cantidad de calderas	1 404 000	766 088	385 800	239 880	164 640	816 000
Ahorro Total $ (Dólares)	**3 776 408**					

CONCLUSIONES

- ✓ Una de las vertientes de trabajo más importantes y apremiantes lo constituyen la remodelación de calderas existentes, a las cuales le queden años de vida útil, toda vez que cualquier reconversión es más económica que una nueva instalación. Como es sabido los nuevos montajes de calderas trae aparejada consigo obras inducidas como: modificaciones o nuevos conductos de gases, conductores de bagazos, naves, redes eléctricas, de vapor y agua, cuartos de control, que algunos casos unos son mayores que en otros.
- ✓ El trabajo constituye una de las actividades más importantes desarrolladas dentro del antiguo Ministerio del Azúcar de la República de Cuba, para lograr la producción de todo el vapor necesario para la industria, utilizando solamente biomasa cañera en la producción de azúcar crudo; esto es, consumo de cero petróleo en los generadores de vapor de los ingenios. Debido a los positivos resultados que ya se han obtenido, el antiguo MINAZ aprobó un "Plan Nacional de Reconversión de Calderas", como parte de su "Programa de Desarrollo Energético de la Agroindustria Azucarera Cubana".
- ✓ Con las remodelaciones realizadas a los generadores de vapor, que se obtienen en las calderas existentes a partir de las reconversiones y los rediseños elaborados, permitieron un ahorro sustancial, pues desde mediado de los años 80 no se ha adquirido nuevos equipos, que de otra manera no podrían materializarse por las limitaciones de recursos que impuso el período especial en Cuba y la actual crisis económica mundial.
- ✓ Con los incrementos de eficiencia de estos equipos permiten una mejoría sensible en el balance energético de muchos ingenios, que pasan de una situación de consumidores de electricidad, leña o petróleo a exportadores de electricidad con los grandes volúmenes de excedentes de bagazo, que

constituyen reservas de energía renovable y por tanto el consiguiente ahorro de divisas en la adquisición de combustible (petróleo) en los mercados internacionales. Además, con estos excedentes de bagazo, se puede reducir el tiempo perdido por la disponibilidad de combustible, se crea una base para la generación eléctrica en tiempo inactivo, se obtendrían mejores resultados si las zafras son más estables en las molidas. El trabajo no refleja el uso del bagazo sobrante para la generación y entrega de electricidad a la red nacional, que es muy difícil de contabilizar, que disminuiría enormemente el tiempo de recuperación de la inversión.

- ✓ Como aspectos positivos que introducen esta reconversiones en los ingenios, que lamentablemente a veces no se pueden contabilizar, pero que son una realidad en la industria, es, que por el incremento de la generación en los generadores de vapor y el ahorro de combustible, crea estabilidad en la generación de vapor, permitiendo reducir las pérdidas en el agotamiento de las mieles, y por tanto, el incremento del rendimiento y la eficiencia industrial.
- ✓ Los trabajos de barrenado de los domos deben de ejecutarse en la Fábrica de Calderas o talleres especializados.
- ✓ Para ejecutar estos trabajos se debe realizar el estudio del conducto de gases General y el sistema de de agua de alimentar.
- ✓ En todas las Reconversiones ejecutadas se realizo la Asesoría Técnica de Montaje y Puesta en Marcha de los mismos.

REFERENCIAS

- Programas de Balances Térmicos y Aerodinámicos de la Empresa de Diseño Mecánico (1980).
- Compilación de artículos. 2da Edición DIT-MINAZ (1990), Calderas de vapor en la Industria Azucarera, pp, 2-17
- Pérez Garay L**.** (ICINAZ Abril 1997), Artículo: Recomendaciones para disminuir el arrastre de bagazo fino en los hornos para la Industria Azucarera.
- Pérez Garay, L; Manso, W (1983), La remodelación de la caldera alemana de 25 t/h. Ponencia al Primer Encuentro Científico – Técnico ATAC- EDIMEC.
- Planos de las calderas RETAL 45 T/H, RETO 25 y 45 T/H, KEELER 40 T/H, DISTRAL COLOMBIANA 40 T/H y EVELMA 15 y 25 T/H, y TAKUMA Japonesa 40 T/H.
- NC-19-26: 88. Técnica de Seguridad. Calderas de Vapor y Agua Caliente. Requisitos Generales para el cálculo de la Resistencia.
- NC-19-27: 88. Técnica de Seguridad. Calderas de Vapor y Agua Caliente. Cálculo del grosor de la pared de las piezas.
- NC-19-28: 88. Técnica de Seguridad. Calderas de Vapor y Agua Caliente. Determinación de los coeficientes de resistencia para calcular el grosor de la pared de las piezas.
- Oliva, Luis, Beatón Soler Pedro y otros. [1986] Explotación y materiales constructivos de Generadores de Vapor/ Editorial Moscú, pp, 475.
- http://www.informatik.uni-kiel.de/~procos/dag9523/dag9523.html The steam boiler specification problem.
- http://www.aldelabarra.com/index.html Cálculo de Recipientes Sometidos a Presión Interior.

ESTANDARIZACIÓN DEL VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO PARA LAS REMODELACIONES DE LOS GENERADOR DE VAPOR DE 60, 80 Y 100 t/h

STANDARDIZATION OF INDUCTION FAN FOR REMODELING STEAM GENERATION BOILERS OF 60, 80 AND 100 t/h

Aurelio Alfredo Soto Pérez de Camino.

Diseño de la Unidad de Asistencia Técnica de la Empresa de Servicios Técnicos Industriales, ZETI.
Calle 27 # 263 esq. B, Plaza de la revolución, Teléfono 836 9667 E-mail: aurelio.soto@atiz.azcuba.cu

Resumen

Se proyecta y diseña de manera estandarizada el Ventilador de Tiro Inducido para Generadores de Vapor de Bagazo (Caldera bagacera) mediante un método desarrollado **Remodelación del Ventilador de Tiro Inducido** que permitió solucionar la necesidad para calderas de 60 t/h de generación de vapor con horno de parrilla basculante en la Unidad Empresarial de Base (UEB) 5 de Septiembre como primera aplicación, y remodelaciones de mayor empeño aplicadas en la UEB Uruguay en caldera con horno *pin hole* de 80 t/h de generación de vapor, basándose en el método de semejanza y crecimiento geométrico y un tercero para caldera de 100 t/h, obteniéndose por primer vez la serie de ventiladores basados en un mismo Esquema Aerodinámico, con diseño y tecnología propia aplicable a los Fábricas de Equipos ZETI lo que permite la sustitución de importaciones en las nuevas inversiones del Plan de Desarrollo Energético AZCUBA, garantizándose la reposición parcial o total en el Plan de Reparación de Zafra.

Summary

It is projected and designs in a standardized way the Induced Fan for Generators of Vapor of bagasse Boilers by means of a developed method: Remodeling of Induced Fan. This allowed to solve the necessity for steam generation bagasse boilers of 60 t/h, with dumping grate grid in the Sugar Factory (UEB) "5 of September" like first application, and remodeling of more determination applied in the UEB "Uruguay", in boiler with pin hole grid of 80 t/h of steam generation, being based on the method of likeness and geometric growth and a third of 100 t/h boilers, being obtained by first time one series of fans based on the same Aerodynamic Outline, with own design and applicable technology to ZETI'S Equipment Factories, what allows the import substitution in the new investments for the Plan of Energy Development AZCUBA. Those guarantee the partial or total reinstatement in the Harvest Repair Plan.

Palabras claves

Ventilador de tiro inducido (Induced Fan)
Remodelación (Remodeling)
Generador de vapor (Steam Generators)

Introducción

En la tecnología de nuestra industria azucarera partiendo de la caña de azúcar, el vapor juega un factor fundamental para la obtención del grano de azúcar que es directamente proporcional al beneficio industrial, es decir que por cada Kg de caña procesada se puede obtener el azúcar y el bagazo combustible de las calderas para la obtención del vapor. El funcionamiento del generador de vapor o caldera es la combinación del bagazo con una mezcla proporcional de aire para el proceso de la combustión estableciendo en el horno el valor calórico necesario en los gases de la combustión, que en su recorrido entre los tubos portadores de agua en su interior cede su calor al agua para su transformación a vapor.
El ventilador de tiro inducido (VTI) es el encargado de trasegar los gases de la combustión desde el horno hasta el exterior por la chimenea lo que determina el alto grado de responsabilidad en la eficiencia del generador de vapor.
El no cumplimiento de las características de caudal y presión para una temperatura de los gases y la pérdida de fiabilidad por rotura del ventilador de tiro inducido provocan tiempo perdido en la producción de azúcar por lo que en dependencia de la capacidad productiva instalada se puede tener grandes pérdidas en valores económicos como el incumplimiento del plan de producción de azúcar, de contratos y hasta la falta del alimento azúcar en la población por lo que todo aporte técnico a mejorar sus cualidades, su vida útil, interviene directamente en los logros económicos de la zafra azucarera.
En nuestra industria se ha desarrollado la reparación de estos equipos pero la demanda de los mismos, así como los nuevos valores de sus características para las calderas de mayor generación de vapor en función del plan energético de la industria motivan nuevos esfuerzos en logros nacionales que permitan la sustitución de importaciones de VTI de un alto costo de adquisición en un mercado internacional.
En la técnica moderna del diseño de ventiladores es ampliamente conocido el tipo de doble succión; su característica fundamental es la reducción de sus valores geométricos para grandes caudales y la de poseer un árbol de gran longitud entre puntos de apoyo de alta complejidad en el diseño y construcción de sus elementos dinámicos, que se conjugan con los componentes estáticos para lograr el efecto positivo deseado.

Materiales y Métodos

Un ventilador de las características planteadas suele ofertarse del tipo de doble succión, esta solución necesita un árbol cuyos puntos de apoyo oscilan entre 4000 y 5000 mm con el inconveniente de que su fabricación en el país por el momento no se puede realizar por ser árboles forjados de muy poco maquinado de terminación superficial y de tratamiento térmico en hornos verticales no existentes.
Este ventilador es de los diseños más complejos en sus elementos dinámicos y por lo tanto, los cuidados y mejoras deben ser muy bien estudiados pues un pequeño fallo puede determinar pérdida de tiempo grande y a veces la inutilidad de la caldera para la zafra.

Primera aplicación

Como el Generador de Vapor de Bagazo (Caldera bagacera) de la Unidad Empresarial de Base (UEB) 5 de Septiembre en Rodas de la provincia de Cienfuegos se remodeló a 60 t/h de generación de vapor con parrilla basculante y poseía un ventilador conocido como VTI 51,0 de doble succión cuyo estado técnico necesitaba una reparación para continuar su explotación y los valores de sus características no satisfacen la nueva caldera.
Se analizó la posibilidad de utilizar parte de las piezas existentes en la UEB que generara el mínimo de cambios en la obra y una menor inversión por lo que se realizó el estudio de un ventilador híbrido que cumpliese con las características necesarias para su utilización.

Partiendo de que la pieza fundamental en este caso es el árbol y por experiencia acumulada de equipos conocidos, se calcularon varias geometrías del Rotor (pieza dinámica que debe garantizar el movimiento del caudal y obtener la presión característica) definida la geometría del rotor se comprobó la posible utilización en el interior del cuerpo existente (VTI 51,0-02-00-00PE) que con una reparación en la obra se podía utilizar así como el conducto de entrada (VTI 51,0-04-00-00PE), el bastidor básico (VTI 51,0-00-05-00PE) esto último permitió que se utilizara el cimiento tipo foso existente por lo que no se generarían trabajos de construcción civil y al mismo tiempo se mantendría la ubicación del VTI y su instalación al igual que otras piezas.
La geometría seleccionada permitió el diseño del rotor y de las piezas que se conjugan con su trabajo, realizando el cálculo de resistencia de sus componentes, su acople al núcleo y este al árbol con el objetivo de utilizar los menores espesores posibles con vistas a una menor masa dinámica.
Se realizaron los cálculos del resultado del trabajo del rotor con la superficie de trabajo del cuerpo y el resultado final del acoplamiento de todos sus elementos con vistas a lo deseado.
El cálculo dinámico del conjunto árbol – rotor – acoplamiento, el más complejo de los realizados para la determinación de las revoluciones y vibraciones permisibles de resistencia de trabajo del conjunto dinámico a la nueva exigencia de trabajo que garantizaran la explotación.
Como último paso se realizó el cálculo comprobatorio del diseño mediante *software* desarrollado por nuestro Departamento de Diseño en colaboración con el Centro de Estudios de Tecnología Energética Renovable (C.E.T.E.R), con el resultado de los valores deseados.

Segunda aplicación

Motivado porque el país adquirió los ventiladores de la nueva Caldera Bagacera de horno Pin Hole de 80 t/h de generación de vapor (primer diseño nacional de este tipo de caldera) para la UEB Uruguay en Jatibonico, provincia de Sancti Spiritus dado que el Ventilador de Tiro Inducido no cubrió las necesidades de la misma, además de presentar una excesiva vibración en su marcha hasta efectuarse la rotura de uno de los puntos de apoyo, problemática presentada en la operación de la zafra 2007-2008, y dada la imposibilidad de su nueva adquisición en el mercado mundial a un alto costo y sobre todo el poco tiempo de que se disponía para su contratación y arribo al país para realizar la zafra 2008-2009. Se consideró oportuno realizar un Proyecto de Remodelación del Ventilador híbrido de Tiro Inducido que satisficiera las necesidades de la nueva caldera.

Tercera aplicación

Dada la necesidad del nuevo generador de vapor con horno *Pin Hole* de 100 T/h de generación de vapor para las nuevas exigencias del Plan de Desarrollo Energético AZCUBA se hace necesaria una nueva versión del ventilador de tiro inducido que satisfaga las necesidades de la misma con un caudal de 300 000 m^3/h.

Generalización de las versiones

Motivado porque al país no llegaban a tiempo los equipos adquiridos de VTI de las dos nuevas calderas bagaceras con horno de parrilla basculante de 80 t/h de generación de vapor para la Unidad Empresarial de Base Urbano Noris, San Germán, de AZCUBA en la provincia de Holguín se determinó por los resultados de la zafra la aplicación de la versión VTID19,40 con lo que la Unidad Empresarial de Base pudo cumplir su Plan de producción de zafra 2007-2008 correspondiente a lo instalado, sustituyéndose por los adquiridos para la zafra 2008-2009 y los inconvenientes presentados en su instalación y explotación motivados porque en su prueba de montaje se implota el rotor, el que sustituido por nueva versión del fabricante, presenta

excesivo desgaste en la zafra, motivando la sustitución por la versión VTID19,95 de producción ZETI para la zafra 2009-2010.

Desarrollo de la Estandarización.

Motivado por los resultados de los diseños mencionados y dada la tarea de las nuevas Inversiones del Plan Energético AZCUBA en las Unidad Empresarial de Base de las Empresas Azucareras Provinciales se dispone la estandarización de ventiladores de tiro inducido de doble succión para unidades generadoras de vapor y su abastecimiento de repuestos propuesta al Consejo Técnico Asesor de Generación de Vapor con las adecuaciones siguientes:
Generadores de Vapor de 60, 80 y 100 t/h y presión de vapor sobrecalentado de 28 Kg/cm^2.
Con horno del tipo de Parrilla Basculante o del tipo *Pin Hole*, que instalados con chimenea de 60 m de altura como mínimo necesita que cumpla con los siguientes parámetros de operación:
Para caldera de 60 t/h con volumen de gases a trasegar de 265 000 m^3/h a una temperatura 150 ºC y una presión de 245 mm columna de H_2O.
Para caldera de 80 t/h con Volumen de gases a trasegar de 280 000 m^3/h a una temperatura 150 ºC y una presión de 260 mm columna de H_2O.
Para caldera de 100 t/h con Volumen de gases a trasegar de 300 000 m^3/h a una temperatura 150 ºC y una presión de 270 mm columna de H_2O.
que contemplara la sustitución de bancada unitaria por bases independientes en los puntos de montaje con nueva cimentación de hormigón que garantiza los niveles correspondientes a los puntos de fijación de los dos conjuntos constituyentes con plataformas metálicas o de hormigón para el montaje, la operación y el mantenimiento del ventilador.

Utilización de un diseño único, que permita las tres variantes de rotores:

VR-1 Variante de Rotor D_2 = 1940 mm, 265 000 m^3/h y su Cono de Entrada VC-1.

VR-2 Variante de Rotor D_2 = 1995 mm, 280 000 m^3/h y su Cono de Entrada VC-2.

VR-3 Variante de Rotor D_2 = 2050 mm, 300 000 m^3/h y su Cono de Entrada VC-3.

Y que el diseño permitiera las cuatro variantes de árboles existentes en las Empresas Azucareras:

VA-1 Variante de árbol de 4250 mm entre apoyos y su Núcleo VN-1.

VA-2 Variante de árbol de 4480 mm entre apoyos y su Núcleo VN-2.

VA-3 Variante de árbol de 4580 mm entre apoyos y su Núcleo VN-3.

VA-4 Variante de árbol de 4600 mm entre apoyos y su Núcleo VN-4.

Las tres variantes de rotores diseñados y las cuatros variantes de árboles existentes permiten obtener doce variantes de ensambles como muestra la Tabla No. I

Tabla No. I Variantes de ensamble			
Rotor VARIANTES Árbol	Diámetro D_2 1940 mm	Diámetro D_2 1995 mm	Diámetro D_2 2050 mm
Distancia entre apoyos de 4250 mm	VR-1 VE-1 VA-1	VR-2 VE-2 VA-1	VR-3 VE-3 VA-1
Distancia entre apoyos de 4480 mm	VR-1 VE-4 VA-2	VR-2 VE-5 VA-2	VR-3 VE-6 VA-2
Distancia entre apoyos de 4580 mm	VR-1 VE-7 VA-3	VR-2 VE-8 VA-3	VR-3 VE-9 VA-3
Distancia entre apoyos de 46000 mm	VR-1 VE-10 VA-4	VR-2 VE-11 VA-4	VR-3 VE-12 VA-4

Diseño único del conjunto estático que satisfaga las variantes propuestas del conjunto dinámico.

Tabla No. II Unidades ensambladas del Conjunto Estático		
Código	Denominación	Observaciones
VTID20,50-02-00-00-00 PE	Cuerpo	
VTID20,50-03-00-00-00 PE	Cono de Entrada	Variante según Rotor
VTID20,50-04-00-00-00 PE	Conducto de Entrada	
VTID20,50-05-00-00-00 PE	Regulador	
VTID20,50-06-00-00-00 PE	Barra de Regulación	
VTID20,50-07-00-00-00 PE	Base del Cuerpo	
VTID20,50-08-00-00-00 PE	Base del Pedestal	
VTID20,50-09-00-00-00 PE	Base del Motor	Variante según Rotor
VTID20,50-10-00-00-00 PE	Apoyo	

Diseño del conjunto dinámico.

Tabla No. III Unidades ensambladas del Conjunto Dinámico		
Código	Denominación	Observaciones
VTID20,50-01-00-00-00PE/ Variante de Ensamble	265000 m^3/h Rotor 280000 m^3/h 300000 m^3/h	Variante según características de operación de la caldera y del árbol existente en la EA
VTID20,50-01-02-00-00 PE	Núcleo	Variante según Árbol existente
VTID20,50-00-00-00-01	Árbol	Variante existente en la UEB
	Acoplamiento	Existente por tipo de árbol
	Motor eléctrico	Variante según necesidad

El equipo está diseñado por unidades ensambladas que conforman los dos conjuntos, el primero estático y segundo dinámicos que garantizan el efecto positivo deseado.
Por sus características de diseño se define del Tipo de Doble Succión con impelente de doce álabes de espesor constante en forma de arco y montados con ángulo de salida del flujo que lo caracteriza como atrasado ensamblados entre discos en paralelo, delantero o cubridor y el central, con doce elementos guía del flujo a la entrada del canal. Este conjunto unido al núcleo permite el montaje en el árbol motriz con el sentido del giro de la variante de montaje seleccionada y caracterizado de mediana presión.
El conjunto estático compuesto de un cuerpo central de ancho constante en forma de caracol que facilita la acción de la fuerza centrífuga desarrollada en el fluido por el rotor hacia la salida rectangular del equipo con dos cuerpos laterales Conductos de Entrada de forma rectangular y Compuerta Reguladora del fluido, Cono de Entrada que facilitan el movimiento de los gases hacia el área de trabajo del rotor en el interior del cuerpo, con bases independientes que facilitan el ensamble de los conjuntos para su trabajo y lo fijan al cimiento de hormigón en sus tres niveles.
Primer nivel de fijación de la Base del Cuerpo Código VTID20,50-07-00-00-00 PE
Segundo nivel de fijación de Base de Pedestal Código VTID20,50-08-00-00-00 PE (variante)
Tercer nivel de fijación de la Base del Motor Código VTID20,50-09-00-00-00 PE (variante)
El conjunto dinámico constituido por el árbol (VTID20,50-00-00-00-01) que sostiene a los elementos que garantizan el movimiento giratorio y que en su posición media está montado el rotor y paralelo a él a una distancia media correspondiente entre los puntos de apoyo definida por el ancho del conjunto estático se encuentran los rodamientos de rodillo a rótula con manguito de desmontaje en su pedestal o puntos de apoyo y hacia el extremo derecho ó izquierdo se monta el acoplamiento existente y el motor eléctrico correspondiente que le entrega la energía mecánica para su trabajo.

Reconocimientos

Diploma del **1er** Taller ATAC, Tecnología de la Producción Azucarera, efectuado el 30 de noviembre del 2007 en la Provincia de Villa Clara, por la Remodelación de Ventilador en la UEB 5 Septiembre.

En el XVI Fórum de Ciencia y Técnica desde la base hasta la propuesta del XVI Fórum Nacional la categoría de RELEVANTE.
En la segunda edición 2008 por la versión VTID19,40
En la 3ra Etapa 2009 por la versión VTID19,95
Nos encontramos en la espera del XVI Fórum Nacional

En la Dirección de Ciencia y Técnica
Premio MINAZ 2008 como Innovación Tecnológica

Resultados y discusiones

Este esfuerzo y resultado de AZCUBA, de los trabajadores de nuestro Grupo de Diseño de la Unidad Básica Empresarial de Asistencia Técnica ZETI unido a los trabajadores de la Fabrica de Equipos Mecánico ZETI-Palma, los trabajadores especializados en la construcción y montaje de las Sucursales Provinciales ZETI en unión de los trabajadores de las área de generación de vapor de las Unidad Empresarial de Base de las Empresas Azucareras Provinciales que han recibido los nuevos Generadores de Vapor, han permitido que se realice el Proyecto y Diseño de Estandarización de Ventilador de Tiro Inducido para Generadores de Vapor de Bagazo (Caldera Bagacera) por método desarrollado **Remodelación del VTI** dando solución a la necesidad para caldera de 60 t/h de generación de vapor con horno de parrilla basculante en la Unidad Empresarial de Base 5 septiembre como primera aplicación, y remodelaciones de mayor empeño

aplicado en la UEB Uruguay en Caldera Bagacera con horno Pin Hole de 80 tn/h de generación de vapor, basándose en el método de semejanza y crecimiento geométrico, y un tercero para Caldera de 100 t/h obteniéndose por primer vez serie de ventiladores basados en un mismo **Esquema Aerodinámico**, **con diseño y tecnología propia aplicable a las UEB ZETI de AZCUBA**, lo que permite la sustitución de importaciones en las nuevas inversiones del Plan de Desarrollo Energético garantizándose el autoabastecimiento para las nuevas inversiones del Plan Azucarero y de la reposición parcial o total en el Plan de Reparación de Zafra.
Este esfuerzo ha permitido el autoabastecimiento de ventiladores en casos puntuales para las calderas bagaceras existentes y en especial las nuevas demanda de VTI de mayor generación de vapor por más de 6 años.

La siguiente Tabla No. IV cuantifica el ahorro realizado en la sustitución de importación de VTI en las Zafra desde 2006-2007 hasta 2011-2012. (5 años)

Tabla No. IV
Se han ahorrado por la Generalización de los Diseño del VTID19,40 y del VTID19,95

De haberse realizado la adquisición en el mercado abríamos gastado este valor.	Costo en el mercado (CUC)	15% de impuesto y transporte (CUC)	Costo (CUC)
Valor de la última adquisición del ventilador de características similares en el mercado	105 663,80	15 849,57	121 513,37
Por la aplicación en 14 veces en sustitución de importaciones hemos ahorramos hasta la fecha en esta versión del VTID19,40 para Caldera de 60 t/h	1 584 957,00	237 743,55	1 822 700,55
Por la aplicación en 3 veces en sustitución de importaciones hemos ahorramos hasta la fecha en la versión del VTID19,95 para Caldera de 80 t/h (la realidad es un valor mayor al estimado)	31 699,14	47 548,71	364 540,11
Por sustitución de importaciones Ahorro			**2 308 754,03**

Conclusiones

El resultado obtenido por los VTI nos pone en el compromiso de realizar trabajos similares con el mismo objetivo para los Ventiladores del Tiro Neumático de Bagazo, los de Tiro Forzado Primario y los de Tiro Forzado Secundario.
Lo que permite garantizar el modulo o paquete de ventiladores a instalar por tipo de Generador de Vapor, diseñado, construido, montados por ZETI y su explotación por las UEB AZCUBA.

Referencias.

Moreno, Conrado
Metodología para el diseño. Julio, 1982.
Diseño aerodinámico de un ventilador centrífugo,

Ramos Páez, Néstor
Editorial IPJAE. Ciudad de La Habana,
Bombas, ventiladores y compresores.

Cherkasski , V. M.
Editorial MIR. Moscú,
Bombas, ventiladores y compresores.

Mataix, Claudio
Editorial ICAI. Madrid,
Turbo máquinas hidráulicas.

Solomajova T. C
Editorial MIR. Moscú,
Ventiladores centrífugos.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONOMICA DE UN PROYECTO DE GENERACION ELECTRICA, A PARTIR DE LA GASIFICACION DE BAGAZO EN UN CENTRAL AZUCARERO CUBANO. (**ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF AN ELECTRIC GENERATION PROJECT FROM BAGASSE GASIFICATION IN A CUBAN SUGAR MILL**)

Autores: Alfredo Torres Fernández, Oscar Almazán del Olmo y Bárbara Hernández*.

Institución: ICIDCA, AZCUBA*.
E-mail: alfredo.torres@icidca.edu.cu

RESUMEN

La gasificación permite transformar combustibles sólidos, de bajo valor y potencialmente contaminantes, en un gas limpio que por su facilidad de transporte, presión, composición y contenido energético presenta múltiples aplicaciones, entre las cuales se encuentra la generación de electricidad, de forma limpia y altamente eficiente, mediante la utilización del gas de síntesis, que sustituye al gas natural en un ciclo combinado (Biomass Integrated Gasification Combined Cycle (**BIGCC**).
En el trabajo se hace un análisis de factibilidad técnico-económica de un proyecto de implementación de la tecnología BIGCC en un central azucarero de 10000 tc/d, a partir de la gasificación del bagazo con vistas a demostrar la posibilidad, desde el punto de vista económico, de invertir en ese tipo de tecnología en las condiciones actuales del sector azucarero cubano.
Posteriormente, se realiza un análisis de sensibilidad, para determinar primero el punto de equilibrio del proyecto y luego las variaciones en los indicadores económicos al cambiar el monto total de las inversión, lo que resulta un elemento muy valioso en la toma de decisiones en el proceso inversionista.
Palabras claves: proyectos de inversión, indicadores financieros, sensibilidad, riesgo.

ABSTRACT

Some solid fuels which are very pollutant with low value could be transformed into a clean gas that could be used in many industrial applications for its physical properties and for being easy transported. Then, electricity generation is one of the most important applications. In this case, electricity could be generated, cleanly and efficiently, through the use of syngas that replaces the natural gas in a combined cycle (Biomass Integrated Gasification Combined Cycle (**BIGCC**)).
In this paper, an economic feasibility study of the project about the implementation of Biomass Integrated Gasification Combined Cycle (**BIGCC**) in a 10000 tc/d sugar mill from bagasse gasification is done in order to demonstrate, from the economic point of view, the possibility of investment in such kind of technology in actual conditions of Cuban sugar industry.
Later a sensitivity analysis is presented to show first the break-even point associated to the project and after the variations of financial indicators due to changes on the amount of total investment. Its results are very helpful for making right decisions in the project investment process.
Key words: investment projects, financial indicators, sensitivity, risk.

INTRODUCCIÓN.

La aplicación típica de BIGCC consiste en la combustión del gas de síntesis (**syngas**) producido a partir de la gasificación de la biomasa, en una turbina de gas para generar electricidad en el ciclo superior. El gas exhausto que sale de dicha turbina es enviado al generador de vapor de recuperación térmica (en ingles HRSG), que produce el vapor que finalmente pasa por la turbina de vapor para generar la electricidad adicional que ocurre en el ciclo inferior y donde el vapor exhausto se envía a proceso para el calentamiento térmico. La primera planta demostrativa que utilizó la tecnología BIGCC, fue construida en 1993 en Varnamo, Suecia, produciendo 6 MW de potencia eléctrica y 9 MW de potencia térmica. El sistema estuvo constituido por: un gasificador presurizado de lecho fluidizado circulante, una turbina de gas y una turbina de vapor. La eficiencia total en cogeneración fue de 83%, mientras que la eficiencia eléctrica fue de 33% según Ciferno (2002). En la actualidad, según Lora y otros (2013) la tecnología de más perspectiva, dirigida a incrementar la generación de electricidad, es el sistema **BIGCC,** en el cual la tasa de generación eléctrica adicional puede tener valores entre 220 a 380 Kwh/tc. Este sistema es capaz de combinar la potencialidad de generación de dos ciclos termodinámicos con distintos elementos motrices: gas de síntesis y vapor.

Adicionalmente, el volumen de biomasa que se recoge en un determinado momento, depende de una variedad de factores. Para los residuos agrícolas, estas consideraciones incluyen el tipo y secuencia de la operación de cosecha, la eficiencia del equipo de cosecha, las restricciones ambientales establecidas, etc. El mecanismo de recolección usado para los residuos agrícolas es similar al empleado actualmente en la recogida del heno. Estos sistemas de recolección de los residuos agrícolas tienen diferentes niveles de eficiencia, provocando que el costo de recolección varíe entre 5 a 7 USD/t según Ciferno (2002). El costo de transportación de la biomasa depende de la distancia a que se encuentre, así como del volumen a transportar. En el 2002, según Ciferno (2002), el costo de transportación de los residuos agrícolas en los Estados Unidos estuvo en el rango de 7 a 10 USD/t en base seca, para pacas convencionales.

En las condiciones de una zafra cubana, se tienen las siguientes consideraciones según Vázquez et al (2011):

- **Bagazo sobrante**: Se considerara solo en los caso de los ingenios que alcanzan un aprovechamiento de la norma potencial del 85%. Se estima que se dispondrá al final del periodo del 10% de todo el bagazo producido y que tiene un valor de 8,05 USD/t.
- **Paja (RAC) recogida en el campo**: Se considera que el corte mecanizado deja en el campo el 50% de la paja y que es posible recoger por medios mecanizados hasta el 50% de esta, lo que significa un índice de producción de 79 kg/ton de caña molible. El costo de producción en el campo utilizando el equipamiento brasileño para la producción de pacas cilíndricas se considera de 8 USD/t.

Las principales variantes en las tecnologías de conversión de biomasa para la cogeneración son los sistemas de combustión directa y los sistemas de gasificación. Los sistemas de gasificación de biomasa operan mediante el calentamiento y posterior craqueo térmico de las partículas sólidas, formando un gas combustible denominado gas de síntesis o **syngas,** que se limpia y filtra, para luego combustionarse en un modo simple o en un ciclo combinado

En el trabajo se hace un análisis de factibilidad técnico-económica de un proyecto de implementación de la tecnología BIGCC en un central azucarero de 10000 tc/d, a partir de la gasificación del bagazo; empleando dos variantes. En una de las variantes se incluye la posibilidad de reducir el consumo específico de vapor y por tanto extender el tiempo de generación en un 33%. Este estudio permite demostrar la posibilidad, desde el punto de vista económico, de invertir en ese tipo de tecnología en las condiciones actuales del sector azucarero cubano.

Posteriormente, se realiza un análisis de sensibilidad, para determinar primero el punto de equilibrio del proyecto y por ende los márgenes de seguridad asociados a cada una de las variantes analizadas. Luego, el

impacto que tienen las variaciones en el monto total de la inversión en los valores de los indicadores económicos, lo que resulta un elemento muy valioso en la toma de decisiones en el proceso inversionista.

MÉTODOS.

Una forma de mejorar la eficiencia de generación de electricidad, desde el punto de vista ambiental, es mediante la producción simultanea de energía eléctrica y calor (Combined Heat and Power = CHP) que se denomina COGENERACION. Para la gasificación del bagazo se necesita sólo el **30%** del aire estequiométrico.

Según Lesme (2005) las experiencias sobre gasificación de bagazo a escala piloto desarrolladas en Brasil para un amplio rango de condiciones de trabajo, demostraron que el valor calórico del gas de síntesis producido es de 4.5 MJ/Nm^3. Sobre la base de estos parámetros, para gasificar 1300 t de bagazo/d (14 kg/s) que se corresponde con el flujo de bagazo para producir el vapor necesario (combustión) en el proceso de fabricación en una zafra de **10 000 t/d**, se obtendría un flujo de gases de 38 kg/s, con un **calor útil de 220 MW,** considerando una eficiencia de la turbina de gas de 35% obtendríamos una potencia de generación de electricidad de **77 MW para la turbina de gas.**

En los ciclos combinados, la turbina de vapor genera el 50% de la del gas por lo que **la potencia de generación total de electricidad sería de 114 MW.** En resumen, los datos sobre la producción de electricidad para una molida de 10000 tc/d, comparando la tecnología convencional con BIGCC, aparecen en la tabla I.

Tabla I. Comparación de la tecnología convencional con BIGCC en la producción de electricidad

PRODUCCION DE ELECTRICIDAD PARA UNA MOLIDA DE 10000 tc/d				
TIPO DE TECNOLOGIA	**PRODUCCION ESPECIFICA (kWh/tc)**	**CONSUMO EN PROCESO (MWh/d)**	**PRODUCCION TOTAL (MWh/d)**	**ENERGIA VENDIDA (MWh/d)**
CONVENCIONAL	15-24	200	150-240	
BIGCC	**300-330**	**200**	**3000-3300**	**2800-3100**

Nota: Elaboración propia con los datos que aparecen en (Lesme, 2005)

En la tabla II se muestran los costos de inversión en la tecnología BIGCC en función de la potencia instalada.

Tabla II. Costos de inversión en la tecnología BIGCC en función de la potencia instalada.

COSTO DE INVERSION EN LA TECNOLOGIA BIGCC EN FUNCION DE LA POTENCIA INSTALADA		
TIPO DE TECNOLOGIA	**POTENCIA INSTALADA (MWe)**	**COSTO (USD/kWe)**
BIGCC	30,00	3.000,00
	60,00	2.200,00

Nota: Elaboración propia con los datos que aparecen en (Lesme, 2005)

En la tabla III aparece la información básica relacionada con el costo de generación de electricidad en la tecnología BIGCC empleando el gasificador de Alta Presión, que sirve de referencia en la evaluación económica del proyecto bajo estudio.

Tabla III. Costo de generación de electricidad en la tecnología BIGCC empleando el gasificador de Alta Presión

Parámetros	**Gasificador de Alta Presión**
Flujo (t/d)	1.215,00
Tipo de Gasificador	**Cama Fluidizada con Alta Presión**
Eficiencia de Gasificador (%)	72,00
Potencia Eléctrica (MW)	32,60
Costo de Biomasa (USD/MWh)	**30,00**
Costo de Oper. y Mant. (USD/MWh)	19,00
Amortización (USD/MWh)	30,00
Costo Neto de Generación (USD/MWh)	**79,00**

Nota: Elaboración propia a partir de la información de (USA-EPA, 2007)

En la tabla IV aparecen los valores de los parámetros fundamentales que se emplean en el cálculo de los indicadores financieros: VAN, TIR y período de recuperación y el análisis de sensibilidad. Por otra parte, se considera un costo de generación total en las condiciones cubanas superior al 20 % de lo que reporta la literatura internacional y un costo variable unitario de generación equivalente al 60 % del costo de generación total.

Tabla IV. Valores de los parámetros fundamentales que se emplean en el cálculo de los indicadores financieros y el análisis de sensibilidad

PARAMETROS	VALORES
ENERGIA VENDIDA (MWh/d)	3.000,00
PRECIO USD/MWh	150,00
COSTO NETO DE GENERACION (USD/MWh)	94,80
COSTO VARIABLE DE GENERACION (USD/MWh)	57,83
INVERSION TOTAL (MUSD)	90.000,00
COSTO FIJO TOTAL DE GENERACION (USD/a)	9.000,00

Nota: Elaboración propia.

Por último, en la evaluación económica del proyecto se consideran dos variantes (A y B), teniendo en cuenta lo que plantean Lora y otros (2013): al reducirse el consumo específico de vapor de 500 a 400 kg de vapor/tc se incrementa el bagazo sobrante en 45 kg /tc. Además se toma un horizonte de planificación de 10 años con un período de dos años para la construcción y montaje de la instalación.

- **Variante A:** 150 días de generación
- **Variante B:** 200 días de generación, un incremento del 33% por considerar la reducción del consumo específico de vapor.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los valores obtenidos de ganancia total para el empleo de las variantes A y B en el proyecto, que son la base para la construcción del flujo de caja para ambas variantes, se muestran en la tabla V.

Tabla V. Valores obtenidos de ganancia total para las variantes A y B

Días de GENERACION	ENERGIA VENDIDA TOTAL (MWh/a)	INGRESO TOTAL (MUSD/a)	COSTO TOTAL (MUSD/a)	GANANCIA TOTAL (MUSD/a)
150,00 - **A**	450.000,00	67.500,00	42.660,00	**24.840,00**
200,00 - **B**	600.000,00	90.000,00	56.880,00	**33.120,00**

Nota: Elaboración propia

El flujo de caja para las variantes A y B junto con los indicadores financieros asociados aparece en la tabla VI.

Tabla VI. Flujo de caja para las variantes A y B junto con los indicadores financieros asociados.

HORIZONTE DE PLANIFICACION (a)	FLUJO DE CAJA DE VARIANTE A	FLUJO DE CAJA DE VARIANTE B
0	-54.000,00	-54.000,00
1	-36.000,00	-36.000,00
1	24.840,00	33.120,00
2	24.840,00	33.120,00
3	24.840,00	33.120,00
4	24.840,00	33.120,00
5	24.840,00	33.120,00
6	24.840,00	33.120,00
7	24.840,00	33.120,00
8	24.840,00	33.120,00
9	24.840,00	33.120,00
10	24.840,00	33.120,00
VAN al 12 %	**34.974,12**	**72.269,92**
TIR	**22%**	**29%**
PERIODO DE RECUPERACION (a)	**3,62**	**2,72**

Nota: Elaboración propia

Se aprecia en la tabla 6 que para las variantes A y B, el Valor Actual Neto (VAN) es positivo y la tasa interna de retorno es superior a la tasa de actualización (12%), lo que indica la factibilidad económica de cada una de ellas. El resultado en materia de periodo de recuperación indica que la inversión se recupera dentro del horizonte de planificación del proyecto, en ambas variantes en un período de recuperación menor de cuatro años.

En la determinación del punto de equilibrio se utiliza la siguiente expresión:

$$\mathbf{PE = CFT / (P – CVU)}$$

Donde:
PE: Punto de Equilibrio
CFT: Costo Fijo Total.
P: Precio Unitario.
CVU: Costo Variable Unitario.

Sustituyendo con los valores asociados al proyecto bajo estudio se obtiene que **PE** sea igual a 97645,65 MWh/a. Este valor representa un margen de seguridad para la variante A de 78,3% y para la variante B de 83,73%.

La variación de los indicadores financieros en función del incremento en el monto total de la inversión se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. Variación de los indicadores financieros en función del incremento en el monto total de la inversión.

INDICADORES	BASE		20%		30%		45%	
	A	B	A	B	A	B	A	B
VAN (MUSD) al 12%	**34.974,12**	**72.269,92**	19.591,47	56.887,27	11.900,14	49.195,94	363,15	37.658,95
TIR	**21,88%**	**28,88%**	17,04%	23,64%	14,95%	21,50%	12,09%	18,71%
PERIODO DE RECUPERACION (a)	**3,62**	**2,72**	4,35	3,26	4,71	3,53	5,25	3,94

Nota: Elaboración propia

Se aprecia en la tabla VII como en la medida en que se incrementa el monto total de la inversión, los indicadores financieros se deterioran. La variante A deja de ser factible económicamente con un incremento del monto de la inversión superior al 45%.

CONCLUSIONES

- A pesar de ser una inversión multimillonaria y suponerse un costo de generación superior en un 20% al reportado en la literatura; se demuestra la factibilidad económica de ambas variantes. Incluso la variante B, que considera la reducción del consumo específico de vapor y por ende, se extiende el tiempo de generación, tiene un período de recuperación inferior a tres años.
- En la proyección estratégica del Grupo Azucarero AZCUBA hasta el año 2017 aparecen entre los objetivos fundamentales alcanzar: la mejora de la eficiencia energética de los centrales y la ampliación de la capacidad de molida de algunos centrales (hasta 10000 tc/d). Por tanto, los supuestos asumidos en el estudio son totalmente válidos.
- El estudio demuestra un bajo riesgo operativo en ambas variantes ya que el margen de seguridad no excede el 75%.
- El incremento del monto de la inversión total impacta de forma significativa en los valores de los indicadores financieros. Se aprecia, que cuando dicho monto excede el 45%, la variante A deja de ser factible desde el punto de vista económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Lora, E.E.S. et al (2013), The sugar and alcohol industry in the biofuels and cogeneration era: a paradigm change, artículo aceptado en el Congreso ISSCT, Brasil.
2. Ciferno, J.P.; Marano, J. (2002), Benchmarking Biomass Gasification for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production, U.S. Department of Energy & National Energy Technology Lab.
3. Vázquez, C. et al (2011), Generación de electricidad en los centrales azucareros en el período fuera de zafra, Informe Técnico, MINAZ.
4. EPA Combined Heat and Power Partnership (2007), Biomass CHP Catalog, Energy and Environmental Analysis, Inc., an ICF International Company, and Eastern Research Group, Inc. (ERG)
5. Lesme, J. (2005), Gasificación de Biomasa, Primera Convención Internacional de Energías Renovables, Cuidad Habana, Cuba.

Bioproductos

EFECTO DEL INOCULANTE *AZOSPIRILLUM* SOBRE LA CALIDAD DE TRES VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR.

EFECT OF *AZOSPIRILLUM* INOCULANT ON THE QUALITY OF THREE SUGAR CANE VARIETIES.

Autores: Gómez, E[1]., Guevara, Y[1]., San Juan, A. N[1]., Lemes, T[1]., Serrano, J[1]., Borges, D[1]., Silva, D[2]., Cutiño, Y[2].

1. Planta Bioprocesos CUBA-10 del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. (ICIDCA). Pablo Noriega, Quivicán. Mayabeque, Cuba. E-mail: **invesc10@enet.cu**
2. ETICA Mayabeque - Pinar del Río. INICA.

Resumen

El género *Azospirillum* ha sido objeto de un renovado interés debido a su amplia distribución natural, su capacidad fertilizante, su impacto ambiental positivo y los altos precios de los fertilizantes químicos. Razón por la cual este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del inoculante base *Azospirillum* sp**.,** sobre la calidad de la caña de azúcar. Se realizaron evaluaciones en la parcela experimental del centro con tres variedades de caña (C86-12, C86-52, C323-68) utilizando un diseño experimental de bloques al azar con tres tratamientos (control, inoculante (I), inoculante + PK (II) y tres replicas. El efecto de la inoculación de *Azospirillum* sp., en las plantas mostró una respuesta estimuladora sobre todas las variables del crecimiento determinadas con respecto al control, obteniéndose los mejores resultados para la variedad C86-12 y el tratamiento II, siendo este el más significativo al presentar las plantas tratadas mayor vigor. Para los caracteres azucareros % pol, Brix y fibra en caña (PPC, PBC y PFC, respectivamente) no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y sí entre las variedades, destacándose la C323-68 en cuanto a calidad de la caña, con un incremento en el contenido de sacarosa de 13.83 % respecto al control.
La evaluación del rendimiento guía y el rendimiento potencial de la caña arrojó valores por encima de la media de los controles utilizados para las variedades C323-68 y C86-12 (16.46 -17.44 % y 13.5- 13.94 % respectivamente), alcanzándose los mejores resultados con el tratamiento II.

Palabras claves: *Azospirillum*, variedades, rendimiento, caña de azúcar

Summary

The genus *Azospirillum* has been object of a renovated interest due to its wide natural distribution, its fertilizer capacity, its positive environmental impact and the high prices of the chemical fertilizers, for those reasons this work had as objective to evaluate the effect of the inoculant *Azospirillum* sp., on the quality of the sugarcane. There were carried out evaluations in the experimental parcel of our center with three sugarcane varieties (C86-12, C86-52, C323-68) using an experimental design of blocks at random with three treatments (control, inoculant (I), inoculant + PK (II)) and three replies. The effect of the inoculation of *Azospirillum* sp., in the plants showed a stimulative respose on all the variables of the growth determined with regard to the control. The best results were obtained for the variety C86-12 and the treatment II which was the most significant because treated plants presented bigger vigor. For the sugar characters, % pol, Brix, and fiber in sugarcane (PPC, PBC and PFC, respectively) no significatives differences were obtained between the treatments but it did was observed among varieties. The variety C323-68 stands out as the best variety for sugarcane quality, with an increment in sucrose content of

13.83 % compared with control. The evaluation of the guides yield, the potential yield in sugarcane and the purity of the juice for the different treatments give superior results than control for varieties C323-68 y C86-12 (16.46 -17.44 % and 13.5- 13.94 % respectively), standing out the best results in treatment II.

Key words: *Azospirillum*, varieties, yield, sugar cane

Introducción

El uso de bacterias diazotróficas promotoras del crecimiento vegetal ha ocupado un lugar relevante entre los trabajos de investigación de microbiología agrícola. Esto es debido a su importancia para mejorar el rendimiento de los cultivos, preservar los ecosistemas agrícolas y reducir el impacto ambiental. *Azospirillum* es probablemente una de las bacterias rizosféricas más estudiada en todo el mundo, además de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*. Alfonso y otros (2007), Rodríguez Cáceres y otros (2007), Puente y otros (2007)

Existen antecedentes que muestran en esta bacteria la capacidad de fijación libre del nitrógeno atmosférico, la producción y liberación de hormonas promotoras del crecimiento radical (ej. auxinas, giberelinas y citocininas), de enzimas tales como las pectinolíticas, lo que distorsiona la funcionalidad de células de las raíces, y el aumento de la producción de exudados que promueve el crecimiento de otros organismos rizosféricos. Bayan y Levanony (1990), Omay y otros (1993), Okon y Labandera (1994). El mecanismo analizado con mayor amplitud ha sido la producción de auxinas, especialmente la del ácido indol acético (AIA). Morgenstern y Okon (1987), Harari y otros (1988), Zimmer y otros (1991)
Los cambios morfológicos y fisiológicos producidos en las raíces de plantas asociadas con *Azospirillum* favorecen la absorción de agua y minerales del suelo, sumado a la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, pueden promover el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Galal y otros (2000), Burdman y otros (2000), Burdman y otros (2001), Dobbelaere y otros (2001)

El género *Azospirillum* ha sido objeto de un renovado interés debido a su amplia distribución natural, sus propiedades fertilizantes, su impacto ambiental positivo y los altos precios de los fertilizantes químicos, al tener en cuenta estos aspectos el Grupo de Biofertilizante de AZCUBA, proyecta como estrategia para la disminución de los fertilizantes químicos, potenciar la agricultura cañera sobre bases sostenibles. Con vistas a desarrollar en Cuba la producción y aplicación del biofertilizante base *Azospirillum* sp., se llevó a cabo la producción a escala piloto de este inoculante en fermentador de 500 Litros, por lo que este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del inoculante *Azospirillum* sp**.,** sobre la calidad de tres variedades de caña de azúcar.

Materiales y Métodos.

La investigación fue realizada en la Planta Bioprocesos CUBA-10 del (ICIDCA) ubicada en la comunidad Pablo Noriega del municipio Quivicán, la cual cuenta con una extensión territorial de 1 ha, de ellas 0.24 corresponden a tierras ociosas, donde se estableció la parcela experimental subdividida en 3 áreas destinadas a los siguientes cultivos: Hortalizas, 0.13, caña de azúcar, 0.10 y otros 0.01 ha, en suelo Ferralítico rojo típico mezclado con estiércol y sistema de riego localizado.

Producción del inoculante base *Azospirillum* sp.

El inoculante fue obtenido a partir de la producción de lotes en fermentador Marubischi de 500 Litros, mediante fermentación sumergida de la cepa *Azospirillum* 8I proveniente de la colección de microorganismos del INICA, en medio compuesto por miel final de caña, hidrolizado de levadura torula, fosfato de amonio, sulfato de magnesio, cloruro de potasio de acuerdo a lo informado por Fernández (1999), citado por San Juan A. N. y otros (2010).

Metodología de ensayos

Los experimentos con el inoculante *Azospirillum* sp., se realizaron en una parcela de 22.4m^2 (suelo Ferralítico Rojo típico mezclado con materia orgánica) mediante un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones por tratamiento, se utilizaron tres variedades de caña (C86-12, C86-52, C323-68), las dos primeras, genotipos caracterizados como productores de alto contenido azucarero y la otra variedad comercial de alto rendimiento agrícola González y otros (2008) obtenidas del área experimental de la ETICA Mayabeque – Pinar del Río. Los tratamientos utilizados fueron: Control (C), inoculadas (I), inoculadas + PK (II) con dosis de 100L ha^{-1} de $1x10^9$ UFC mL^{-1} (unidades formadoras de colonias mL^{-1}) del inoculante asperjado en el surco con mochila de aspersión. Se tomaron 6 observaciones por variedad. Las evaluaciones se realizaron en diferentes momentos del ciclo del cultivo (5, 8 y 12 meses) y las variables de respuesta fueron:

Variables agronómicas: Longitud, diámetro, # de tallos en 1 metro, peso seco de las raíces y hojas de las plantas.

Contenido azucarero y dinámica de madurez: Brix refracto métrico (PBC), Porcentaje de pol en jugo (PPJ), Porcentaje de fibra en caña (PFC), Porcentaje pol en caña (PPC) y Pureza del jugo (PJ).

Rendimiento Agro azucarero: Rendimiento guía (RG) y Rendimiento potencial de la caña (RPC).

Análisis químicos

Análisis químicos de suelo. Se realizó el muestreo y los análisis de pH, materia orgánica y nitrógeno del suelo según metodología establecida en la Norma Cubana ISO 10390:1999.

Azúcares reductores totales y libres (ART y ARL). Se empleó el método de Eynon-Lane modificado por el ICIDCA. (Manual de técnicas analíticas del ICIDCA).

Análisis microbiológico

Biota del suelo. Para la determinación de las poblaciones microbianas del suelo el procesamiento de las muestras se realizó mediante el método de las diluciones seriadas, fue utilizada solución fisiológica estéril (0.85% NaCl). Posteriormente las diluciones fueron sembradas e incubadas en placas conteniendo diferentes medios de cultivo y condiciones de incubación. (Tabla I)

Tabla I. Condiciones de cultivo e incubación de los microorganismos, según lo recomendado por Harrigan y McCance (1968).

Grupo Microbiano	Medio de Cultivo	Condiciones de Incubación	
		Temperatura	Tiempo
Bacterias	Agar Nutriente	30	24 horas
Hongos	Saboureaud glucosa	28	7 días
Actinomicetos	Agar almidón	30	72 horas

Las concentraciones microbianas presentes en las muestras se determinaron mediante el método de conteo de viables. En el caso de los hongos se realizó el conteo de colonias a los 3, 5 y 7 días. En todos los casos se descartaron las placas con más de 300 colonias.

Los tratamientos fueron comparados mediante ANOVA con el empleo del test LSD de Fisher para determinar la diferencia entre medias, utilizando el programa STATGRAPHICS Centurión XV.

Resultados y Discusión.

Algunas características de la fertilidad del suelo de la parcela experimental.

Los resultados obtenidos en la caracterización química y microbiota del suelo del área de estudio muestran las características nutricionales favorables del mismo. (Tabla II) El análisis de pH indica que estamos en presencia de un suelo ligeramente alcalino carbonático próximo al intervalo máximo de pH para el cultivo de la caña de azúcar (Intervalo pH: 6-8) Infoagro (2008), los contenidos de materia orgánica y nitrógeno se encuentran por encima de los valores medios reportados para suelos Ferralitizados cálcicos Pérez (2007), ello puede ser debido a que a este suelo se le incorporó una fuente de materia orgánica que mejoró sus propiedades, contribuyendo así a una mejora de la estructura y la biodiversidad microbiana. Según lo informado por Pérez y Casas (2005) todos los suelos tienen porcentaje medio de materia orgánica en el entorno de 3.

Tabla II. Composición química y microbiológica del suelo Ferralítico rojo típico de la parcela experimental.

PH (H_2O)	PH (KCl)	M.O (%)	N_2 (%)	P_20_5 (%)	Bacterias (UFC g^{-1})	Hongos (hongos g^{-1})	Actinomicetos (UFC g^{-1})
7,81	7,45	5,60	0,28	0,27	$1,6x10^6$	$2,0x10^5$	$2,5x10^6$

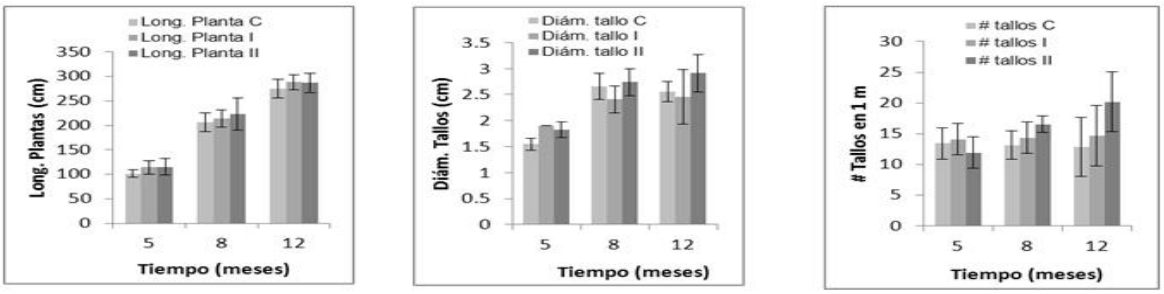
Por otro lado, la caracterización de los principales grupos microbianos presentes evidencia que en las muestras analizadas se encuentran representantes típicos de los grupos más comunes existentes en el suelo. No se detectaron diferencias significativas entre el Log UFC g^{-1} de las poblaciones de un mismo grupo (bacterias, hongos, actinomicetos) en las muestras analizadas para ($P< 0.05$). Se ha demostrado que el pH del suelo y el contenido de materia orgánica son factores que influyen de forma determinante sobre este índice Hernández y otros (2004), Rives y otros (2007). La liberación continua de exudados radicales por el cultivo también interviene en el incremento o disminución de las poblaciones asociadas.

Evaluación del inoculante base *Azospirillum* sp., en la parcela experimental.

Variables agronómicas.

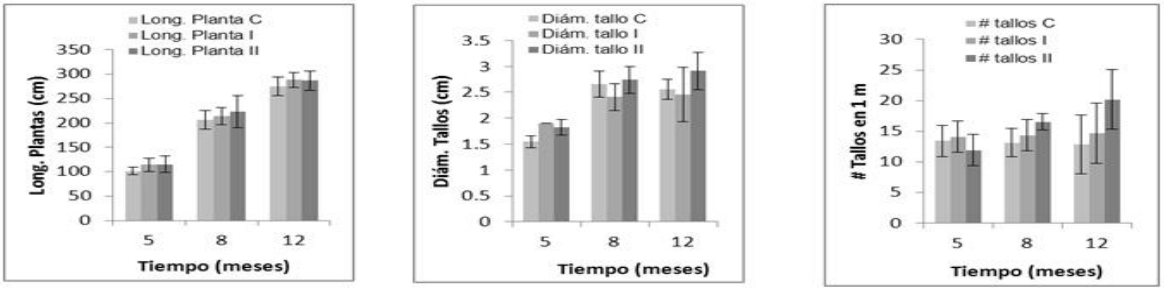
Dada la capacidad de producir sustancias estimuladoras y nitrofijadora de *Azospirillum* sp., proveedoras del crecimiento vegetal, se realizó este estudio para determinar la implicación agronómica de este microorganismo sobre la calidad de tres variedades de caña de azúcar.
Los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas con el grupo de genotipos estudiado, mostraron una respuesta estimuladora con la inoculación de *Azospirillum* sobre todas las variables del crecimiento determinadas con respecto al control, fundamentalmente para la variedad C86 -12. (Figuras 1-3) Los valores alcanzados para las variables: longitud, diámetro y # de tallos en un metro de las plantas de caña de azúcar de esta variedad fueron superiores a los de las variedades C86-52 y C323-68 (Figuras 4-9), el tratamiento II fue el más significativo al presentar las plantas tratadas mayor vigor.

1 **2** **3**



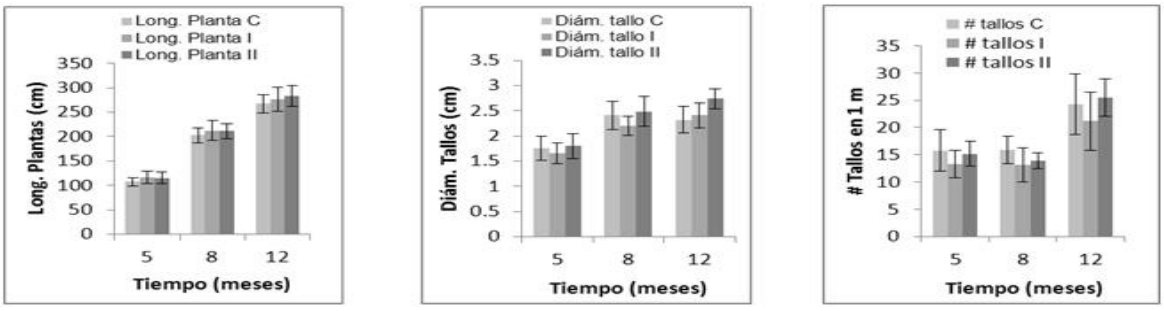
Figuras (1-3). Respuesta de caña de azúcar Variedad C86-12 a la inoculación con *Azospirillum*, **durante el tiempo de cultivo: Longitud (1), diámetro del tallo (2), # de tallos en 1m (3) de las plantas.**

4 **5** **6**



Figuras (4-6). Respuesta de caña de azúcar Variedad C86-52 a la inoculación con *Azospirillum*, **durante el tiempo de cultivo: Longitud (4), diámetro del tallo (5), # de tallos en 1m (6) de las plantas.**

7 **8** **9**



Figuras (7-9). Respuesta de caña de azúcar Variedad C323-68 a la inoculación con *Azospirillum*, **durante el tiempo de cultivo: Longitud (7), diámetro del tallo (8), # de tallos en 1m (9) de las plantas.**

Estos resultados corroboran lo planteado por diferentes autores en cuanto a la utilización de bacterias diazotróficas asociativas con capacidad para promover el crecimiento de las plantas como una alternativa de biofertilización, dado el potencial benéfico que presentan. Según Hernández y otros (2010) la producción de fitohormonas por parte de las bacterias y su impacto en la morfogénesis de la raíz

(aumento de pelos radicales y raíces laterales), así como el subsiguiente aumento en la toma de nutrientes y agua podrían explicar en gran parte los efectos positivos de las bacterias diazotróficas en el crecimiento vegetal. La fitoestimulación está dada particularmente por la compleja y balanceada red de hormonas de plantas o compuestos similares que influyen directamente en el crecimiento o estimulan la formación de raíces. Bashan y otros (2005), Acebo y otros (2011). La producción bacteriana de AIA ha sido estudiada no solo por su efecto fisiológico en las plantas sino también por el papel que pueda desempeñar esta fitohormona en la interacción planta-microorganismo Rojas y otros (2009), Hernández y otros (2010).

Por otra parte, Mariña de la Huerta y otros (2005) informan el comportamiento de la planta de la caña de azúcar tratada con el ENERPLANT (Enerplant® es un producto elaborado con diferentes tipos de oligosacáridos que se obtienen de procesos exclusivos de extracción y donde se utilizan como materia prima materiales vegetales seleccionados). El efecto de este producto sobre algunas variables del crecimiento de las plantas, evidenció que el bioestimulante ejerció un efecto significativo ($P< 0,05$) sobre el largo del entrenudo y número de tallos por plantón, con un incremento, en la primera variable de 1,36 cm, y en la segunda de 11 tallos por plantón, respecto a las plantas no tratadas. Sin embargo, la altura de la planta y el diámetro del tallo no mostraron una respuesta significativa al ENERPLANT.

Tal comportamiento sugiere la activación de los procesos metabólicos vinculados al crecimiento y desarrollo debido a la aplicación del bioestimulante y reafirma además que este compuesto actúa, al igual que los brasinoesteroides, a bajísimas concentraciones Zullo y Adam (2002), coincide además con lo expresado por Adam y Petzold (1994) en el sentido de que promueven el crecimiento vegetal por la estimulación de la división y el alargamiento celular. En tal sentido, Cobas (1985) al estudiar el efecto de distintos biorreguladores sobre el crecimiento de la caña de azúcar, comprobó el efecto marcado de los mismos, obteniéndose como respuesta un mayor incremento del largo del entrenudo y la altura de la planta. Por otro lado, estudios realizados sobre la aplicación de este bioestimulante han demostrado el incremento de la producción de materia verde entre un 16-25%, contra los tratamientos controles. Rodríguez (2001)

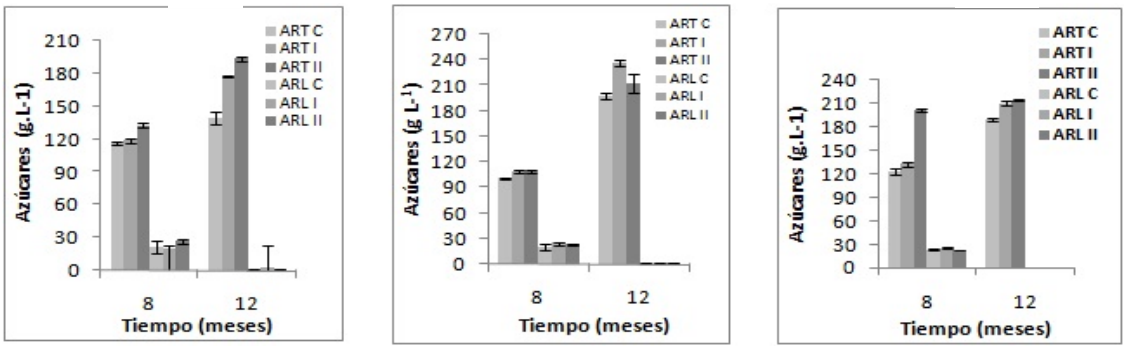
En la evaluación del Nitrofix, estas variables de respuesta fueron significativamente superiores para el tratamiento II al cabo de los 12 meses respecto al control, lo que evidenció el potencial de este producto al ejercer un efecto significativo ($P< 0,05$) sobre la altura de las plantas y # de tallos en 1metro, con un incremento entre (12.61 y 5.4 para C86-12), (12.08 y 7.6 para C86-52) y (15.85 y 1.17 para C323-68), respectivamente.

Contenido azucarero y dinámica de madurez.

En las figuras (10-12) se muestra el contenido de sacarosa en el jugo de las variedades en estudio, donde se puede apreciar el incremento del mismo con el tiempo de cultivo, en tanto para el caso de las concentraciones de azúcares reductores libres, tal como era de esperar mostraron una tendencia inversa respecto al contenido de sacarosa, disminuyendo bruscamente al cabo de los 12 meses. Este comportamiento fue significativamente superior para la variedad C323-68, ya que para este genotipo a los 8 meses el tratamiento II mostró un incremento significativo ($P< 0,05$) en el contenido de azúcares totales con respecto a los demás tratamientos, al termino de los 12 meses este contenido fue similar para ambos y superior al control. Estos resultados se corresponden con los informados en otras evaluaciones González y otros (2008), donde esta variedad esta reportada por el INICA como de alto contenido azucarero, por lo cual se encuentra entre los patrones comerciales para estudios de campo.

Los resultados obtenidos en esta variable de respuesta coinciden con los informado por Subirós, J. F (1998), quien evaluó mediante estudios cinéticos, las variaciones en la calidad del jugo durante la fase vegetativa y la fase final de maduración, en un ciclo de cultivo de tres variedades de caña de azúcar en una parcela de textura media, obteniendo alto contenido de sacarosa a partir de los 6 meses de edad.

10 11 12



Figuras (10-12). Respuesta de caña de azúcar de las variedades C86-12 (10), C86-52 (11), C323-68 (12) a la inoculación con *Azospirillum*, **durante el tiempo de cultivo: Azúcares Reductores Totales y Libres.**

De acuerdo con estos resultados, a partir de esta fecha (12 meses) esta variedad puede considerarse fisiológicamente madura. Esto significa que ha completado su ciclo, ha concentrado la mayor cantidad de sacarosa y posee las concentraciones más bajas de azúcares reductores. El repentino cambia en la concentración puede estar relacionado con el proceso de floración. Esta fase indica el momento en que cesa la producción de tallos y hojas para iniciar la formación de la inflorescencia. La transición de la fase vegetativa a la fase reproductiva podría estar relacionada con un aumento inicial en la concentración de sacarosa y por la menor demanda en el consumo de energía. Sin embargo la eventual activación de las yemas superiores del tallo como consecuencia de la floración puede ocasionar un efecto inverso (gasto de energía), debido a que la sacarosa almacenada se hidroliza (por acción de las invertasas) en glucosa y fructosa, que son utilizadas en nuevo crecimiento vegetativo Alexander (1973), Humbert (1982).

Contenido y Rendimiento Agro azucarero.

La tabla III muestra el resultado agro productivo de las variedades ensayadas, y a partir de aquí se observa que las tres variedades tuvieron un comportamiento diferente para cada uno de los caracteres agro azucareros evaluados. La prueba de Múltiples rangos mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher evidenció diferencias significativas entre la mayoría de los pares de medias de las variables estudiadas. Observándose para los caracteres porcentuales de (PPC, PFC y PBC, respectivamente) la mayor diferencia entre las variedades, se destaca como la mejor variedad en cuanto a calidad de caña la C 323-68 y el tratamiento II, no así para los genotipos C86-12 y C86-52 cuyos resultados fueron similares en los tratamientos I y II. Sin embargo, sí es significativo el rendimiento guía, el rendimiento potencial en caña y la pureza del jugo para los diferentes tratamientos respecto al control, obteniéndose valores desde (8.12 hasta 13.5), (8.74 hasta 13.94) y (75.98 hasta 97. 79) % respectivamente para la variedad C 86-12 y (14.65 hasta 16.46), (14.48 hasta 17.44) y (90.34 hasta 98.71) % respectivamente para C 323-68, destacándose los mejores resultados en las plantas tratadas con el inoculante *Azospirillum* más el PK para las tres variedades.

Como puede observarse los valores obtenidos en este trabajo son superiores al reportado por Crespo y otros (1997), quienes comprobaron en estudios realizados sobre la utilización de *Azospirillum* que el pol varió desde 12,64 hasta 13,74 %, lo que evidencia la importancia de la aplicación de este biofertilizante en plantas de caña de azúcar.

Tabla III. Valores medios de los caracteres agroazucareros obtenidos con los tratamientos para las variedades de caña de azúcar.

Variedad	Tto	PPC	PFC	PBC	PJ	RG	RPC
C 86-12	C (1)	10.82 **ba**	16.06 **ab**	18.31 **ba**	75.98 **bb**	8.12 **bb**	8.74 **bb**
	I (2)	13.19 **ba**	18.35 **aa**	19.64 **ba**	90.22 **ba**	11.6 **ba**	12.27 **ba**
	II (3)	**14.08 ba**	**19.60 aa**	**19.40 ba**	**97.79 ba**	**13.5 ba**	**13.94 ba**
C 86-52	C (1)	15.20 **aa**	16.84 **ab**	20.59 **aa**	96.22 **ab**	14.08 **ab**	14.52 **ab**
	I (2)	**17.17 aa**	**19.68 aa**	**20.21 aa**	**98.75 aa**	**15.18 ba**	**18.35 aa**
	II (3)	15.80 **aa**	18.51 **aa**	19.65 **aa**	97.16 **aa**	14.89 **aa**	16.19 **aa**
C 323-68	C (1)	16.57 **aa**	10.42 **bb**	20.91 **aa**	90.34 **ab**	14.65 **ab**	14.48 **ab**
	I (2)	16.64 **aa**	14.72 **ba**	19.97 **aa**	96.21 **aa**	15.42 **aa**	16.62 **aa**
	II (3)	**17.54 aa**	**13.13 ba**	**19.89 aa**	**98.71 aa**	**16.46 aa**	**17.44 aa**

Letras similares indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos por el Test de Comparación Múltiple de Duncan ($P<0.05$).

Conclusiones.

- Se obtuvo una respuesta estimuladora con la inoculación de *Azospirillum* cepa 8I sobre todas las variables del crecimiento de las plantas de caña de azúcar respecto al testigo. El más significativo fue el tratamiento II y la variedad C86 -12.
- Se destaca como la mejor variedad en cuanto a calidad de caña la variedad C323-68 y el tratamiento II con un rendimiento guía de 16.46 %.
- Fueron significativo el rendimiento guía, el rendimiento potencial en caña y la pureza del jugo para los tratamientos respecto al control
- Se demuestra la efectividad agro biológica de *Azospirillum* cepa 8I a partir del estímulo positivo ejercido en el crecimiento y estado nutricional de las plantas de caña de azúcar.

Referencias.

1. Acebo,Y.; Hernández, A.; Rives, N.; Velázquez, M.G.; Hernández, A.N. (2011). Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XIII (1): 16-22.
2. Adam, G.; Petzold, U. (1994). Naturwissenschaften, 81:210-217
3. Alexander, A. (1973). Sugar cane physiology. Amsterdam Elsevier.7 52 p.
4. Alfonso, W.; Carletti, S.; Rodríguez, E. (2007). Memorias de XXIII Reunión Latinomericana de Rhizobiología (RELAR 2007) y Primer Workshop sobre Biofertilizaciones en Iberoamérica. Los Cocos (Córdoba). Pág. 169.
5. Bashan, Y.; Luz de Bashan. (2005). Encyclopedia of soils in the environment. 1st ed. Oxford, U.K.: Elsevier. p 103-115
6. Bayan, Y.; Levanony, H. (1990). Can. J. Microbiol. 36, p. 591-608.
7. Burdman, S.; Okon, Y.; Jurkevitch, E. (2000). Plants Roots. Critical Reviews in Microbiology 26(2): p. 91-110.
8. Burdman, S.; Dulguerova, G.; Jurkevitch, E. (2001). Plants Roots, and Its Involvement in Cell Aggregation. The American Phytopathological Society. 14, 4 p. 555-561.
9. Cobas, D. (1985). Tesis en Opciónal Grado de doctor en Ciencias Biológicas, INICA, La Habana, 105.
10. Crespo, R. (1997). ATAC, 1. 11-15
11. Dobbelaere, S.; Croonenborghs, A.; Thys, A.; Ptacek, D.; Vanderleyden, J.; Dutto, P.; Labandera, C.; Caballero Mellado, J.; Aguirre, J. F.; Kapulnik, y.; Brener, S.; Burdman, S.; Kadouri, D.; Varig, S.; Okon, Y. (2001). Australian Journal Plant Physiology, 28, p. 871-879.

12. Fernández, R. (1999).Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad de la Habana.
13. Galal, Y. G. M.; El-Ghandour, I. A.; Aly, S. S.; Soliman, S.; Gadalla, A. (2000). Biology Fertil Soil 32, p. 47-51.
14. González, A.; González, F.; Pino, S.; González, M.; Marrero, G.; Hernández., I. (2008). Memorias Diversificación 2008 ISBN 978 – 959- 7165- 16 - 3.
15. Harari , A.; Kigel, J.; Okon. (1988). Plant Soil 110:275-282.
16. Harrigan, W. F.; Mc Cance, M. E. (1968) Métodos de Laboratorio en Microbiología.
17. Hernández, A.; Medina, A.; Quiñones, M.; Hofte, M.; Heydrich, M.; Hernández, A. N. (2004).. Revista Mexicana de Fitopatología. 22(1): 159-167.
18. Hernández, A.; León, D.; Rives, N.; Díaz-De la Osa, A.; Almaguer, M.; Acebo, Y. (2010). Protección Vegetal. 26(2): 21-29, 2010
19. Humbert, R.P. (1982). 5ed México. Editorial Continental. 719.
20. INFOAGRO. (2008) Análisis de suelos 1ra y 2 da parte. Disponible en: www.infoagro.com. [Consulta: 12 de marzo de 2008].
21. Mariña de la H, C.; Fernández, G. L.; Saborit, S. M.; Castillo, F. P.; Nieto, M. M. (2005). Revista Electrónica Granma Ciencia. Vol.9, No.1. ISSN 1027-975X.
22. Morgenstern, E.; Okon, Y. (1987). Arid Soil Res. Rehab. 1:115-127.
23. Norma Cubana NC ISO 10390. (1999). Calidad de suelo.
24. Okon,Y.; Labanbera, C. (1994). Soil Biol. Biochem. 12:1591-1601
25. Omay, S. H.; Schmidt, W. A.; Martin, P.; Bangerth, F. (1993). Can. J. Microbiol. 39:187-192.
26. Pérez J.; Casa M. (2005). Cultivos Tropicales. Vol 26, No. 5, p. 13-19.
27. Pérez, M.C. (2007). Presentación a la Sesión Agraria de la Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Ciencia Animal (ICA), Presentación en Power Point: 57p.
28. Puente, M.; García, J.; Perticari, A. (2007) Memorias de XXIII Reunión Latinomericana de Rhizobiología y Primer Workshop sobre Biofertilizaciones en Iberoamérica. Los Cocos (Córdoba). Pág. 115.
29. Rives, N.; Acebo, Y.; A. Hernández. (2007). Cultivos Tropicales 28 (2): 29-38.
30. Rodríguez, E.; Alfonso, W.; Carletti, S. (2007). Memorias de XXIII Reunión Latinomericana de Rhizobiología y Primer Workshop sobre Biofertilizaciones en Iberoamérica. Los Cocos (Córdoba). Pág. 201.
31. Rodríguez, E. (2001). Informe de Resultado de Proyecto, MINAZ, 15 p.
32. San Juan, A.N. 2010. Informe Final de Proyecto MINAZ.
33. Subirós, J. F. (1998). Agronomía Costarricense 22(2): 173-184.
34. Zimmer, W.; Aparicio, C.; Elmerich, C. (1991). Mol. Gen. Genet. 229:41-51.

EFECTIVIDAD DEL BIOFERTILIZANTE NITROFIX EN EL CULTIVO DE TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.), VARIEDAD L-43.

EFFECTIVENESS OF THE NITROFIX IN THE CULTIVATION OF TOMATO (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.), VARIETY L-43.

Yusmila Guevara Verdecia[1]; Ana Nelis San Juan Rodríguez[1]; Yohandri Ruisánchez Ortega[2] y Adrian Hernández Guillén[3].

1: Dirección de Bioprocesos Cuba 10. ICIDCA. E-mail: dirc10@enet.cu
2: Instituto de Investigaciones Hortícolas ¨Liliana Dimitrova¨. IIHLD. E- mail: dirección@liliana.co.cu
3: Ministerio de la Agricultura. Dirección Nacional de Semillas. MINAG.

RESUMEN

La agricultura en la actualidad afronta grandes problemas económicos y medioambientales, debido entre otros, al uso indiscriminado de productos químicos y mal manejo de los recursos naturales, de aquí la necesidad de reducir el empleo de fertilizantes minerales y recurrir a otros métodos más sanos como la utilización de biofertilizantes y bioestimuladores. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del NITROFIX en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), variedad L-43. La investigación se realizó en el Instituto de Investigaciones Hortícolas ¨Liliana Dimitrova¨, durante la campaña (2011-2012). Se estudiaron dos tratamientos, T1: 100 % de la fertilización nitrogenada (100 kg N/ha) y T2: NITROFIX más el 70% fertilización nitrogenada, los cuales se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con tres réplicas, donde se evaluaron indicadores de desarrollo vegetativo y productivo. Los mejores resultados en cuanto a crecimiento y producción correspondieron al tratamiento inoculado con NITROFIX más el 70% de fertilización nitrogenada, permitiendo reducir en un 30 % la fertilización nitrogenada.

Palabras claves: tomate, biofertilizante, *Azospirillum* sp y fertilización nitrogenada.

ABSTRACT

The modern agriculture as of the present moment faces big cost-reducing and environmental problems, owed enter others, to the indiscriminate use of chemical products and misuse of the natural resources, from here the need to reduce the use of mineral fertilizers and to recur to another more sound methods like the utilization of biofertilizers and bioestimulates. The present work aimed at evaluating the effect of the NITROFIX in the cultivation of the tomato (*Solanum lycopersicum* L.), variety L-43. The investigation came true at Investigations Horticultural Liliana Dimitrova's Institute, during the campaign (2011-2012). They studied two treatments, T1: 100 % of the nitrogenated fertilization (100 kg N) and T2: NITROFIX plus the 70 % nitrogenated fertilization, which distributed themselves in a design of blocks to at random with three replies, where they evaluated indicators of vegetative and productive development. The best results as to growth and production corresponded to the treatment inoculated with NITROFIX plus 70 % of nitrogenated fertilization, allowing to reduce in a 30 % the nitrogenated fertilization.

Keys words: tomato, biofertilizer, *Azospirillum* sp and nitrogenated fertilization

INTRODUCCIÓN.

El tomate constituye una de las principales hortalizas cultivadas en Cuba, representa el 35 % del volumen total de producción y el 30 % del área de siembra según ONE (2011). Esto se debe principalmente a que constituye una de las fuentes principales de vitaminas y minerales para la población, se destaca por su contenido en vitaminas B1, B2, B5, vitamina C y carotenoides como el licopeno, así como por su potencialidad en formar biomasa por área, Cardoza (2007).

La aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) en cultivos de importancia agrícola, es una alternativa viable, sobre todo en los países en vías del desarrollo con una agricultura subdesarrollada, que carecen de fertilizantes, Matiru y Dakora (2004). La capacidad para producir fitohormonas capaces de promover el desarrollo vegetal está ampliamente distribuida entre las PGPB, entre los géneros más destacados en la producción de estas sustancias se encuentra el género *Azospirillum*; Radwan; Mohamed y Reis (2004). Otro mecanismo que explica el aumento en el desarrollo vegetativo de los cultivos es la capacidad de estos géneros bacterianos para fijar el nitrógeno atmosférico, ya que luego del agua, el nitrógeno es el factor limitante más importante para el desarrollo de las plantas, Amir y otros (2003).

NITROFIX es un producto obtenido a partir de una suspensión de bacterias fijadoras de nitrógeno y productoras de fitohormonas del crecimiento vegetal, del género *Azospirillum* sp, elaborado con la cepa autóctona 8 INICA a una concentración de 10^9-10^{10} ufc.ml^{-1}, en medio acuoso.

Teniendo en cuenta estos antecedentes el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del biofertilizante NITROFIX en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), variedad L-43.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio se realizó durante la campaña (2011– 2012), en áreas del Instituto de Investigaciones Hortícolas ¨Liliana Dimitrova¨ (IIHLD).

El cultivo de referencia que se utilizó, fue el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), variedad L-43, proveniente del programa de mejoramiento genético del IIHLD. El experimento se desarrolló en condiciones de campo abierto. El cultivo se estableció durante los meses de octubre a febrero sobre un suelo ferralítico rojo típico; Hernández, Ascanio y Morales (2006).

Se estudiaron dos tratamientos, T1: 100 % de la fertilización nitrogenada (100 kg N/ha) y T2: NITROFIX más el 70% fertilización nitrogenada. Ambas variantes recibieron un fondo fijo de P_2O_5 y K_2O de 80 y 100 kg/ha respectivamente. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con tres réplicas. El trasplante se realizó en parcelas de 28 m^2 (10 m de largo x 2.8 m de camellón). El momento del trasplante se aplicó ½ del fertilizante nitrogenado más todo el fósforo y potasio a través del portador fórmula completa 9-13-17 y a los 35 días posteriores se aplicó el resto de la fertilización nitrogenada (½) aplicando el portador urea (46 %). El NITROFIX fue inoculado inmediatamente después del trasplante sobre el suelo. A razón de 40 L/ha en un volumen final de 200 L de agua utilizando una asperjadora de 16 L.

Los indicadores evaluados fueron:

Altura y diámetro basal del tallo (cm): Para la determinación se tomaron 10 plantas por parcela experimental y se le determinó la altura y el diámetro basal del tallo, a los 20 y 60 días después del trasplante (ddt).

Número promedio de frutos por planta (u), masa promedio de un fruto (g): Para la determinación se contaron los frutos de 10 plantas de la parcela experimental y se pesaron en una balanza técnica.

Rendimiento total (t/ha): Se calculó sobre la base de la masa de todos los frutos por parcela, luego se transformó en t/ha.

Para el procesamiento estadístico de la información se realizó, para cada una de las variables evaluadas un Análisis de Varianza de clasificación doble. Se utilizó el paquete estadístico Statgraphics versión 5.0 USA, SGC (2000). Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significación de 0,05.

Para la valoración económica de los resultados se utilizó la metodología propuesta por la FAO (1984). Se calcularon los siguientes indicadores.

Valor de la producción (pesos): Rendimiento total por el valor de una tonelada de tomate.

Gasto total (pesos/ha): Suma total de todos los gastos obtenidos para la producción en una ha.

Ganancia neta (pesos/ha): Diferencia entre el valor de la producción y el gasto total.

Beneficio/costo (C/P): Cociente del gasto total (pesos) y la ganancia total (pesos).

Relación beneficio/costo (RVC): Cociente de la ganancia total (pesos) y el gasto total (pesos).

Valor del incremento del rendimiento (pesos): Diferencia entre el valor de la producción de la variante fertilizada al 100 % y la variante biofertilizada.

Se utilizó como base de cálculo, la ficha de costo del cultivo del tomate (Cuba, MINAG, 2010) y el siguiente listado de precios:

1 Litro de NITROFIX…… 0,55 Pesos (ICIDCA, 2010).
1 Tonelada de tomate…… 4560 Pesos (MINAG, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se puede apreciar que a los 20 días después del trasplante (ddt) no existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la altura de la planta, sin embargo, a los 60 ddt se mostraban diferencias significativas entre ellos. Con la inoculación del NITROFIX más el 70 % de la fertilización nitrogenada (T2) se obtuvo la mayor estimulación de este indicador. Por otra parte en la Figura 2, se observa que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al diámetro basal del tallo.

Los resultados alcanzados en cuanto a la altura de las plantas de tomate pueden estar determinados, por la contribución del NITROFIX en la fijación del nitrógeno atmosférico, además de participar en varias transformaciones en el ciclo del nitrógeno según Parra y Cuevas (2001); Amir y otros (2003). Así como, por

la capacidad del género *Azospirillum* para producir fitohormonas como el ácido 3-indol acético (AIA), sustancia que interviene en el desarrollo del sistema radical provocando un aumento en la absorción de minerales y agua resultado obtenido por Acebo y otros (2007).

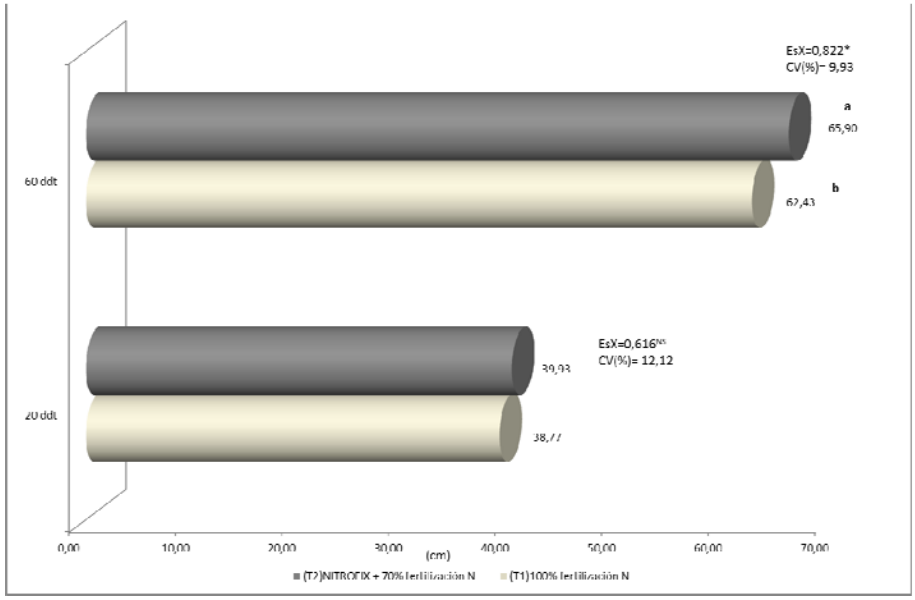


Figura 1: Efectos del NITROFIX sobre altura del tallo de las plantas de tomate.

NS P≥0,05: No se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. * P≤0,05: Existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

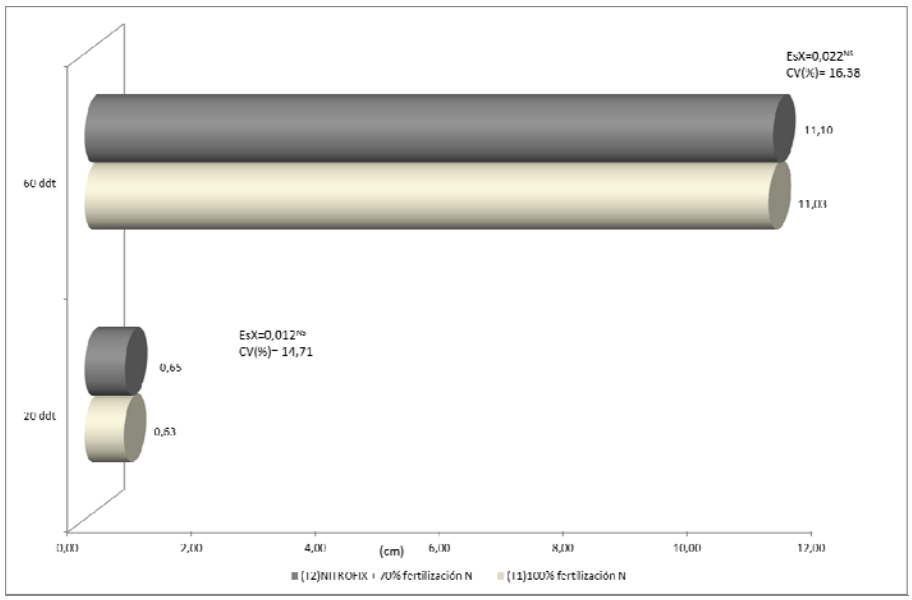


Figura 2: Efectos del NITROFIX sobre el diámetro basal del tallo de las plantas de tomate.

NS P≥0,05: No se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos

En la Tabla I se observan diferencias significativas entre los tratamientos para el número de frutos por planta y el rendimiento. La inoculación con NITROFIX más el 70 % de la fertilización nitrogenada (T2) fue el que mostró los mayores resultados en la estimulación de estos indicadores, sin embargo no se mostraron diferencias entre los tratamientos en cuanto a la masa promedio de los frutos.

Tabla I: Efectos del NITROFIX sobre el rendimiento y sus componentes.

Tratamientos	No de frutos/planta	Masa X de los frutos (g)	Rendimiento (t/ha)
T1	11,98 **b**	103	21,46
T2	13,40 **a**	104	24,59
EsX	0,268*	$3,16^{NS}$	0,596*
CV (%)	5,98	8,65	7,26

^{NS} P≥0,05: No se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. * P≤0,05: Existieron diferencias significativas entre los tratamientos. T1:100% fertilización N y T2: *Azospirillum* + 70% fertilización N.

Los resultados obtenidos pueden atribuirse a la inoculación con **NITROFIX** que es capaz de aportar sustancias estimuladoras del crecimiento de los tipos: ácido indolacético, giberelinas, citoquininas, así como la trasmisión de señales que le permite a la bacteria estimular el desarrollo del cultivo, aumentando asimismo el número y masa de los frutos, induciendo de esta manera un incremento de la producción por planta y del rendimiento total según Villar y otros (2005).

Resultados similares fueron obtenidos por Terry (2000) al reducir la fertilización nitrogenada entre un 25 y 30 % en el cultivo del tomate ¨INCA-17¨con la aplicación de un bioproducto a base de *Azospirillum brasilense* Sp-7.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

En la Tabla II se refleja el análisis económico derivado de los resultados productivos en el cultivo del tomate variedad L-43 ante los diferentes tratamientos.

Tabla II: Valoración económica de los resultados obtenidos

Tratamientos	Rend. (t/ha)	VP (MP/ha)	GT (MP/ha)	GN (MP/ha)	C/P	RVC (MP/ha)	VIR (MP/ha)
T1(100 % N)	21,46	97,85	9,80	88,05	0,10	9,98	-
T2(Nitrofix +70%N)	24,59	112,13	9,76	102,37	0,08	11,48	14,28

Rend: Rendimiento; VP: Valor de la producción; GT: Gasto total; GN: Ganancia neta; C/P: Costo por peso; RVC: Beneficio-costo; VIR: Valor del incremento del rendimiento; MP/ha: Miles de pesos/hectárea.

El análisis económico concebido permitió realizar una valoración integral de los resultados obtenidos desde el punto de vista productivo, pues el tratamiento que presentó el mejor comportamiento en cuanto a rendimiento fue el T2 (Nitrofix +70%N), el cual también mostró indicadores de eficiencia económica superiores.

Se observa además que independientemente de los factores en estudio, siempre existió un adecuado retorno del capital invertido, expresado como ganancias, y bajo costo por peso de producción (<1).

Por lo tanto la inoculación de NITROFIX más el 70 % de la fertilización nitrogenada (T2), alcanzó la mayor ganancia económica al obtener un valor del incremento del rendimiento con respecto al testigo (T1) de 14,28 MP/ha.

CONCLUSIONES.

- La inoculación con NITROFIX (*Azospirillum* sp) permite reducir en un 30 % la fertilización nitrogenada recomendada para el tomate.
- Constituye una alternativa de manejo nutricional, que permite incrementar los indicadores de crecimiento y productividad del cultivo.
- Los beneficios económicos generados avalan el uso del NITROFIX en un sistema agrario sostenible, siendo además un producto amigable con la naturaleza.

REFERENCIAS.

1. Acebo, Y; Rives, N; Heydrich, M; Hernández, A. (2007), Efecto promotor del crecimiento vegetal de cepas de *Azospirillum* sp. *Cultivos Tropicales*. 28(3), 29-32.
2. Amir, H; Shamsuddin, Z; Halimi, M; Ramlan, M; Marziah, M. (2003), N_2 fixation, nutrient accumulation and plant growth promotion by rhizobacteria in association with oil palm seedlings. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 6, 1269-1272.
3. Cardoza, H. (2007), Estudio de la cadena productiva del tomate para consumo fresco. En: Informe de etapa: Definición de los límites (frontera de la cadena productiva). Caracterización general de la Cadena Productiva del tomate. Editora Liliana, La Habana, pp, 52.
4. Hernández, A; Ascanio, M; Morales, M. (2006), Correlación de la nueva versión de Clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones internacionales y Nacionales. En: VI Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del suelo (16:2006 marzo 8–10, La Habana). Memorias. CD–ROM. Sociedad Cubana de la Ciencia del suelo. ISBN 959–7023–35–0.
5. Matiru, V y Dakora, F. (2004), Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. *African Journal of Biotechnology***.** 3, 1-7.
6. MINAG. (2010). Instructivo Técnico del Tomate. Ministerio de la Agricultura.
7. ONE. (2011), Cuba en cifras. En: (CD-ROM), Oficinas Nacional Estadística. Ciudad de la Habana.
8. Parra, Y y Cuevas, F. (2001), Potencialiades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales***.** 23(3), 31-41.
9. Radwan, T; Mohamed, Z; Reis, V. (2004), Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília*. 39(10), 987-994.
10. Terry, E. (2000), Application times of an *Azospirillum* bioproduct in tomato growth, development and yield. *Cultivos Tropicales*. 21(4), 5-8.
11. USA, SGC (Statistical Graphics Corporation). (2000), Statgraphics Plus for Windows: Version 5.0.
12. Villar, J; Viñals, M; Álvarez, X; Dorta, M. (2005), Tecnología de producción de inoculantes de *Azospirillum* y factibilidad económica de su aplicación agrícola en cultivos seleccionados. *Cultivos Tropicales*. 26(3), 23-26.

GLUTICID®, SU EFECTO AGROBIOLÓGICO EN EL CULTIVO DEL TOMATE (SOLANUM ESCULENTUM MILL).

GLUTICID®, THE AGROBIOLOGIC EFFECT ON TOMATO CROP (*SOLANUM ESCULENTUM* MILL).

Josefa Ruiz[1], Elein Terry[1] y Bárbara Rodríguez [2]

1. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
2. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

e-mail: fefita@inca.edu.cu.

Resumen

El uso de bioproductos se incrementa gradualmente en la agricultura de países que propugnan un cambio hacia un modelo en armonía con el medioambiente. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta del cultivo del tomate a la aplicación del bioproducto Gluticid®, obtenido a partir de metabolitos activos de Pseudomona aeruginosa. Los experimentos se desarrollaron en áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de Cuba, y se estudiaron cinco tratamientos, cuatro con la aplicación de Gluticid® y un tratamiento testigo (sin aplicación del producto). Los tratamientos con Gluticid® (5 g.L-1), se realizaron imbibiendo las semillas con el producto (15 y 30 min) y a su vez se realizó una segunda aplicación foliar del bioproducto. En el cultivo se evaluaron algunas variables de crecimiento y desarrollo, y se determinó el rendimiento agrícola. Los resultados mostraron la efectividad del bioproducto, destacándose el tratamiento que recibió la aplicación de Gluticid® una sola vez con 30 min de imbibición, confirmándose la efectividad de este bioproducto en la obtención de plantas más vigorosas, así como un estímulo en el crecimiento y desarrollo de las plantas con la consiguiente obtención de rendimientos aceptables.
Palabras clave: bioproducto, tomate, crecimiento, rendimiento, Pseudomona aeruginosa.

Abstract

The use of bioproducts has increased gradually in the agriculture of countries that support a change toward a model in harmony with the environment. The present work had as objective to evaluate the response of tomato crop to the application of bioproduct Gluticid®, obtained from Pseudomona aeruginosa. The experiments were developed in experimental areas of National Institute of Agricultural Sciences (INCA) of Cuba and five treatments were studied, four with the application of Gluticid® and a test treatment. The treatments with Gluticid® were carried out submerging the seed with the product (15 and 30 minutes) and in turn were carried out a second foliate application of bioproduct. Some growth indicators were evaluated, as well as the agricultural yield was determined too. The results showed the effectiveness of bioproduct, standing out the treatment that received the application of Gluticid® a single time with 15 minutes of submerging, being confirmed the effectiveness of this bioproduct in the obtaining of vigorous plants as well as the obtaining of acceptable yields.
Key words: Bioproduct, tomato, growth, yield, Pseudomona aeruginosa.

Introducción

La agricultura ha de estar siempre en armonía con la naturaleza para mantener un equilibrio entre la producción de alimentos y la conservación de los recursos naturales. En la naturaleza todo se recicla, y como la materia no se destruye —sólo se transforma— la utilización de productos y residuos biológicos es una gran alternativa para la producción agrícola que deberá utilizar procesos o productos que no sean dañinos para el medioambiente (Morte, 2009).

Los llamados bioproductos o bioinsumos agrícolas son productos económico y ambientalmente aceptables, ya que además de reducir costos, contribuyen a la obtención de producciones inocuas así como a mejorar la fertilidad nativa del suelo, de ahí la importancia de potenciar su utilización agrícola.

Dentro de los bioproductos desarrollados con gran perspectiva en la actualidad, se encuentran los denominados biofertilizantes, bioestimuladores y bioplaguicidas. En este sentido, son varios los bioproductos elaborados a partir de la bacteria *Pseudomona sp*; en los últimos años, esta especie adquiere vital importancia en estudios relacionados con la agricultura, debido fundamentalmente a la producción de una amplia gama de metabolitos activos que influyen positivamente sobre el crecimiento y desarrollo saludable de los cultivos. Actúa en las plantas de dos formas, directamente por la supresión de patógenos, e indirectamente a través de la secreción de fitohormonas y vitaminas, o por el incremento de la absorción de minerales por la planta. Uno de los minerales más importantes es el hierro, que convertido en sideróforo (moléculas de bajo peso con afinidad a hierro III quelado) por ciertas cepas bacterianas está más disponible para la planta, reduciendo el uso de fertilizantes minerales según Hernández et al. (2004).

De este género existen cepas patogénicas y saprofíticas, debido fundamentalmente a su gran diversidad genética. De aquí la importancia de trabajar con su parte activa, es decir, con los metabolitos secundarios que al parecer son los responsables de los efectos benéficos en plantas por lo que, al eliminar la célula se evita cualquier problema de índole ecológico.

En el mundo, el hecho de usar metabolitos activos de *Pseudomona sp* como activadores de diferentes mecanismos en las plantas no es una temática ampliamente abordada, algunos autores como *Prithiviraj et al. (2005)*, refieren su efectividad sobre todo desde el punto de vista de su utilización como biocontrol de enfermedades en los cultivos. En Cuba, a partir de metabolitos activos de *Pseudomona aeruginosa* se obtuvo el producto de nombre comercial Gluticid®, del cual se ha evaluado su efecto en el crecimiento y desarrollo de diferentes cultivos agrícolas.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la efectividad del producto comercial Gluticid® en plantas de tomate, según su efecto en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo.

Materiales y métodos

El trabajo experimental fue realizado entre los meses de octubre-diciembre de 2008 y 2009, en el área experimental del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en San José de las Lajas, provincia La Habana, Cuba, en un suelo ferralítico rojo lixiviado típico según Hernández (1999).

El producto comercial Gluticid® fue obtenido en el Instituto Científico de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) en Cuba, mediante proceso biotecnológico a partir de la bacteria *Pseudomona aeruginosa* cepa PSS, aislada del suelo según Patente *Número 2085 Certificado 1079/ 2002 e ICIDCA (2007).*

Para el desarrollo del experimento se utilizó la variedad de tomate Mara, procedente del Programa de Mejoramiento Genético del INCA, y generalizada en el país. Las plántulas se produjeron en bandejas de poliespuma conformadas por una mezcla de suelo, cachaza y litonita (3:2:1) en condiciones semicontroladas. La plantación se realizó por el método de trasplante de cepellones, a una distancia de 1,40 x 0,30 m en parcelas de 35 m2, con un área de cálculo para la cosecha de 21 m^2.

La tecnología de utilización del bioproducto consistió en una suspensión de 10^8 ufc/ mL^{-1}, a una dosis de 5 g/L^{-1}, dando lugar a los siguientes tratamientos: 15 minutos de imbibición, 15 minutos de imbibición + 1 aplicación foliar a los 10 días después de la siembra (DDS), 30 minutos de imbibición, 30 minutos de imbibición + 1 aplicación foliar a los 10 DDS y un Testigo sin inocular.

Las atenciones culturales (fertilización, riego y labores fitotécnicas) realizadas al cultivo fueron las recomendadas por el Instructivo técnico del mismo del MINAG (1984).

Evaluaciones realizadas:

Análisis químico del suelo: los muestreos de suelos se realizaron al inicio de los experimentos con barrena edafológica (Tabla I). Las evaluaciones que a continuación se enumeran fueron realizadas siguiendo las técnicas descritas en el Manual de técnicas analíticas para el análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos del INCA (1999).

• Materia orgánica (%): por el método de Walkley y Black.

• pH (H2O): por el método potenciométrico.

• P2O5 (ppm): mediante extracción con H2SO4 0,1 N y determinación colorimétrica.

• K, Ca, y Mg intercambiables (cmol/ kg-1): mediante extracción con NH4Ac 1 N a pH 7 y determinación de K por fotometría de llama y Ca y Mg por complexometría.

Tabla I. Características químicas del suelo.

Profundidad (cm)	**PH H_2O**	**M.O (%)**	**Cationes cambiables ($cmol.kg^{-1}$)**				
			Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	Suma
0-12	7.5	1.61	16.0	2.0	0.1	0.5	18.6
12-22	7.4	1.67	17.5	2.5	0.1	0.5	20.6

Evaluaciones a las plantas

• Crecimiento y desarrollo: altura de las plántulas (cm), número de hojas por planta, diámetro del tallo (cm) y longitud radicular (cm).

• Contenidos de NPK foliar (%). Las muestras fueron tomadas en la fase de floración-fructificación del cultivo, entre el tercero y quinto par de hojas. Se utilizó la técnica por digestión húmeda con H_2SO_4 + Se, según método Kjeldahl y determinación colorimétrica con reactivo Nessler y azul de molibdeno para N y P respectivamente, y fotometría de llama para el K.

• En la etapa de floración-fructificación del cultivo se evaluó: número de racimos y frutos por planta.

• En la cosecha se evaluó la masa fresca promedio de los frutos (g) y rendimiento agrícola (t.ha-1).

Para las evaluaciones en semillero se siguió un diseño completamente aleatorizado con 15 repeticiones, los tratamientos llevados al campo se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con cinco réplicas por tratamientos. Los resultados experimentales fueron sometidos a Análisis de Varianza de clasificación simple (semillero) y doble (campo), y en los casos que existieron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se utilizó como criterio discriminante la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5%. Se utilizó el programa SPSS (versión 9.0).

Resultados y discusión

La primera evaluación realizada a los 7 días posteriores a la siembra (Tabla II) no mostró diferencias significativas entre los diferentes tratamientos evaluados para las variables altura y número de hojas por plantas, no obteniéndose un efecto positivo de los diferentes tiempos de imbibición sobre estos indicadores.

Tabla II. Efecto del Gluticid® en el crecimiento de las plantas (1ra. Evaluación)

Tratamientos	**Altura (cm)**	**Número de hojas/planta**
15 minutos de imbibición	6.25	3.17
15 minutos de imbibición + 1 aplicación foliar	6.33	2.83
30 minutos de imbibición	7.00	2.67
30 minutos de imbibición + 1 aplicación foliar	6.67	3.00
Testigo sin inocular	6.83	2.92
ES x	0.37 n.s	0.24 n.s

En la segunda evaluación, realizada a los 15 días posteriores a la siembra (Tabla III), comienzan a diferenciarse significativamente los tratamientos, siendo mayor la altura de las plantas y la longitud radicular en aquellas donde la semilla fue imbibida durante 30 min, y se realizó una aplicación foliar a los 10 días posteriores a la siembra. En la figura 1 se aprecia el efecto del producto en la plántula, observándose mayor vigor con respecto a las plantas testigo.

Tabla III. Efecto del Gluticid® en el crecimiento de las plantas (2da. Evaluación)

Tratamientos	Altura (cm)	Número de hojas/planta	Longitud radicular (cm)
15 minutos de imbibición	9.50 c	3.08 bc	6.14 c
15 minutos de imbibición + 1 aplicación foliar	13.87 b	3.42 ab	8.23 b
30 minutos de imbibición	10.21 c	2.83 bc	8.14 b
30 minutos de imbibición + 1 aplicación foliar	16.58 a	3.83 a	10,26 a
Testigo sin inocular	9.08 c	2.50 c	5.15 d
ES x	0.68 ***	0.21 ***	0.04***

Medias con letras comunes no difieren significativamente para p<0.001

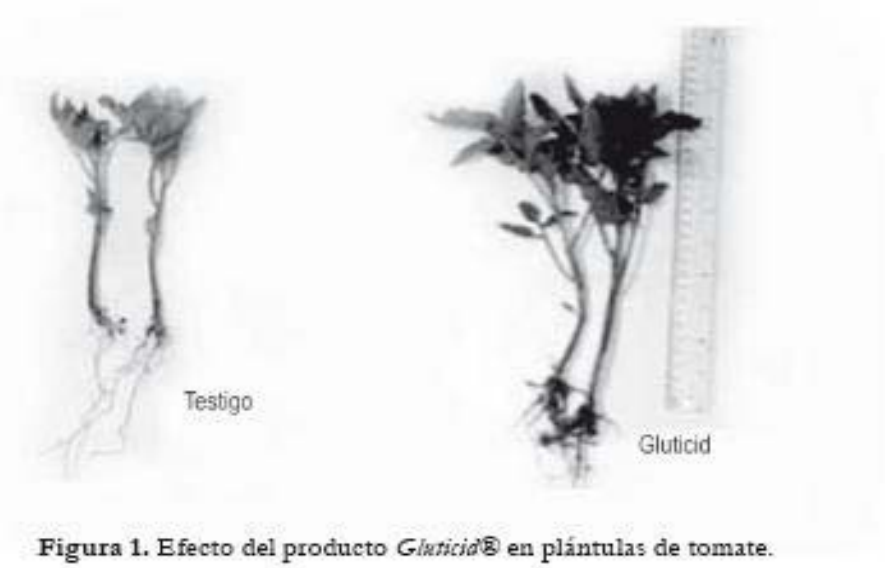


Figura 1. Efecto del producto *Gluticid*® en plántulas de tomate.

Las bacterias pertenecientes al género Pseudomonas sp poseen la propiedad de producir diferentes sustancias, cuyas principales ventajas son las de estimular la germinación de las semillas, acelerar el crecimiento de las plantas especialmente en sus primeros estadios, inducir la iniciación radicular e incrementar la formación de raíces y pelos radiculares, como indicaron Ezziyyani et al. (2005). Las principales sustancias estimuladoras producidas son de tipo hormonal como auxinas, giberelinas y citoquininas, pero también producen sustancias de otro tipo como aminoácidos y promotores específicos del crecimiento.

Sin embargo, para la variable número de hojas, igualmente la imbibición durante 30 min, más la aspersión foliar, tuvo mayor efecto, aunque en este caso no difirió significativamente del tratamiento donde se imbibió durante 15 min con una aplicación foliar.

El género Pseudomonas sp presenta propiedades que lo ubican dentro de las PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), debido a que las bacterias de este grupo tienen la capacidad de crecer colonizando los órganos de las plantas tales como raíces y tubérculos, utilizan un gran número de sustratos orgánicos comúnmente encontrados en exudados radicales, y producen una gran variedad de metabolitos secundarios. Walker et al. (2004), han demostrado que en la colonización radicular, P. aeruginosa forma biofilmes que confieren resistencia contra los antibióticos segregados por las raíces.

Igualmente, otros estudios han demostrado que Pseudomonas aeruginosa cepa IE6, coloniza las raíces de las plantas y promueve su crecimiento, es supresora de Fusarium solani y Rhizoctonia solani en tomate, a través del secuestro de hierro en el suelo, según ha sido demostrado por Díaz de Villega et al. (2002). Por otra parte, la inoculación de P. aeruginosa en el cultivo del tomate según Van Wess (1999) demostró que la cepa 7NSK-562 no produce ácido salicílico ni sideróforos del tipo piochelin, por lo que la respuesta en el cultivo podría estar relacionada con la presencia de otros determinantes bacterianos que hayan sido reconocidos por la planta hospedera.

En la evaluación de alguno de los componentes del rendimiento del cultivo (Tabla IV) se encontró que, para el número de racimos, con sólo la imbibición durante 15 o 30 min se estimula este parámetro del rendimiento, no siendo así para el número de frutos por planta, la masa fresca de los frutos y el rendimiento agrícola donde, el hecho de imbibir las semillas durante 30 min, más la aspersión foliar, provoca un efecto positivo en cada una de estas variables.

En estudios realizados por Hernández et al. (2002) con diferentes cepas de Peudomonas sp, se ha demostrado que producen sideróforos y ácido salicílico, compuestos que podrían estar involucrados en la respuesta en el estímulo del crecimiento y desarrollo de las plantas así como con la inducción de resistencia a la presencia de patógenos.

Tabla IV. Efecto del Gluticid® en algunos componentes del rendimiento.

Tratamientos	**Número de racimos/ planta**	**Número de frutos/ planta**	**Masa promedio / fruto (g)**	**Rendimiento por planta (g)**
15 minutos de imbibición	7.50 a	13.33 a	633.33 b	688.75 d
15 minutos de imbibición + 1 aplicación foliar	4.75 b	8.08 bc	625.00 b	775.00 c
30 minutos de imbibición	6.83 a	10.25 ab	783.33 a	817.50 b
30 minutos de imbibición + 1 aplicación foliar	4.92 b	5.33 c	666.67 b	887.60 a
Testigo sin inocular	5.25 b	9.33 b	500.00 c	781.25 c
ES x	0.55 **	1.10 ***	34.65 ***	31.42 ***

Medias con letras comunes no difieren significativamente para $p<0.001$ y 0.01

Respecto a la utilización de microorganismos benéficos o los metabolitos activos de estos, se plantea la idea de acelerar la respuesta de las plantas mediante la aplicación de inductores de resistencia sistémica (bióticos o abióticos, respetuosos con el medioambiente), la cual es del todo atractiva y supondría, al mismo tiempo, una alternativa biológica, ambiental y comercialmente viable, corroborando lo obtenido por Walker et al. (2004).

Conclusiones

Se demuestra el efecto positivo del producto Gluticid®, a base de *Pseudomona aeruginosa*, sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo del tomate, siendo favorecido este efecto por dos vías diferentes de aplicación: la imbibición de las semillas durante 30 min, combinado con la aspersión foliar a los 10 días posteriores a la siembra.

Referencias bibliográficas

1. Cuba. MINAG. (1984). *Instructivo Técnico para semillero de tomate*. Folleto, 48 p.

2. Díaz de Villegas, Villa, P., Frías, A. (2002). Evaluation of the siderophores production by *Pseudomonas aeruginosa* PSS. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 44 (3-4): 112-117.

3. Ezziyyani, M., Requena, M., Pérez-Sánchez, C., Candela, M. (2005). Efecto del sustrato y la temperatura en el control biológico de *Phytophthora capsici* en pimiento (Capsicum annuum L.). *Anales de Biología* 27: 119- 126.

4. Hernández, A. J. (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Ministerio de la Agricultura. 23 p.

5. Hernández, A., Caballero, A., Hofte, M., Heydrich, M. (2002). Rizobacterias asociadas al maíz y su aplicación en la agricultura. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* 3: 136-139.

6. Hernández, A., Hernández, A. N., Velásquez, M., Bigiramana, Y., Audenaert, K., Hofte, M. (2004). Aplicación de rizobacterias para inducir resistencia en los sitemas frijol (*Phaseolus vulgaris* L) – *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc.Y Magnus). *Revista Mexicana de Fitopatología* 22 (1): 100-106.

7. ICIDCA. (2007). Biopreparados. *Manejo Integrado de Plagas*. Manual Práctico.

8. INCA (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas). (1999). Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. La Habana. 90 p.

9. Morte, A. (2009). Biofertilizantes de última generación. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. España. Disponible en: http/hortalizas.com/quality and safety [Fecha de consulta: 10 de enero de 2010].

10. Prithiviraj, B., Bais, H., Weir, T., Suresh, B., Najarro, E., Dayakar, B., Schweizer, H., Vivanco J. (2005). Down regulation of virulence factors of *Pseudomonas aeruginosa* by salicylic acid attenuates its virulence on *Arabidopsis thaliana* and *Caenorhabditis elegans. Infect Immun* 73 (9): 5319-28.

11. Van-Wess, S. (1999). Rizobacteria Mediated Induced Systemic Resistance in Arabidopsis Signal Transduction and Expresion. Ph.D. Thesis. *University of Utrecht. Utrecht The Netherlands*. 112 p.

12. Walker, T. S., Bais, H. P., Déziel, E., Schweizer, H. P., Rahme, L. G., Fall, R., Vivanco, J. M. (2004). *Pseudomonas aeruginosa*-plant root interactions. Pathogenicity, biofilm formation, and root exudation. *Plant Physiol* 134: 320-331.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE FITOMAS-M EN LA UNIDAD EMPRESARIAL DE BASE "JESÚS RABÍ"

RESULTS OF THE APPLICATION OF FITOMAS-M IN THE ENTERPRISE UNIT "JESÚS RABÍ"

Rafael Zuaznábar Zuaznábar[1], Jorge Félix Álvarez González[1], Alberto García García[2], José Villar Delgado[2], Pedro Luis Cortegaza Ávila, Juan Ofarill Negrin, Héctor Rodríguez Caballero, Gilda Jiménez López, Ramón Montano Martínez y Armando Lovelle Chávez.

1- Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera del Central Martínez Prieto, km 2½, La Habana
2- Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Vía Blanca y Carretera Central ,La Habana
3- Unidad Empresarial de Base Jesús Rabí. Calimete, Matanzas

RESUMEN

Se describen los resultados de la aplicación del FitoMás-M como estimulante de la maduración de la caña de azúcar en plantaciones comerciales de la Unidad Empresarial de Base Jesús Rabí donde se realizaron las siguientes determinaciones: Promedio de brix de laboratorio, porcentaje de pol y pureza en las distintas cepas, promedio de brix de campo por bloques, brix de laboratorio por variedades, promedio de hojas activas, diámetro y longitud de tallos, brix en la desmenuzadora del ingenio antes y durante la molida en áreas tratadas con FitoMás-M, rendimiento Base 96 antes y durante la molida, Rendimiento Potencial Cañero (RPC) antes y durante la molida, toneladas de azúcar producidas, rendimiento industrial en la etapa de molida evaluada y análisis económico. Todos los parámetros e indicadores analizados resultaron favorables cuando se utilizó el FitoMás-M como madurador y el análisis económico reporto ingresos extras de 176 USD /ha y una ganancia adicional de 158.70 USD /ha superiores al testigo sin tratar y también superan al estándar de Clethodim (Arrow o Select), el producto más utilizado en Cuba como madurador en plantaciones comerciales de caña de azúcar.

Palabras principales: FitoMas-M, caña de azúcar, maduradores

ABSTRACT

The results of the application of the FitoMas-M in the maturation of sugar cane in commercial plantations of the Managerial Unit of Base Jesus Rabi are described. The following determinations were carried out: Average of laboratory brix, pol percentage and purity in the different strains, average of field brix for blocks, laboratory brix for varieties, average of active leaves, diameter and longitude of stalks, brix in the *desmenuzadora* of the factory before and during the one milled in areas tried with FitoMás-M, yield Bases 96 before and during the milled, Potential cane yield before and during the milled, produced tons of sugar, industrial yield in the evaluated stage of milled and economic analysis. All the parameters and analyzed indicators were favorable when it was used the FitoMás-M as ripener and the economic analysis reports extra

revenues of 176 USD/ha. There is an additional gain of 158.70 USD/ha which is superior to the witness without application and also overcome the standard of Clethodim (Arrow or Select), the product more used in Cuba as ripener in commercial plantations of sugar cane.

Key words: FitoMas-M, sugar cane, ripeners

INTRODUCCION

La maduración química, practica de gran importancia para mejorar el nivel de sacarosa y la calidad global de la materia prima en la cosecha, es utilizada comercialmente en las principales regiones cañeras del mundo y constituye la única estrategia pre cosecha disponible capaz de inducir incrementos significativos en la producción de azúcar con importantes beneficios económicos.
Los resultados disponibles indican que con el uso de los maduradores recomendados, es factible anticipar la maduración y mejorar la calidad del espectro varietal actualmente cultivado en los países donde se planta esta gramínea y en especial de la materia prima que normalmente se procesa en la fase inicial y media de la zafra.
Los maduradores son productos químicos, en su mayoría herbicidas del grupo de los reguladores del crecimiento, que inhibiendo la elongación de los tallos sin afectar severamente la fotosíntesis favorecen la acumulación de azúcar actuando generalmente a nivel enzimático.
El objetivo del uso de los maduradores consiste en modificar las condiciones naturales de maduración de la caña de azúcar, adelantando esta fase, a fin de lograr un incremento temprano en el contenido de sacarosa, sin afectar la producción cultural.
Como alternativas químicas los que más se utilizan son algunos herbicidas totales y graminicidas. El glifosato fue durante años el más utilizado a nivel mundial. Dentro de los que más se destacan están el Fluazifop-butil (Fusilade), el Clethodim (Arrow o Select), Glufosinato de amonio (Fínale), Propaquizafop (Ágil), Haloxifop (GALLANT), entre otros.
También son utilizados otros productos como el Ethepon (**Ethrel**), Trinexapac-Etil (**Moddus**), Sulfato de potasio, Nitrato de potasio, Potasio foliar, y por último se incluye el FitoMas-M que alcanzó resultados notables en prueba de validación comercial en 6 días de molida en la Unidad Empresarial de Base Jesús Rabí.

MATERIALES Y METODOS

La prueba de validación comercial de FitoMas-M como estimulante de la maduración de la caña de azúcar se estableció en la Unidad Empresarial de Base Jesús Rabí perteneciente a la Empresa Azucarera Matanzas.
La aplicación se realizó entre el 29 y 30 de noviembre del 2012 y el medio utilizado fue el avión AN- 26 con una solución final calibrada de 32 L/ha, dotado de boquillas Reglojeet.
Las características de las áreas tratadas se describen en la Tabla 1.

Tabla I. Características de las áreas tratadas con FitoMas-M

Variedad	Cepa	Área (ha)	Tipo de suelo	Dosis (L/ha)
C 323-68	Retoño quedado	579.6	Ferralsol	5
C 85-102	Retoño quedado	400.2	Ferralsol	5
C 86-12	Retoño quedado	386.4	Ferralsol	5
C 89-147	Retoño quedado	296.8	Ferralsol	5
C 323-68	Retoño	85.6	Ferralsol	4

Como se describe en la Tabla I la cepa de retoño quedado abarcó alrededor del 95 % del área beneficiada con FitoMas-M con las siguientes variedades en orden de importancia C 323-68, C 85-102, C 86-12 y C 89-147 y el resto correspondió a retoños de la variedad C 323-68.
Las características de las áreas tratadas con Clethodim (Arrow) se describen en la Tabla II.

Tabla II. Características de las áreas tratadas con Clethodim (Arrow)

Variedad	Cepa	Area (ha)	Tipo de suelo	Dosis L/ha
C 86-12	Retoño quedado	451.3	Ferralsol	5
C 323-68	Retoño quedado	93.8	Ferralsol	5

Como se aprecia en la Tabla II el tratamiento con Clethodim (Arrow) solo se aplicó sobre cepa de retoño quedado de las variedades de caña de azúcar C 86-12 y C 323-68. Se debe destacar que ambas variedades son actualmente de las más extendidas a nivel nacional.
A las áreas tratadas se le realizaron las siguientes determinaciones:

- Promedio de brix de laboratorio, porcentaje de pol y pureza en las distintas cepas.
- Promedio de brix de campo por bloques.
- Promedio de brix de laboratorio por variedades.
- Promedio de hojas activas, diámetro y longitud de tallos en áreas tratadas y al testigo.
- Brix en la desmenuzadora del ingenio antes y durante la molida en áreas tratadas.
- Rendimiento Base 96 antes y durante la molida.
- RPC antes y durante la molida.
- Toneladas de azúcar producidas y rendimiento industrial en la etapa de molida evaluada.
- Análisis económico.

Además también se realizaron análisis de campo y laboratorio en áreas tratadas con Clethodim (Arrow) que es el estimulante de la maduración que se utiliza actualmente como tratamiento estándar en plantaciones comerciales de caña de azúcar en las condiciones de Cuba.

RESULTADOS Y DISCUCION

En la Tabla III aparecen los resultados de brix de laboratorio, porcentaje de pol y pureza de los tratamientos de maduradores utilizados en comparación con el testigo sin tratar y en ambos casos tanto el Clethodim (Arrow) como el FitoMas-M superaron al testigo en todos los parámetros evaluados, lo que ratifica los resultados alcanzados con el uso del Arrow en Guatemala según lo reportado por (Orozco 2006, 2007 y 2010) donde este producto también alcanzó una respuesta satisfactoria como estimulante de la maduración, aunque no fue similar en todas las localidades. Pero en sentido general estos resultados permitieron determinar que no se puede generalizar el efecto madurador a todas las variedades y localidades, ya que según estos reportes la efectividad va a depender de las condiciones edafoclimáticas de la localidad, dosis y época de aplicación del producto, manejo del cultivo y otros factores que también pudieran incidir.

Tabla III. Promedio de brix de laboratorio, porcentaje de pol y pureza en áreas tratadas con FitoMas-M y Arrow

Tratamientos	Promedio brix de laboratorio	Porcentaje de pol	Pureza
CLETHODIM	18.29	15.78	88.21
TESTIGO	17.50	14.68	81.83
INCREMENTO	**0.79**	**1.10**	**6.38**
FITOMAS-M	20.91	18.37	88.65
TESTIGO	20.03	17.14	86.05
INCREMENTO	**0.90**	**1.23**	**2.60**

Las mediciones del brix de campo en los bloques que se trataron con Clethodim mantuvieron un incremento sostenido en todos los casos superior al testigo sin tratar, lo que ratifica el efecto sobre la maduración de la caña de azúcar de este producto (Tabla IV). Estos resultados coinciden con reportes de Argentina donde evaluaron el Clethodim como madurador en caña de azúcar a dosis de 60, 72 y 96 g/ha de i.a si se utiliza a inicio, mediados y final de zafra respectivamente donde muestra alto poder madurador no observándose efectos negativos en los rebrotes, (informes presentados por EEAOC a Bayer, Argentina, 1999,2000, 2003 y 2004.)

Tabla IV Promedio de brix de campo en áreas tratadas con Clethodim

BLOQUES	202	213	515	1108
CLETHODIM	20.00	20.31	22.70	20.89
TESTIGO	19.10	19.00	22.00	18.45
INCREMENTO	**0.90**	**1.31**	**0.70**	**2.41**

Las áreas tratadas con FitoMas-M también respondieron a las aplicaciones de este producto alcanzándose incrementos del brix en todos los bloques que resultaron superiores al testigo sin tratar y como promedio también superan al madurador comercial (Clethodim), por lo que se pone de manifiesto las potencialidades de este nuevo producto cubano producido en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Tabla V).

Tabla V. Promedio de brix de campo en áreas tratadas con FitoMas-E

BLOQUES	302	402	511	1008
FITOMAS-M	19.72	21.20	22.21	18.02
TESTIGO	17.57	19.79	21.00	16.13
INCREMENTO	**2.15**	**1.41**	**1.21**	**1.89**

El brix de laboratorio en las cepas evaluadas también respondió a las aplicaciones de los maduradores, aunque los retoños alcanzaron un valor superior al de los retoños quedados cuando se beneficiaron con FitoMas-M, resultando muy importante este comportamiento ya que esta cepa es la que abarca un área mayor y por consiguiente resulta decisiva en los resultados finales en el incremento de azúcar por área (Tabla VI). También se debe destacar el efecto consistente de ambos maduradores, pues las cepas quedadas presentan generalmente una población muy heterogénea y por tanto la respuesta a estos productos no siempre resulta positiva.

Además algunos reportes indican que la recuperación de la sacarosa después de la aplicación del madurador depende, de la edad de la planta; una de las condiciones para alcanzar una respuesta positiva a la aplicación consiste en hacerla al final de la etapa de crecimiento, un poco antes del inicio de la maduración fisiológica (Arcila, 1986), por lo que las plantaciones de ciclo corto (retoños) presentan una tendencia acentuada a la respuesta a los maduradores que resulta bien diferenciada cuando se comparan con otras de mayor edad.

Tabla VI. Promedio de brix de laboratorio en distintas cepas tratadas con FitoMas-M y Clethodim

Tratamientos	**Retoños**	**Retoños quedados**
FITOMAS-M	20.81	20.95
TESTIGO	19.68	20.21
INCREMENTO	**1.13**	**0.74**
CLETHODIM	-----	18.29
TESTIGO	-----	17.50
INCREMENTO	-----	**0.79**

El análisis de la interacción del porcentaje de pol y pureza con las cepas confirmó el buen comportamiento del FitoMas-M como estimulante de la maduración, donde los retoños alcanzaron incrementos absolutos superiores al de los retoños quedados en estos parámetros, aunque se debe destacar la influencia del producto en el aumento de los mismos en sentido general (Tabla VII).

Tabla VII. Interacción de porcentaje de pol y pureza por cepas en áreas tratadas con FitoMas-M

Tratamientos	Cepas	Porcentaje de pol	Pureza
FITOMAS-M	RETOÑO	18.42	88.68
	RETOÑO QUEDADO	18.35	88.63
TESTIGO SIN TRATAR	RETOÑO	16.47	85.37
	RETOÑO QUEDADO	17.48	86.39
INCREMENTO RETOÑO	--------	**1.95**	**3.31**
INCREMENTO RETOÑO QUEDADO	-------	**0.87**	**2.24**

La interacción del brix de laboratorio con las variedades en estudio mostró una respuesta creciente con la aplicación del FitoMas-M en la C 323-68, C 85-102, C 86-12 en ese orden, mientras que la C89-147 no respondió al tratamiento del madurador (Tabla VIII).

Cada variedad responde de forma diferente a la aplicación de maduradores, dependiendo de su capacidad para concentrar azucares, asociada a factores de edad, clima y suelo principalmente. (Clements, 1959), ha descrito la maduración como la culminación de procesos biológicos bifásicos donde debe tenerse en cuenta los factores varietales, culturales y ecológicos

Tabla VIII. Interacción brix de laboratorio por variedades en áreas tratadas con FitoMas-M

Tratamientos	C 323-68	C 85-102	C 86-12	C 89-147
FITOMAS-M	20.37	22.27	21.61	19.93
TESTIGO	19.49	21.20	19.99	19.98
INCREMENTO	**0.88**	**1.50**	**1.62**	**------**

El comportamiento de las mediciones del brix de campo en las áreas beneficiadas con el madurador FitoMas-M según los días de aplicación manifestó sus mayores respuestas a partir de los 17 días hasta los 45 días cuando alcanzó el valor superior. Algunos autores plantean que el tiempo que debe transcurrir entre la aplicación del madurador y el corte del cultivo es variable entre las diferentes variedades de caña, por lo tanto, en cada zona se debe determinar este periodo de tiempo (Tabla IX).

Tabla IX. Brix medio de campo en áreas tratadas con FitoMas-M según los días de aplicación

Tratamientos	10 dias	17 dias	24 dias	45 dias
FITOMAS-M	18.45	18.84	21.85	21.90
TESTIGO	17.24	16.90	19.95	19.73
INCREMENTO	**1.21**	**1.94**	**1.90**	**2.17**

Las mediciones de parámetros fisiológicos (hojas activas, diámetro y altura de tallos) en plantaciones tratadas con FitoMas-M demostraron que solo al inicio de la aplicación se aprecia una ligera afectación en las hojas en forma de clorosis, sin consecuencias en los componentes del rendimiento agrícola del cultivo, que generalmente se ven afectados por las aplicaciones de los maduradores tradicionales que son herbicidas reguladores del crecimiento (glifosato, clethodim, fluazifop-butil etc.) que utilizados a bajas dosis en ocasiones matan la yema apical y ejercen un efecto severo sobre las hojas, por lo que se debe cumplir

rigurosamente el tiempo transcurrido entre la aplicación y la cosecha para evitar pérdidas en el rendimiento agrícola (Tabla X).

Este resultado es de gran importancia ya que demuestra que este nuevo producto no requiere de un cumplimiento riguroso entre la aplicación y la cosecha, y de presentarse alguna contingencia imprevista no ocurre daños en el cultivo que afecten el rendimiento agrícola del cultivo

A pesar de sus bondades esta tecnología tiene algunos inconvenientes cuando se usan maduradores que actúan por desecación o defoliación, ya que se puede perder la plantación cuando por razones climáticas o de otra índole, no se cosecha oportunamente; también está presente el daño ambiental, el cual tiene a su vez dos aspectos principales, la toxicidad de las sustancias químicas que se emplean y la magnitud de la superficie que se trata, (Montano, 2004).

Tabla X. Hojas activas, diámetro y longitud de tallos en áreas tratadas con FitoMas

Tratamientos	Dias de aplicación	Hojas activas	Diámetro de tallos (cm)	Longitud de tallos (cm)
FITOMAS-M	7	6.00	2.40	287.90
TESTIGO	7	6.25	2.33	288.40
DIFERENCIA	**-----**	**0.25**	**0.07**	**0.50**
FITOMAS-M	45	7.75	23.20	289.10
TESTIGO	45	7.75	23.50	289.40
DIFERENCIA	**------**	**-----**	**0.30**	**0.30**

El brix en la desmenuzadora del ingenio antes y durante la molida de caña tratada siempre resultó superior con la caña beneficiada con FitoMas-M que como promedio en los 6 días de evaluación de la molida fue de 1.38 grados brix por encima del testigo sin tratar (Tabla XI).

Tabla XI. Brix en la desmenuzadora del ingenio antes y durante la molida de caña tratada

Dias de molida	Testigo sin tratar	Tratada con FitoMas-M
11 ENERO 2013	18.40	20.01
12 ENERO 2013	19.64	20.12
13 ENERO 2013	19.64	20.30
14 ENERO 2013	18.90	20.07
15 ENERO 2013	18.23	20.63
16 ENERO 2013	19.05	21.00
PROMEDIO	18.97	20.35
INCREMENTO	**-----**	**1.38**

El rendimiento Base 96 antes y durante de la molida de caña tratada con FitoMas-M tuvo un comportamiento similar al anterior donde la caña beneficiada con el madurador alcanza un incremento sostenido como promedio cercano a un entero lo que ratifica las bondades del producto como estimulante de la maduración de la caña de azúcar (Tabla XII).

Tabla XII. Rendimiento Base 96 antes y durante la molida con caña tratada con FitoMas-M

Días de molida	Testigo sin tratar	Tratada con FitoMas-M
11 ENERO 2013	9.48	10.17
12 ENERO 2013	9.51	10.37
13 ENERO 2013	9.11	10.28
14 ENERO 2013	9.48	10.38
15 ENERO 2013	9.30	10.40
16 ENERO 2013	9.56	10.74
PROMEDIO	9.40	10.39
INCREMENTO	**----**	**0.99**

El Rendimiento Potencial Cañero **(**RPC) promedio fue superior en todos los casos con la caña beneficiada con el FitoMas-M en comparación con el testigo sin tratar, notándose un comportamiento bastante estable en los días de molida (Tabla XIII).

Tabla XIII. RPC promedio del ingenio antes y durante la molida de áreas con FitoMas-M

Dias de molida	Testigo sin tratar	Tratada con FitoMas-M
11 ENERO 2013	11.48	12.00
12 ENERO 2013	11.41	12.42
13 ENERO 2013	11.51	12.49
14 ENERO 2013	11.46	12.47
15 ENERO 2013	11.46	12.47
16 ENERO 2013	11.53	12.75
PROMEDIO	11.47	12.43
INCREMENTO	**-----**	**0.96**

En la Tabla XIV se resumen las toneladas de caña procesada y la azúcar producida en los días de molida con caña tratada con FitoMas-M y caña sin tratar resultando superior en la producción de azúcar con la caña beneficiada con el madurador, que logra alcanzar un incremento de rendimiento industrial próximo a un entero.

Tabla XIV. Toneladas de azúcar producidas y rendimiento industrial promedio en la etapa de molida evaluada

Fechas de molida	Toneladas de caña	Toneladas de azúcar	Rendimiento industrial
11-16 DE ENERO (testigo)	14587	1325	9.40
17-22 DE ENERO (tratada)	16027	1634	10.39
DIFERENCIA	**1440**	**309**	**0.99**

En el análisis económico se compara la efectividad del nuevo madurador FitoMas-M con el estándar de Clethodim (Arrow) observándose que lo supera en el aumento del rendimiento industrial, el azúcar adicional producido y como consecuencia alcanza mayores ingresos extras y ganancias adicionales (Tabla XV).
Según reportes internacionales el impacto económico en la generalidad de los casos resulta muy favorable aunque la magnitud depende de las condiciones edafoclimáticas de la región y del madurador que se emplee. En Argentina Ortiz (2000) planteó que normalmente el contenido azucarero de los tallos alcanza entre un 9 y 10 % de azúcar principalmente en la etapa inicial de zafra , y sin embargo el costo de aplicación de glifosato (Round up, Rodea, Accord, y Kleen up) por hectárea fluctúa aproximadamente entre 9 y 12 USD y permite obtener al menos 300 Kg extras de azúcar por hectárea resultando una práctica altamente rentable que permite un inicio más temprano de la cosecha con un retorno de la inversión en un periodo de tiempo muy breve. También Romero (2006) recomienda aplicaciones tempranas y en la mayoría de los cultivares se obtiene 0.5 puntos de incremento en el rendimiento fabril con aplicaciones de glifosato 0.22L i.a/ha, Clethodim 60g i.a/ha y Haloxifop 30g ia/ha .Además Romero et al (1997) y Romero et al (2005), ratifican que la aplicación de maduradores es una práctica rentable que permite obtener beneficios económicos que superan ampliamente el costo de aplicación (40 kg extra de azúcar por hectárea) al lograr en promedio entre 500-700 kg de azúcar/ha y en un plazo muy corto (6-8 semanas del tratamiento) y es mucho mayor si se derivan beneficios adicionales, como inicio de la molienda entre 30 y 60 días de antelación, mayor altura de despunte, las importantes mejoras que provoca en la capacidad operativa, en la eficiencia de limpieza y despuntado en las cosechadoras integrales, posibilitando una reducción del nivel de materias extrañas y permitir un transporte de materia prima más limpia y con mayor contenido de azúcar, se consigue una reducción de los costos de cosecha y transporte.

Tabla XV. Análisis Económico

Producto	Dosis l/ha	Precio US$/l	Costo producto US$/ha	Costo total[1] US$/ha	Aumento (%) Ren. Indus.	Azúcar adicional $(t/ha)_2$	Ingresos extras[3] US$/ha	Ganancias adicionales US$/ha
FitoMas-M	5 l /ha	1.86	9.30	17.30	1	0,40	176,00	158.70
Clethodim	0,3	25	7,50	15,50	0.80	0.32	140.8	125.30

[1] Incluye 8 US$/ha por la aplicación aérea; [2] Rendimiento agrícola promedio: 40 t/ha; [3] Precio del azúcar: 440 US$/t (20 c/lb).

CONCLUSIONES

Los resultados de las aplicaciones del estimulante de la maduración de la caña de azúcar FitoMas-M fueron satisfactorios en las condiciones edafoclimáticas evaluadas y resulta ventajoso económicamente.

La aplicación de FitoMas-M provoca inicialmente un fuerte estrés en las plantaciones tratadas pero no muere la yema apical y las plantas se recuperan, reiniciando la emisión de hojas activas aproximadamente entre 15 y 21 días después de la aplicación, esta particularidad puede flexibilizar el manejo de la cosecha de presentarse cualquier contingencia.

RECOMENDACIONES

Se debe realizar una evaluación más exhaustiva en la próxima campaña de las aplicaciones de FitoMas-M en áreas de otras UEB para conocer la respuestas en otras condiciones edafoclimáticas del país.
De acuerdo a las potencialidades mostradas por el nuevo producto y la tolerancia de la caña de azúcar y otros cultivos debe resultar atractiva su evaluación en otros países del área como una vía para su posible importación que generaría nuevos ingresos en divisas al país.

REFERENCIAS

1- Arcila, A. J. (1986): Maduración química d la caña de azúcar. En Buenaventura, C (ed). El cultivo de la caña de azúcar. Sociedad colombiana de técnicos de la caña de azúcar (TECNICAÑA).Memorias del curso dictado en Cali, Julio 28 a agosto 1 de 1986. p 323 –347

2- Clements, H. F. (1959): Recent developments in crop logging of sugar cane. Proc. 10. Cong. ISSCT. pp. 522 - 529

3- Clethodim como madurador en caña de azúcar. Informes presentados por EEAOC a Bayer, Argentina, (1999,2000, 2003 y 2004).

4- Montano, R. (2002): Maduradores en la caña de azúcar .Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar: Revista Agricultura Orgánica. No. 2. Pág. 12 -20.

5- Orozco. H; J.L. Queme; W, Ovalle; O. Castro; M. Catalán y E. Linares. (2006): Evaluación de variedades de la quinta prueba regional de CENGICAÑA. Plantía, primera y segunda soca. Memoria presentación de resultados de Investigación zafra 2005- 2006. CENGICAÑA. Guatemala. 76p.

6- Orozco. H; J.L. Queme; W, Ovalle; O. Castro; M. Catalán y W. De Cano. (2007): Segunda prueba semicomercial de variedades promisorias de caña de azúcar en plantía y primera soca. En: Memoria presentación de resultados de Investigación Zafra 2006- 2007. CENGICAÑA. Guatemala p. 8-16.

7- Orozco. H; W. Ovalle; J. Queme, O. Castro; A. López, E. Chajil y P. Bolaño. (2010): Tercera prueba semicomercial de variedades promisorias en caña de azúcar en plantía. GENCICAÑA. Guatemala. 13p.

8- Ortiz- J. D. (2000): Glifosato, su empleo como madurador de la caña de azúcar. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Columbres. Publicación especial No 16. Marzo 2000.

9- Romero, E.R; J, Scandaliaris; I, Olea y S, Sotillo.(1997): Maduración química de la caña de azúcar .Gacetilla Agroindustrial, No 58, Marzo 1997. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres.

10-Romero, E, R; M.F. Leggio; L, Alonso; J, Scandaliaris; J, Tonatto; P, Algonzelli; J, Alonso, E, Brito y J, Giardina.(2005):Maduración química de la caña de azúcar: Criterios y recomendaciones para implementar un programa de manejo. Gacetilla Agroindustrial de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres; No 63- Marzo 2005.

11-Romero, E. (2006): Caña de azúcar la maduración es rentable aseguran estudios de la EEAOC. Nota publicada 27 de marzo 2006.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS DE SECADO DEL BIONUTRIENTE FITOMAS-E
COMPARATIVE ANALYSIS OF DRYING ALTERNATIVES OF THE BIONUTRIENT FITOMAS-E

Felipe Campo, José Villar, Bárbara Hernández

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Vía Blanca 804, La Habana
felipe.campo@icidca.edu.cu

RESUMEN

El bionutriente FitoMas-E se produce industrialmente en una planta de 2 millones de litros localizada en el ICIDCA. Se presenta como una suspensión acuosa con un 32 % aproximadamente de materia seca. Se ha investigado la posibilidad del secado del producto, con lo que se lograrían apreciables beneficios como son: ahorro de agua, menores gastos de almacenamiento y transporte y empleo de envases más económicos entre otros. Los resultados de pruebas en escala de laboratorio y planta piloto han demostrado la posibilidad de secar el principio activo del FitoMas tanto en secadores por aspersión como de tambor. En el trabajo se analizan las ventajas y desventajas de estos sistemas de secado y se define que la selección está fuertemente influida por factores económicos. Los secadores de tambor son los sistemas que se presentan como las mejores opciones para esta operación.

FitoMas, bionutrientes, secadores

ABSTRACT

The bionutrient FitoMas-E is produced in a 2 millions industrial plant, placed in ICIDCA. It is obtained as an aqueous suspension with approximately 32 % of dry matter. Investigations about the possibility of drying the product were carried out. In this way it can achieve several advantages as: saving water, using more economic packing material and decreasing transportation and storage costs. Pilot scale results prove the possibility of drying the active principle of FitoMas in spray dryer equipments as well as in drum dryers. Advantages and disadvantages of these systems are analysed in the paper. Using of drum dryers appears as the more economic alternative for carrying out this operation

FitoMas, bionutrients, driers

INTRODUCCIÓN

El secado de FitoMas-E, un bionutriente de uso agrícola que se produce actualmente como una suspensión acuosa con 32 % de materia seca, puede reportar apreciables beneficios en cuanto a ahorro de agua, empleo de envases más económicos y disminución de los gastos de transportación y almacenamiento entre otros (Campo, 2012). Se analizan dos variantes de secado: por aspersión (Moller, 2009) y en tambor rotatorio (Walas, 1990). Aunque técnicamente se pueden obtener productos similares, desde el punto de vista económico existen diferencias que en última instancia determinarán la selección de una u otra variante.

Alternativas de secado analizadas

Se analizaron las siguientes alternativas de secado:

Secado por aspersión

Esta alternativa tiene grandes ventajas principalmente relacionadas con las características del producto seco y la operación, entre ellas se pueden apuntar:

- Posibilidad de secar soluciones, suspensiones o emulsiones
- Las partículas alcanzan muy bajas temperaturas, por lo que se pueden secar productos termosensibles
- Obtención de polvos finos y fluidos
- Gama amplia de tamaños de partículas desde polvos finos hasta formas encapsuladas
- Amplio rango de diseño de los secadores según las especificaciones del producto
- Amplia capacidad disponible en el mercado desde pocos kg hasta 100 t/h de producto
- Operación continúa
- Campos muy variados de aplicación

Entre las desventajas se encuentran:

Baja eficiencia térmica comparada con otros sistemas de secado lo que incrementa el gasto de combustible

Elevado costo de inversión

Secado en tambor rotatorio de película

Esta alternativa puede requerir la posterior molida del producto y un mayor mantenimiento

Sus ventajas radican en:

-Relativamente alta eficiencia térmica que favorece la economía de combustible

-Posibilidades de trabajar con vapor de baja, en ocasiones disponible en la fábrica de azúcar

-Relativamente bajo consumo de energía eléctrica

-Operación continua

-Costo de inversión moderado

MATERIALES Y METODOS

FitoMas-E como producto seco en polvo

El bionutriente FitoMas-E se produce actualmente por una tecnología de mediana complejidad y consta de las siguientes etapas:

a) Obtención del principio activo. Este se produce como una suspensión acuosa al 22 % de materia seca donde la fase sólida se encuentra dispersa en partículas menores de 100 micras
b) Formulación del producto donde se adicionan los microelementos, que son fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio. Estos son compuestos con elevada solubilidad en agua. Se añade también una pequeña cantidad de preservante para garantizar su conservación durante el almacenamiento.

El esquema del proceso se presenta seguidamente en la Fig. 1:

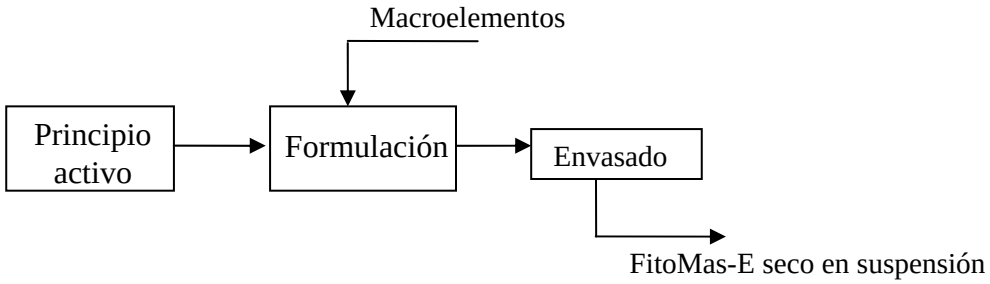


Fig. 1 Proceso de obtención de FitoMas-E en suspensión acuosa

Para producir el FitoMas-E seco (Fig. 2) se requiere secar el principio activo. Posteriormente se obtiene el producto en forma de un Kit, envasados separadamente el principio activo y los macroelementos en bolsas de polietileno.

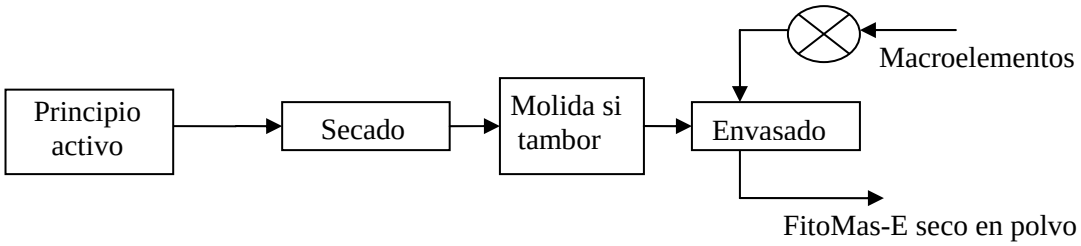


Fig. 2 Proceso de obtención de FitoMas-E seco en polvo

Datos tecnológicos de las alternativas de secado

Se considera una capacidad de producción de FitoMas-E seco (96 % MS) de 1 240 t al año, equivalente a 3 millones de litros del producto en suspensión acuosa, coincidente con las condiciones de la planta que se construye actualmente en la UEB derivados Ciro Redondo en Ciego de Ávila.

Las condiciones de secado para cada variante se relacionan a continuación:

Secado por aspersión

Principio activo a secar (22 % MS): 2 034 t
Agua a evaporar: 1 612 t
Fuel oil consumido: 216 t
Electricidad: 115,6 MWh
Equipamiento:
Un Secador por aspersión. Capacidad de evaporación: 1 500 kgh^{-1} de agua

Secado en tambor rotatorio de película

Principio activo a secar (22 % MS): 2 034 t
Agua a evaporar: 1 612 t
Vapor consumido (0,5 Mpa): 2 257 t
Electricidad consumida: 62 MWh
Equipamiento:
Un secador de tambor de doble cilindro. Capacidad de evaporación: 1 500 kgh^{-1}de agua

Un molino. Capacidad de 1,0 m^3h^{-1}. Para garantizar la granulometría óptima del producto

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Una comparación de las variantes planteadas se reporta por Argudín, (1967) para el secado de levadura torula, de aquí se han tomado algunos datos técnico-económicos que se han actualizado y ajustado a las características de este trabajo.

Indicadores económicos comparativos estimados de las variantes de secado

Equipamiento para cada variante	Costo de inversión e instalación USD	VR	Gasto de energía (fuel oil) t	VR	Gastos de amortización y mantenimiento USD	VR	Fuerza de trabajo	Gasto por kg de PA	VR
Tambor+molino	470 000	1	151,5	1	47 000	1	1 operario	0,31	1
Aspersor	1 300 000	2,8	250,9	1,7	97 500	2,8	1 operario	0.55	1,8

VR: Valor relativo PA: Principio activo

Los índices económicos favorecen el secado mediante tambor rotatorio de película tanto desde el punto de vista de la inversión (1,8 veces mayor para aspersión) como del gasto de energía (40% menor para tambor). El gasto para la producción de un kilogramo de principio activo seco por la variante de aspersión supera en 1,8 veces la de secado por tambor. El empleo de vapor de baja (no incluido en los índices) es otra ventaja del secado por tambor ya que este medio de calentamiento producto de la cogeneración en tiempo de zafra contribuiría a disminuir los gastos de energía.

CONCLUSIONES

El secado del principio activo del FitoMas-E es necesario para la producción de un producto seco en polvo. De las variantes analizadas: aspersión y tambor rotatorio de película esta última por su mayor eficiencia térmica y su menor costo de inversión demostró ser la mejor alternativa para esta operación.

REFERENCIAS

Campo, F.; Villar, J.; Hernández, B. (2012) Secado del bionutriente FitoMas-E como una alternativa de producción. 2do Taller de secado por aspersión. CIDEM. La Habana.
Moller J.; Fredstet S. (2009), Chemical Engineering. November, 34-40
Walas S.M. (1990) Chemical Process Equipment. Selection and Design (Butterworth-Heineman Ed.) USA pp. 254-263
Argudín, O. (1967) CubaAzucar Julio-agosto, 28-37

FITOMAS-E SECO. TECNOLOGÍA Y APLICACIONES
DRY FITOMAS-E. TECHNOLOGY AND APPLICATIONS

José Villar[1], Felipe Campo[1], Bárbara Hernandez[1] y Yohandry Ruisánchez[2]

[1]Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Vía Blanca 804, La Habana
[2]Instituto de Invstigaciones Horticolas Liliana Dimitrova. Carretera de Bejucal-Quivicán, Km 33½. Mayabeque
jose.villar@icidca.edu.cu

RESUMEN

En el trabajo se describen las experiencias en escala de laboratorio y planta piloto para la obtención del bionutriente FitoMas-E en fase sólida como polvo seco y algunas aplicaciones de esta variante en diferentes cultivos agrícolas. Actualmente se obtiene el FitoMas-E en escala industrial como una suspensión acuosa al 32 % de materia seca. Su producción como polvo seco puede disminuir en casi un 60 % la masa del producto, esto implica apreciables ventajas en cuanto al ahorro de agua, la disminución de gastos de transporte y almacenamiento y el empleo de envases más económicos como son las bolsas de polietileno en lugar de los bidones de este mismo material que se emplean en estos momentos. Se ensayaron dos variantes de secado en planta piloto: a) secado por aspersión con secador de atomización por disco centrífugo y b) secador de doble tambor de película. Mediante ambos sistemas se secó el principio activo del bionutriente que con los macroelementos (NPK) constituye el producto que se comercializa y emplea para su aplicación en la agricultura. Las características del material seco por ambas variantes no difieren apreciablemente y son adecuadas para la conservación del producto. En lo económico por el menor valor de la inversión y su mayor eficiencia térmica la alternativa de secado por tambor tiene las mayores ventajas para llevar a cabo esta operación. La aplicación en los cultivo de maíz y tomate muestran que la eficacia del producto seco compara satisfactoriamente con la del producto en suspensión acuosa.

FitoMas, secado, bionutrientes, secadores

ABSTRACT

Experiences at laboratory and pilot plant scales for production of FitoMas-E in solid phase as dry powder and some of its agricultural applications are reported in the paper. In this moment FitoMas-E is obtained in industrial scale as an aqueous suspension 32 % dry matter. Production as dry powder can reduce about 60 % of product mass, which implies several advantages as reduction of water consume, less costs for storage and transportation and more economic packing materials i.e. polyethylene bags instead of this material 20 liters containers, which is now used. Two dry pilot plant variants were experimented a) spray drier b) double drum drier. FitoMas active principle was dried by these variants, which together with the macroelements (NPK) is the commercial product using as agricultural biostimulant. Dry material characteristics are not quite different for both variants and are appropriated for product conservation. From the economic point of view drum driers have the major advantages because of its less inversion costs and highest thermal efficiency. Results in

agricultural applications (corn and flowers) of dry product show that it compares satisfactorily with the aqueous commercial variant.

FitoMas, drying, bionutrients, driers

INTRODUCCIÓN

El bionutriente FitoMas-E (Montano, 2007) actualmente se produce como una suspensión acuosa al 32 % de materia seca. El producto seco está constituido por un principio activo (PA) más macronutrientes (fuentes de NPK). Su forma seca puede tener apreciables ventajas en lo que se refiere a: ahorro de agua, menores costos de envases, menores gastos de transportación y almacenamiento y mejores condiciones para la exportación. Se ensayaron dos técnicas de secado: secadores por aspersión y tambor rotatorio de película. Se determinaron las características de los productos secos y se propone un esquema tecnológico para su producción. Se presentan los resultados de las aplicaciones del FitoMas-E seco en dos cultivos agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de los productos

Los productos a secar son el principio activo (PA) y el Formulado de FitoMas-E, ambos en suspensión acuosa en la tabla 1 se brindan las características de los mismos.

Tabla 1. Características de PA y el Formulado de FitoMas-E

Índice	Principio activo		Formulado	
	Valor	DS	Valor	DS
Materia seca, %	21,61	0,48	33,55	0,7261
pH	3,80	0,18	1,84	0,043
Densidad aparente, gml^{-1}	1,06	0,013	1,13	0,005
Sólidos solubles, %/MS	63,66	5,19	-	-
Nitrógeno total, %/MS	7,48	1,66	-	-
Nitrógeno amínico %/MS	0,084	0,0070	-	-
Cenizas, %/MS	8,70	0,73	-	-

DS: Desviación estándar

Secado en laboratorio

Fornulado acuoso

Se empleó un secador por aspersión SD-BASIC-LabPlant de tobera con capilar de entrada para el producto con un diámetro de 0,5 mm. Se demostró la imposibilidad de secar en este tipo de secador el formulado de FitoMas-E como suspensión acuosa. La baja temperatura de transición vítrea (Gianfrancesco, 2009) del producto hace que el material exhiba un alto grado de apelmazamiento (pegajosidad) durante el proceso de secado.

Principio activo

El PA se secó satisfactoriamente y se obtuvo un polvo seco carmelita claro con 5-6 % de humedad y 3-4 de pH. a temperatura de entrada, T_e ,de 150 ºC y temperatura de salida, T_s , de 95 ºC. Este tipo de ensayo en secador de laboratorio no puede ser extrapolado, ya que en la industria se emplearían secadores de disco centrífugo, solo es de interés con vistas a conocer la posibilidad de secar el material por la técnica de aspersión.

Secado en planta piloto del principio activo

Secado por aspesrsión
Se realizó el secado del PA en un equipo de aspersión con atomización por disco centrífugo con una capacidad de 75 kgh^{-1} de agua evaporada. Este dispositivo de atomización (Moller, 2009) es el más empleado en los equipos industriales y el más conveniente para nuestro producto.
Las condiciones de secado fueron las siguientes:

Régimen de temperaturas en el secador: T_e= 280 ºC T_s= 150 ºC
T_e= Temperatura de entrada T_s= Temperatura de salida
Características del PA en suspensión acuosa a secar:
Materia seca: 21,6 %
Densidad: 1,076 gml^{-1}
Ph: 3,35
Viscosidad: 171 cp
Se obtuvo un polvo color carmelita claro con humedad de 5 % y pH de 3,0. Estas características son adecuadas para la conservación del producto. Estos resultados serían extrapolables a secadores industriales de disco centrífugo donde la temperatura de entrada se puede incrementar algo más para tener la mayor eficiencia térmica posible del secador. En Cuba hay experiencia con este tipo de secador por aspersión instalados con capacidades de 40 t/día de producto seco en plantas de levadura torula (ICIDCA, 2000).

Secado en tambor rotatorio de película
Obviamente el formulado acuoso tampoco puede ser secado por esta variante Esta es otra alternativa Wallas (1990) para el secado del principio activo. El mismo se realizó en un secador de planta piloto con un solo tambor y dos rodillos de alimentación con capacidad de 50 lh^{-1} de agua evaporada. Las condiciones de secado fueron las siguientes:
Agente de calentamiento: Vapor saturado 0,5 MPa
Temperatura: 140 ºC
El principio activo empleado reúne características similares al usado para el secado por aspersión. Se obtiene un producto en escamas de color carmelita oscuro con humedad 6-8 % y pH 3,4. Estos resultados permiten el escalado a secadores industriales de los cuales se tiene experiencia en Cuba por haberse instalado para el secado de levadura Saccahromyces Cerevisiae recuperada en destilerías de alcohol (Argudin, 1967). Se requiere la instalación adicional de un molino para llevar el material al tamaño de partícula apropiado para el producto final.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Forma de presentación del producto en función de su conservación

Formulado de FitoMas-E seco
Se elabora un formulado de FitoMas-E constituido por el PA seco + macroelementos (NPK). En este caso se mezclan el PA y las fuentes de NPK (sales con muy baja humedad) y se envasa en bolsas de polietileno. Sus características son como promedio: humedad 3,4 %; pH 3,5 y densidad aparente 600 kg/m^3.

De acuerdo a experiencias llevadas a cabo en el Centro de Envases del Instituto de Investigaciones de la Industria Alimenticia (Padrón, 2012) y en laboratorios del ICIDCA con el paso del tiempo se presentan en el producto áreas negras pegajosas que alteran la textura y propiedades del mismo, por lo que no puede ser conservado por períodos superiores a un mes.
El PA, sin embargo, envasado en las bolsas de polietileno se puede conservar por más de un año sin deterioro del producto ni de sus propiedades

Presentación en forma de Kit
La imposibilidad de conservar el formulado se debe a la interacción del principio activo con la fuente de nitrógeno que aun en presencia de baja humedad origina áreas pegajosas de color oscuro. En función de evitar este proceso se propone la presentación del producto en forma de un Kit constituido por el principio activo seco y la mezcla de macronutrientes envasados separadamente en bolsas de polietileno. Este Kit equivalente a un volumen del producto en suspensión acuosa convencional se dispersa en agua para obtener la dosis apropiada que se aplica en los cultivos agrícolas.

1 kg de FitoMas-E (Kit) = 2,4 kg de FitoMas-E (suspensión acuosa convencional)

Tecnología de producción

La tecnología de producción del FitoMas-E (Kit) implica las siguientes etapas:
-Producción del principio activo
-Secado del principio activo
Se selecciona entre las dos variantes ensayadas. En este caso la variante con mayores ventajas desde el punto de vista económico es el tambor rotatorio de película (Villar, 2013). El mismo, para una planta de 1 240 t del producto seco (equivalente a 3 MM de litros del convencional) requiere, con relación al secado por aspersión, una inversión menor en 1,8 veces, mientras el gasto de secado e 40 % menor.
-Mezcla de los macroelementos (sales que son fuente de NPK)
-Envase en bolsas de polietileno del principio activo y la mezcla de sales por separado y a su vez el Kit constituido por ambas bolsas.
En la Fig. 1 se muestra un esquema del proceso de producción del producto seco.

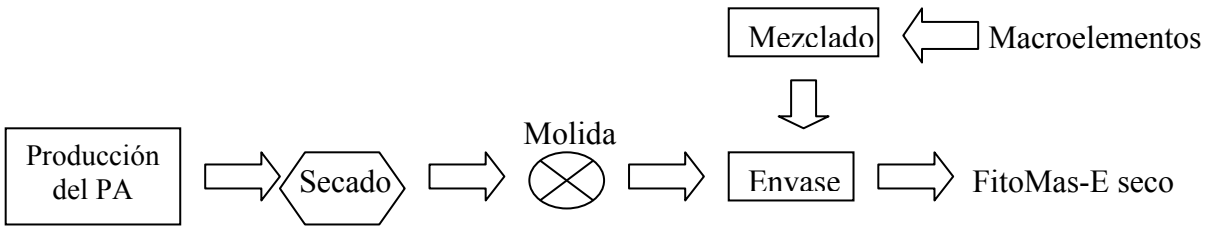
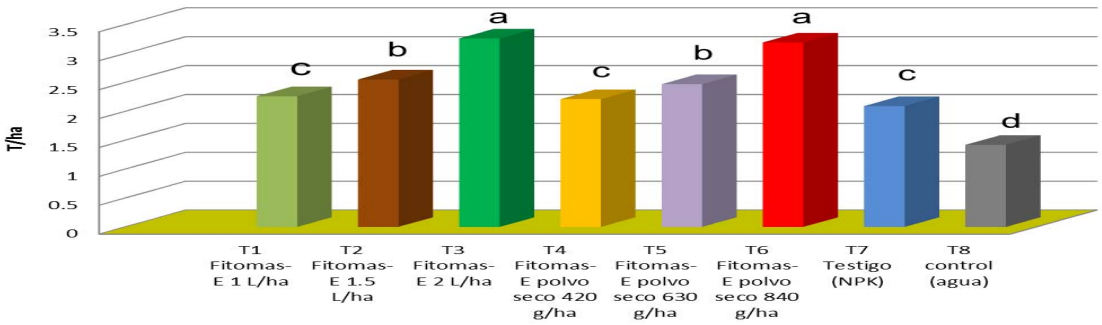


Fig. 1 Esquema del proceso de producción de FitoMas-E seco en polvo

Resultados de la aplicación de FitoMas-E seco en diferentes cultivos

En la Fig. 2 se muestran los resultados de la aplicación de FitoMas-E seco y su comparación con el producto en suspensión acuosa en el cultivo del maíz (Herrera, 2012)



CV = 12.35 %

[Medias con letras distintas difieren (P≤ 0.05), según Prueba de Tukey]

Fig.2 Efecto de la aplicación del FitoMas-E en suspensión acuosa y polvo seco sobre el rendimiento agrícola del maíz

Se observa que los rendimientos agrícolas de maíz se incrementan con respecto al testigo fertilizado a partir de la aplicación de un 1,5 litros de FitoMas-E por ha, de manera similar para el producto seco que para el convencional acuoso.

En la Tabla 2 se aprecia el efecto del FitoMas-E tanto seco como acuoso + fertilización nitrogenada sobre la flor Cajigal en experimentos llevados a cabo en el IIH Liliana Dimitrova. En este caso se observó un incremento de alrededor de un 17 % en el rendimiento de flores, similar para ambos productos, contra el cultivo fertilizado al 100 %.

Tabla 2 Resultados de la aplicación del FitoMas-E seco y en suspensión acuosa en el cultivo de la flor Cajigal

Instituto de investigaciones Horticolas Liliana Dimitrova

Tratamiento	Largo del tallo (cm)	Diámetro flor (cm)	Flores/plantas (u)	Decenas/ha (u)
T1	35,96	6,62	21,38 a	95011,40 a
T2	37,17	6,13	20,76 a	92245,99 b
T3	37,26	6,48	18,04 b	80196,73 c
EsX	0,454 ^{NS}	0,084^{NS}	0,404 *	0,227 *
CV (%)	14,36	15,34	23,42	7,65

NS P≥0,05: No se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. * P≤0,05: Existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

T1:FitoMas E + 50 % fertilización N; T2: FitoMas E (seco + 50 % fertilización N; T3: 100 % fertilización N.

CONCLUSIONES

El FitoMas-E seco en polvo posee una serie de ventajas con relación al producto convencional en suspensión acuosa:

- Ahorro de agua. Se ahorran 600 m³ de agua que se dejan de consumir en la formulación del producto en suspensión acuosa
- Ahorro del material de envase (sustitución de 150 000 bidones de 20 litros de polietileno por bolsas plásticas del tamaño y material adecuado)
- Ahorro en el transporte del producto. Se dejan de transportar 2 200 t (520 m³) de producto y se aprovecha mejor el área de transportación ya que los bidones no se pueden colocar más de dos uno encima del otro (se deforman)
- Ahorro en el área de almacenamiento con un menor volumen a almacenar. Además mucho mejor aprovechamiento del área en la estiba con bolsas que con bidones plásticos

Un estudio técnico económico se lleva a cabo para determinar la factibilidad de la producción del FitoMas-E seco en comparación con el producto acuoso.

Resultados preliminares de aplicación en cultivos muestran que con el FitoMas-E seco se obtienen efectos positivos similares a los obtenidos con el producto convencional en suspensión acuosa. Se continúa la realización de estos ensayos de campo.

REFERENCIAS

Montano R., Zuanábar R., García A., Viñals M., Villar J. (2007) Rev. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar. No.3 p. 14-17

Gianfrancesco A. (2009) Sechage par atomisation : proprietes de collage des particules en relation avec l´ agglomeration. These pour obtenir le grade de Docteur. Institut des Sciences et Industries du vivant et de la Environnement. 192 pp.

Moller J.; Fredstet S. (2009), Chemical Engineering. November, 34-40

ICIDCA (2000) Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana. 485p

Walas S.M. (1990) Chemical Process Equipment. Selection and Design (Butterworth-Heineman Ed.) USA pp. 254-263

ICIDCA (2000) Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana. 485p

Padrón S. (2012) Informe de Ensayo. Laboratorio de Envases. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. La Habana. 4 pp

Herrera M. (2012) Comparación de dos formulaciones de FitoMas-E como bionutriente en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) Tesis de diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Mayabeque. 50 pp

SINTESIS DEL OCTAHIDROGENOSULFATO DE SACAROSA EMPLEANDO UN NUEVO CATALIZADOR DEL TIPO ÁCIDO DE LEWIS (TETRAHIDROXICLOROSULFONILO DE DIVANADIO/SÍLICA GEL (2:1 V/M)).

OCTAKIS SACAROSE SYNTHESIS WAS USING A CATALYST NEW TYPE LEWIS´S ACID TYPE (TETRAHYDROXYCHLOROSULPHONYLE DIVANADIUM/SILICA GEL (2:1 V/M)).

Yanay Martínez Perez[1], Laura A. Lamí Izquierdo[1], Jorge L. Leyva Simeón[2], Juan E. Tacoronte Morales[2].

1-. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de azúcar, ICIDCA. Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Habana 11000, Cuba. yanay.martinez@icidca.edu.cu.

2-. Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas, CIIQ. Vía Blanca y Palatino, Cerro, Ciudad Habana, CP 12000, Cuba.

Resumen

Se sintetizo un sistema molecular del tipo ácido de Lewis (tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio/sílica gel (2:1 v/m)) a partir del óxido de vanadio, con rendimiento de 96 %. Se desarrolló un nuevo método de síntesis de sulfatación de sacarosa donde se empleo el catalizador del tipo: ácido de Lewis (tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio/sílica gel (2:1 v/m)), en el que se obtuvo el hidrogenosulfatoderivado correspondiente (octahidrogenosulfato de sacarosa) por vía catalítica heterogénea en fase líquida, con rendimiento de 91 %. Tanto las temperaturas de fusión como los espectros de FTIR RMN-^{1}H y RMN-^{13}C permitieron caracterizar el hidrogenosulfatoderivado que se obtuvo.

Palabras claves: octahidrogenosulfato de sacarosa, tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio/sílica gel (2:1 v/m), proceso sostenible.

Abstract

One molecular Lewis´s acid type was synthesizing (tetrahydroxychlorosulphonyle divanadium/silica gel (2:1)) from vanadium pentoxide, with yield of 96%. A new synthetic method was developed for sacarose sulphatation where tetrahydroxychlorosulphonyle divanadium/silica gel (2:1) was used as catalysts, obtaining the corresponding hydrogensulphate derivative (octakis sacarose) via heterogeneous catalytic in liquid phase, with yield of 91%. The melting points as well as FTIR, NMR-$^{1}H/^{13}C$ spectral data allowed characterising the obtained hydrogensulphate derivative.
Keywords pentakisfructose, tetrahydroxychlorosulphonyle divanadium/silica gel (2:1) and sustainable process.

INTRODUCCION

En la síntesis química actual se han implementado sistemas moleculares del tipo ácidos de Lewis de gran significación a nivel mundial. Estos materiales son empleados como catalizadores en la química no convencional para implementar nuevas vías sintéticas, como lo propuesto por Gronowitz y Hornfeldt (2004).

El diseño y aplicación específica y selectiva de estos sistemas catalíticos están orientados a solucionar problemas sintéticos en la química farmacéutica, catálisis y sucroquímica, específicamente en la optimización energética y atómica de diferentes procesos (incrementando el valor tecnológico agregado) a escala de laboratorio y planta piloto, así como su extensión a programas de I + D.

El octahidrogenosulfato de sacarosa es el principal intermediario para la síntesis del Sucralfate. Este último es un medicamento con propiedades antiulcerosas, muy usado a nivel mundial. Esto aparece reflejado por Maton (2003).

Para la obtención de octahidrogenosulfato de sacarosa, se emplean procesos catalíticos (homogéneos) con diferente grado de sostenibilidad y eficiencia atómica. El método más empleado es en el que se utiliza, como agente sulfatante, grandes volúmenes de piridina-trióxido de azufre, que además actúa como catalizador. Esto aparece reflejado por: Yoshihiro y otros (1969), Orjales y Mosquera (1993), Asimov (1962) y Terentí (2004).

Este método presenta desventajas operativas, tales como: variable eficiencia atómica, elevado costo del catalizador, productos colaterales, tedioso y extenso tratamiento de la mezcla reaccionante y de eliminación del catalizador de la masa del producto, así como un severo impacto tóxico al utilizar como disolvente y catalizador, piridina-trióxido de azufre ($Py\text{-}SO_3$) y N,N-dimetilformamida durante el proceso de sulfatación. Como informan Yoshihiro y otros (1969).

El sistema molecular del tipo ácido de Lewis (tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio/sílica gel (2:1

v/m)), puede constituir una variante catalítica alternativa en procesos de sulfatación para la síntesis de hidrogenosulfatoderivados y eliminación del complejo Py-SO_3, en condiciones de catálisis heterogénea en fase líquida (CHFL). Como se demuestra por: William (2002), Attila y Laszlo (1997) y Anton (2002) Este proceso se considera de tipo sostenible, por el empleo de la catálisis, según proponen Ya. Guerasimov y otros (1961) y Sheldon y otros (2007), con un mínimo impacto ambiental, como informa Rothenberg (2008), elevada eficiencia atómica y con una potencial capacidad de escalado a nivel industrial y de reutilización del catalizador. En la metodología desarrollada se sustituye el complejo piridina-trióxido de azufre por el tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio/sílica gel (2:1 v/m) como catalizador, lográndose con ello: incrementar la sostenibilidad del proceso al disminuir la generación de productos colaterales, reducir la manipulación del complejo piridina-trióxido de azufre y eliminar el tedioso tratamiento de las mezclas reaccionantes.

El objetivo general del trabajo consistió en sintetizar octahidrogenosulfato de sacarosa empleando un nuevo catalizador, con alta eficiencia atómica para ser utilizado en la Industria Farmacéutica y Sucroquímica. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

1. Sintetizar el sistema molecular tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio/sílica gel (2:1 v/m).
2. Desarrollar un método de síntesis para la sulfatación de sacarosa mediante el empleo de este catalizador.
3. Caracterizar el sulfatoderivado obtenido.

MATERIALES Y METODOS

a) Materiales

1. Materias Primas, Reactivos y Disolventes Empleados

Sacarosa p.a. ---------- FLUKA

V_2O_5, Ácido clorosulfónico, $MgSO_4$, Acido sulfúrico 98% p.a ---- MERCK

Sílica gel-60 (70-230 mesh ASTM) ---------- MERCK

Cloroformo, Metanol (reactivo) ---------- Riedel-de Haën

Diclorometano, Benceno p.a ---------- MERCK

Acetato de Etilo p.a. ---------- PANREAC

Etanol (96%) ---------- Grado Técnico

2. Equipos utilizados, condiciones de registro y procedimientos

Estufa de vacío

La activación superficial del catalizador (1 h a T = 50 ºC), así como el secado del octahidrogenosulfato de sacarosa (T = 60-70 °C, hasta peso constante) se realizaron en una estufa de vacío Heraus (Suiza).

Temperatura de fusión (Tf)

Las temperaturas de fusión de los compuestos obtenidos se determinan en un equipo Electrothermal modelo IA6304, en capilares abiertos.

Visualización de los cromatogramas

Se empleó una lámpara UV a λ = 254 y 365 nm del tipo Lamp UV Spectroline, Modelo ENF 240 °C 115 v 60 Hz 0,20 Amp Spectronic Corporation New York, USA.

Revelado de los cromatogramas

El revelado se realizó con H_2SO_4(c)/EtOH (96%) (1:1 v/v) y vapores de iodo.

Cromatografía de capa fina (CCF)

El desarrollo de la reacción de sulfatación se siguió mediante cromatografía de capa fina, donde se emplearon cromatoplacas preparativas de sílica gel 60F254 MERCK de 5 cm de ancho por 10 cm de largo y 0,25 mm de espesor. Como fase móvil se usaron diferentes mezclas de disolventes:

- Sacarosa y su octahidrogenosulfato: acetato de etilo-metanol (4:2 v/v) o benceno.

Cromatografía de columna (CC)

La purificación del octahidrogenosulfato de fructosa se realizó mediante cromatografía de columna, donde se empleó como fase estacionaria sílica gel 60 (70-230 mesh ASTM), y diferentes mezclas de disolventes como fase móvil:

- sacarosa y su octahidrogenosulfato: acetato de etilo-metanol (4:0.5 v/v) o benceno.

Espectroscopía Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

Los espectros infrarrojos se registraron a 25 °C en un espectrofotómetro PHILIPS FTIR PU-9800 y FT/IR 460 Jasco Canvas, Japón. Las muestras se prepararon en pastillas de bromuro de potasio (KBr). Los espectros se realizaron en el Laboratorio de Química de Materiales del Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica, IMRE U/H-MES.

Espectroscopía RMN-^{1}H y ^{13}C

Los espectros RMN-^{1}H y ^{13}C se registraron en un equipo BRUKER ACF-250F, a una frecuencia de resonancia de 250,13 MHz y 62,90 MHz, respectivamente. Se emplearon cloroformo deuterado (CDC_{l3}) y dimetilsulfóxido deuterado (CD_3SOCD_3) como disolventes y el tetrametilsilano (referencia interna). Los espectros se realizaron en el Laboratorio de Antígenos Sintéticos, U/H-MES.

b) Métodos

1. Síntesis del tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio impregnado sobre sílica gel (2:1 v/m).

En un matraz de fondo redondo de dos bocas, de 250 mL de capacidad equipado con condensador a reflujo y trampa de gases hacia un baño de solución básica saturada ($NaHCO_3/H_2O$), se colocaron 20 g de óxido de vanadio y se adicionó a través de un embudo goteador (de forma muy lenta) 72 mL de ácido clorosulfónico. La mezcla reaccionante se agitó a 600 rpm y calentó a 60 °C durante dos horas. A continuación el sistema de reacción se enfrió hasta una temperatura entre 10-5 °C y se adicionaron 50 mL de etanol (96%). El líquido azul viscoso que se obtuvo, tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio

($H_4O_{17}Cl_4S_4V_2$), se evaporó con el empleo de un rotoevaporador (P = 25 Pa y T = 80 ºC) hasta peso constante. Al aceite azul resultante se le adicionaron 5 g de sílica gel con 5 mL de etanol (96%). La suspensión que se generó se evaporó con el empleo de un rotoevaporador (P = 25 Pa y T = 80 ºC) hasta peso constante. El sólido azul que se produjo, tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio/sílica gel (2:1 v/m), se secó durante veinticuatro horas en una desecadora (H_2SO_4 conc.).

2. Método para la síntesis del octahidrogenosulfato de sacarosa.

En un matraz de fondo redondo de tres bocas, de 50 mL de capacidad equipado con condensador a reflujo y trampa de gases con solución básica saturada ($NaHCO_3/H_2O$), se colocaron 0,02 mol del carbohidrato y 15 mL de cloroformo. Estos sistemas se agitaron a 600 rpm durante diez minutos a temperatura ambiente. A continuación se adicionaron, a través de un embudo goteador, lentamente, de 5,3 mL de ácido clorosulfónico y 10 g del catalizador previamente activado (1 h a T = 50 ºC, en estufa). Las distintas mezclas reaccionantes se reflujaron por 6 h. Luego se filtraron a vacío, utilizando una placa filtrante (frita de cerámica 2-3 mm) y el residuo, tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio impregnado sobre sílica gel (2:1 v/m), se lavó con 3 mL de cloroformo para ser reutilizado. Los líquidos resultantes se evaporaron con el empleo de un rotoevaporador (P = 25 Pa y T = 80 ºC) hasta peso constante. De las mezclas resultantes se aisló el hidrogenosulfatoderivado de interés mediante cromatografía de columna y se secó al vacío (T = 60-70 °C) hasta peso constante.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Síntesis del catalizador.

El tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio impregnado sobre sílica gel (2:1 v/m) se obtuvo en dos etapas: la primera, cuando se calentaron durante dos horas (T = 60 °C) 0,02 mol del óxido de vanadio con ácido clorosulfónico para dar como resultado un aceite azul viscoso (tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio) y luego en una segunda etapa el aceite obtenido se trató con una mezcla de sílica gel/etanol (96%) en condiciones de rotoevaporación (P = 25 Pa y T = 80 ºC) (figura 1).

$$V_2O_5\,(s) + 4\,HSO_3Cl\,(l) \xrightarrow[2h]{\text{Calentar } T = 60^0C} H_4O_{17}Cl_4S_4V_2\,(l)$$

$$H_4O_{17}Cl_4S_4V_2\,(l) + \text{sílica gel}\,(s) \xrightarrow[P = 25\ Pa,\ T = 80^0C]{\text{Rotoevaporar}} H_4O_{17}Cl_4S_4V_2/\text{sílica gel}\,(2{:}1\ w/w)\,(s)$$

Fig. 1. Ecuaciones de las reacciones para la obtención del catalizador.

En el proceso de síntesis para obtener el catalizador, se colocó una trampa de gases hacia un baño de solución básica saturada ($NaHCO_3/H_2O$) para evitar que se desprendan vapores de ácido sulfúrico y cloruro de hidrógeno. Dicha trampa de gases hace que estos vapores se absorban en la solución básica y

formen una sal mixta de cloruro y sulfito de sodio (NaCl y $NaSO_3$), evitando así emanaciones al medioambiente.

Tabla I. Tiempo de reacción (tr), rendimiento (Rend.) y temperaturas de fusión (Tf) del catalizador.

Catalizador	tr (h)	Rend. (%)	Tf (ºC)
Tetrahidroxiclorosulfonilo de divanadio impregnado sobre sílica gel (2:1 v/m)	2	96	> 380

La adición de ácido clorosulfónico a la mezcla reaccionante para la síntesis, se realizó de forma lenta a través de un embudo separador teniendo en cuenta que su interacción con bases orgánicas provocan reacciones muy exotérmicas según informa William (2002).

2. Síntesis del pentahidrogenosulfato de fructosa.

Esta síntesis se llevo a cabo mediante catálisis heterogénea en fase líquida. Dichas metodologías se propusieron a partir de los procedimientos descritos por Roy y Wolfrom (1963) para la elaboración de un análogo estructural (monosulfato de glucosa).

El octahidrogenosulfato de sacarosa se sintetizó según la figura 2.

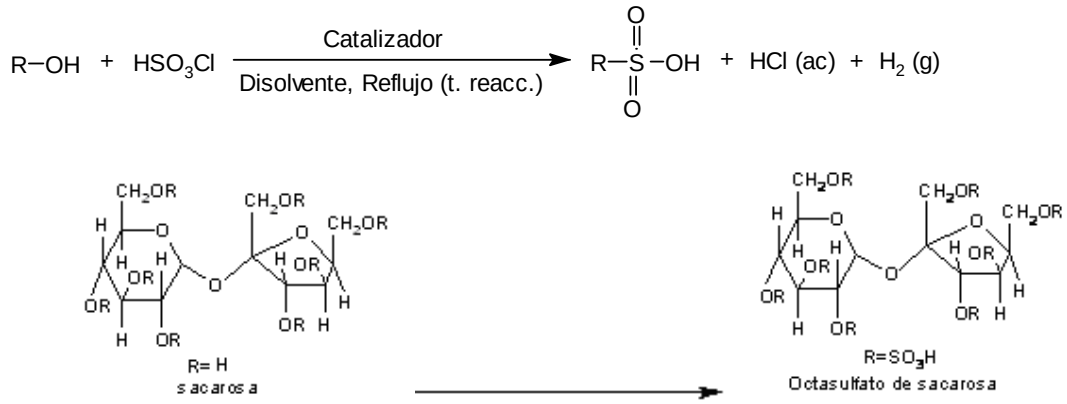


Fig. 2. Esquema de reacción para la síntesis del octahidrogenosulfato de sacarosa.

El avance del proceso de sulfatación y el tiempo de reacción se determinaron mediante cromatografía de capa fina (CCF), donde se observó una mancha correspondiente a un compuesto de menor Rf en 0,35, más polar (hidrogenosulfatoderivado) que la del carbohidrato de partida (Rf en 0,85). Este hecho fue una evidencia experimental de que la conversión química de carbohidrato a sulfato tuvo lugar sin la formación de productos colaterales (α,β-epímero). Lo cual se corroboró por FTIR, RMN-^{1}H y ^{13}C (figura 3, 4, 5 y 6).

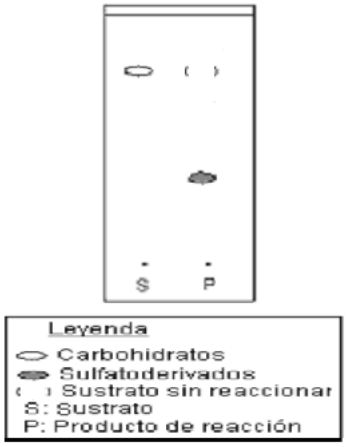


Fig. 3. Cromatogramas de la reacción de síntesis del octahidrogenosulfato de sacarosa.

Si comparamos algunos de los catalizadores informados del tipo complejo de piridina-trióxido de azufre o ácido sulfúrico concentrado para la sulfatación monosacáridos o disacáridos (t = 5-8 h, Rend = 80-87%) a reflujo en el proceso de síntesis informado por Guerasimov y otros (1961); con respecto al comportamiento que presentó esta especie catalítica para el proceso de sulfatación bajo similares condiciones de reacción se observó que, esta última presentó mayor rendimiento (91%), el aislamiento de las mezcla reaccionante se realizó mediante filtración a vacío y el catalizador se reutilizó (hasta diez experiencias), donde se conservaron sus propiedades catalíticas (Rend. = 77-70%).

En la tabla II se presenta el rendimiento práctico y la temperatura de fusión del hidrogenosulfatoderivado, luego de ser purificado mediante cromatografía de columna. Estos valores experimentales coinciden con los informados en la literatura por Dov (1989).

Tabla II. Rendimiento práctico y temperaturas de fusión (Tf) del hidrogenosulfatoderivado.

Hidrogenosulfatoderivado	**Rendimiento práctico (%)**	**Tf (°C)**
Octahidrogenosulfato de fructosa	91	143-147

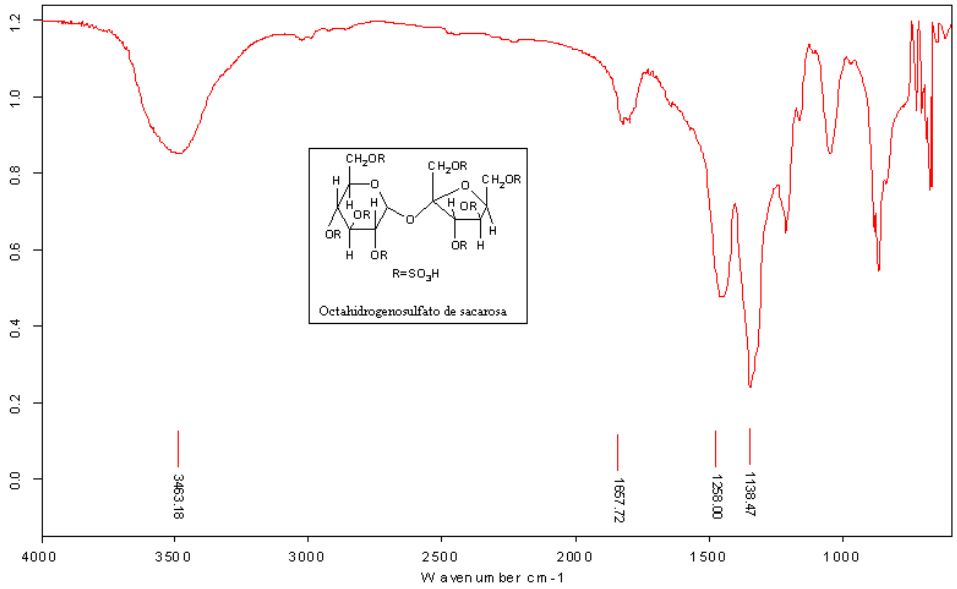


Fig. 4. Espectro FTIR del hidrogenosulfatoderivado.

El octahidrogenosulfato de sacarosa presentó siete bandas típicas entre 3463 y 619 cm^{-1}, que pudieron diferenciarse en tres zonas para su análisis:

- Zona 1 – banda ancha de mediana intensidad entre 3600 y 3200 cm^{-1} con un máximo en 3463 cm^{-1}. Esta banda fue atribuible a grupos hidroxilo pertenecientes al grupo funcional -SO_2-OH.
- Zona 2 – banda de pequeña intensidad entre 1680 y 1580 cm^{-1} con un máximo en 1657 y 1631 cm^{-1} asociada a la vibración de valencia del grupo sulfato (νsS=O).
- Zona 3 – entre 1260 y 990 cm^{-1} que incluye tres bandas máximas con 1258, 1138 y 995 cm^{-1}, respectivamente pertenecientes a los grupos éteres presentes en la molécula (νC-O y νC-O-C).

En el espectro infrarrojo se observaron las bandas típicas atribuibles a la probable formación de sales de hidrono-sulfato que se localizaron en la zona 1258-1138 cm^{-1} que corroboró, preliminarmente, la generación de enlaces sulfatos orgánicos. En los intervalos de 1461-1258 cm^{-1} y 1200-1130 cm^{-1} se destacaron tres bandas de mediana intensidad atribuibles a las vibraciones de valencia asimétricas y simétricas de la función S = O (νsS=O y νasS=O) para los sulfatos orgánicos de sistemas polihidroxilados cíclicos.

Debe destacarse que la función éter, -C-O-C-, se superpone en la zona 3, aprox. 1125-1135 cm^{-1} (1138), lo que corrobora que el proceso sintético, según las condiciones de catálisis descritas, no destruye la estructura cíclica del sustrato de partida.

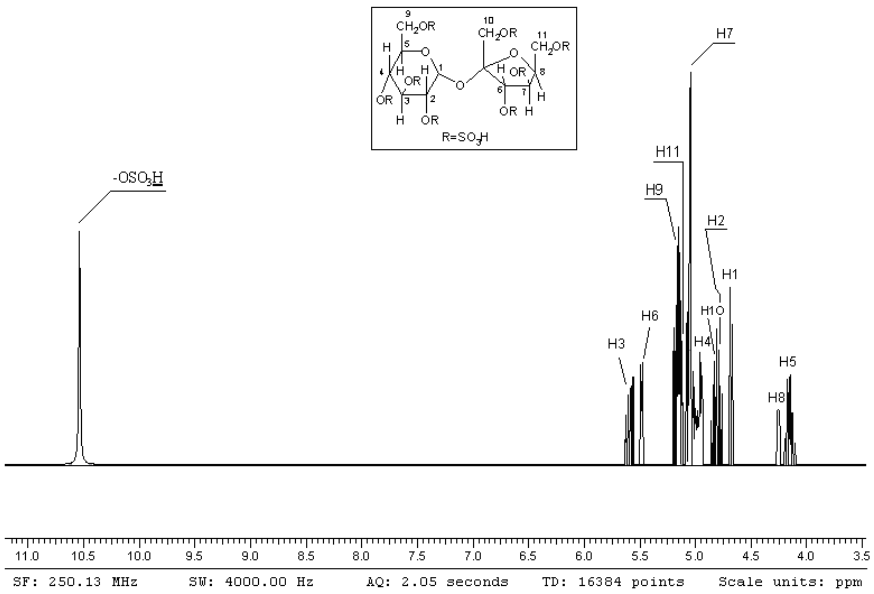


Fig. 5. Espectro RMN-^{1}H del hidrogenosulfatoderivado.

En el espectro de RMN-^{1}H, se muestra una única señal de gran resolución, intensidad y significación analítica en la región alrededor de 10,5 ppm, que integró cinco protones como un singlete, la correspondiente a un grupo hidrogenosulfato (-SO_3H) presente en la estructura. Se revelaron las señales de H2, H3, H4, H5, H6, H7 y H8 en la región entre 4,2-5,6 ppm con multiplicidades típicas para cada señal. La existencia de estas señales demostraron que la transformación de la sacarosa a su correspondiente hidrogenosulfatoderivado tuvo lugar sin provocar afectaciones estructurales en los fragmentos sacarídicos (fructosa y glucosa).

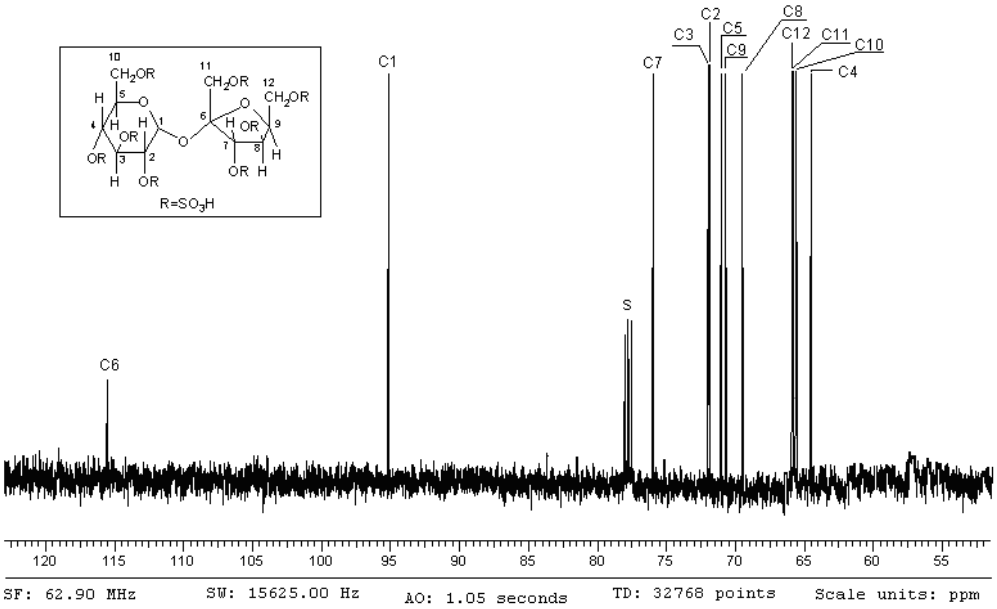


Fig. 6. Espectro RMN-^{13}C del hidrogenosulfatoderivado.

En el espectro de RMN-^{13}C para el hidrogenosulfatoderivado se observaron como señal distintiva la perteneciente a los carbonos: carbonílico C1 en 95,2 ppm y C6 en 115,6 ppm. Estas señales son las más desblindadas, debido a la presencia del grupo éster en su entorno electrónico.

Otras señales propias aparecieron alrededor de: 76 ppm (C7), 75 ppm (C5), 70-72 ppm (C3, C2 y C8), 69-67 ppm (C4 y C6) y 66-65 ppm (C12, C11 y C10). Todas estas señales se detectaron en estos intervalos espectrales, debido a la presencia de los fragmentos sacarídicos de grupos hidrogenosulfatos.

CONCLUSIONES

1. Se sintetizó un sistema molecular del tipo ácido de Lewis, con rendimientos de un 96% en condiciones experimentales relativamente sencillas y reproducibles.
2. Se desarrolló un nuevo método de síntesis de sulfatación de sacarosa donde se obtuvo el hidrogenosulfatoderivado con un rendimiento de 91%.
3. Tanto las temperaturas de fusión como los espectros de FTIR, RMN-^{1}H y RMN-^{13}C permitieron caracterizar el hidrogenosulfatoderivado que se obtuvo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Gronowitz Salo y Hornfeldt Anna-Britta (2004). Thiophenes. Verlag Chimie. Pg.635.

2. Maton P. N. (2003), Profile and assessment of GERD Pharmacotherapy. Cleve Clin. J. Med. 70 Suppl 5 pp.S51–70.
3. Yoshihiro Nitta, Komae-Machi and ed. al. (1969). Disaccharide polysulfate alumium compound and method. Pat. US3432489, Mar. 11.
4. Orjales Venero Aurelio y Mosquera Pestaña Ramón (1993). Procedimiento de preparación de un nuevo derivado sulfatado de diosmina. Fábrica Española de Productos Químicos y Farmacéuticos, S.A. (FAES). ES Pat. 2041216. 01.11.
5. Asimov I (1962). Life and Energy: An exploration of the physical and Chemicals basis of modern biology, Doubleday & Co., Inc., New York. USA.
6. Terentí Fernández Olimpia (2004). Estudios sobre la síntesis en fase sólida de oligosacáridos tipo heparina. Universidad SEVILLA. Tesis Doctoral.
7. William Cremlyn Richar James (2002). Chlorosulfonic acid: a versatile reagent. Royal Society of Chemistry, Great Britain. Pg.175.

8. Attila Dahlgren y Laszlo Kiss (1997). Method for preparing sulphate esters effective in the treatment of hiv (human immunodeficiency virus) infections, and aids. WO Pat. 000879. 09 01**.**

9. Anton Van Boeckel Constant Adriaan y Westerduin Pieter (2002). Derivados de hidratos de carbono. ES Pat. 2176609. 01 12.

10. Ya. Guerasimov, V. Dreving, E. Eriomin, A. Kiseliov, V. Lebedev, G. Panchenkov, A. Shliguin, (1961). Curso de Química Física Tomo II. Ed. MIR Moscú. p 280, 281.

11. Sheldon Roger Arthur, Arends Isabel, Hanefeld Ulf (2007). Green Chemistry and Catalysis. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Weinheim Germany, Cap. I y II., 5-7, 35-43, 50-75 ISBN 978-3-527-30715-9.

12. Rothenberg Gadi. Catalysis (2008). Concepts and Green Applications. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim Germany, Capítulo 1, 3 and 7, ISBN: 978-3-527-31824-7, 12-22, 23-24, 127-173.

13. Roy L. Whistler, M. L. Wolfrom (1963). Reactions of carbohydrates. Methods in carbohydrates chemistry. Academic Press Inc. New York, Volume II, 298-303.

14. Dov Michaeli (1989). Método para fabricar composiciones farmacéuticas a base de oligosacáridos sulfatados sintéticos. Marion Laboratories, Inc. ES Pat. 2005852, 01.04.

IDENTIFICACIÓN BÁSICA DE EXTRACTIVOS DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZUCAR EN ALCOHOL BENCENO MEDIANTE CROMATOGRAFIA DE GASES/ESPECTROMETRIA DE MASAS

BASIC IDENTIFICATION OF BENZENE/ETHANOL EXTRACTS FROM SUGARCANE BAGASSE BY GAS CHROMATOGRAPH/ MASS SPECTROMETER

Laura Lami Izquierdo, Raúl Hernández Sánchez, Jorge Pino Alea*, Amalia Cámara Pérez, Yanay Martínez Pérez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Planta Bioprocesos, CP 33500, Quivicán, Mayabeque. Cuba.
* Instituto de Investigaciones Alimenticias (IIIA).

Email:laura.lami@icidca.edu.cu

Resumen

El objetivo del presente trabajo es la identificación de los componentes de los extractivos del bagazo de la caña de azúcar con una mezcla de etanol: benceno (1:2) fueron analizados en un GC-17A/MS-QP5050 (Shimadzu). Hernández. **(2012)** realizaron una determinación cualitativa y cuantitativa de los extractivos, con un cauteloso porcentaje de confiabilidad. Esta confiabilidad en los resultados se solucionó calculando el índice de retención kovats, que nos permite corroborar la exactitud de la identificación de una molécula determinada. Las muestras estudiadas corresponden al bagazo integral, desmedulado y prehidrolizado. Entre el _98-99% de los compuestos separados fueron identificados por su tiempo de retención, los fragmentos moleculares de su espectro de masa, y por los índice de retención kovats, todos fueron comparados con sus datos reportados en las diferentes bibliotecas disponibles.

Palabras Claves: Bagazo de caña de azúcar, extractivos, CG/EM.

Abstract

The extractives separated from sugarcane bagasse with a mixture of ethanol:benzene (1:2) were analysed in a GC-17A/MS-QP5050 (Shimadzu). Hernández and others (2012) carried out a qualitative and quantitative determination of such extractives, with a cautious percentage of confidence. This confidence in the results was solved calculating the index of retention kovats that allows us to corroborate the accuracy of the identification of a certain molecule. The studied samples correspond to the whole bagasse, depithing and pre-hydrolysated. Among 98-99% of the separate compounds they were identified by their retention time, the molecular fragments of their spectrum of mass, and for the index of retention kovats. All this results were compared with their data reported in the different available libraries.

Key words: Trash of cane of sugar, extractive, CG/EM.

INTRODUCCION

Los extractivos se definen como un amplio rango de compuestos que son separados de los materiales vegetales con disolventes (1). Constituyen entre 1 al 5 % del peso en las maderas duras y del bagazo. En la actualidad la gran diversidad de especies químicas que conforman los extractivos van encontrando interés científico e industrial reportándose su empleo en la medicina (2), perfumería, productos dermatológicos, química analítica, etc. (3,4).

Para caracterizar los extractivos se emplea el método de cromatografía gaseosa-espectrometría de masa (**CG/EM**) donde se identifican los espectros característicos a cada compuesto (7-12). En este sentido se reporta la presencia de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes anticancerígenos y cardioprotectores (13,14).

Dado los resultados preliminares obtenidos, ya publicados en la primera parte de este trabajo, se pretende corroborar y mejorar ese estudio mediante la identificación de los componentes químicos presentes en los extractivos del bagazo integral, desmedulado y prehidrolizado, de una forma más estricta y confiable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ensayaron diferentes muestras de bagazo: (B-1) bagazo integral, recolectado durante la zafra 2010-2011 del CAI Manuel Fajardo, (B-2) el bagazo desmedulado en suspensión (15) y (B-3) el bagazo prehidrolizado (Temp. 100-180 ^{o}C; tiempo 30-120 min; presión 5-10 atm). Las muestras se molieron y tamizaron tomando para las extracciones la fracción 40-60 mesh.

Los solventes utilizados grados analíticos fueron suministrados por la firma QUIMIPUR.

Análisis por CG/EM

Los extractos obtenidos fueron procesados en un cromatógrafo gaseoso CG-17A acoplado a un espectrómetro de masa QP5050 de la firma Shimadzu. Todas bajo las mismas condiciones de una Columna **Rxi^{R}-5ms** con una rampa de temperatura 60 - 260 ºC; inyector y detector a 250ºC; utilizando He como portador a la presión de 56.7 KPa y flujo de 51.2 ml/min, con un tiempo programado de 40 a 60 minutos.

La identificación de los compuestos se realizó mediante el empleo de la Biblioteca NIST-MS Search 2.0 que forma parte tanto de los Programas GCMS solution del equipo como del Programa AMDIS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El **índice de retención de Kovats** es un método de cuantificación de los tiempos de elución relativa de los diferentes compuestos en cromatografía de gases, de forma que ayuda a identificar positivamente los componentes de una mezcla.

El método aprovecha la relación lineal entre los valores del logaritmo del tiempo de retención , $log(t_r')$, y el número de átomos de carbono en una molécula. El valor del índice de Kovats suele representarse por I en las expresiones matemáticas. Su aplicación se limita a los compuestos orgánicos.

Para la cromatografía isotérmica, el índice de Kovats viene dada por la ecuación

$$I = 100 \times \left[n + (N - n) \frac{log(t'_{r(desconocido)}) - log(t'_{r(n)})}{log(t'_{r(N)}) - log(t'_{r(n)})} \right]$$

Donde

I = índice de retención de Kovats

n = número de átomos de carbono más pequeños

N = número de átomos de carbono más grandes

t_r' = tiempo de retención ajustado.

Para una cromatografía de temperatura programada, el índice de Kovats está dado por la ecuación:

$$I = \left[\frac{t_{r(desconocido)} - t_{r(n)})}{t_{r(N)} - t_{r(n)}}\right] * (100 \times z) + (100 \times n)$$

donde

I = índice de retención de Kovats

n = número de átomos de carbono menores

N = número de átomos de carbono mayores más pequeño y el mayo r

z = diferencia del número de átomos de carbono entre el

tr' = tiempo de retención

Las Figs.1, 2 y 3 y las tablas I, II y III muestran, los cromatogramas totales de los componentes solubles en acetona de los extractivos de los bagazos B-1, B-2 y B-3.

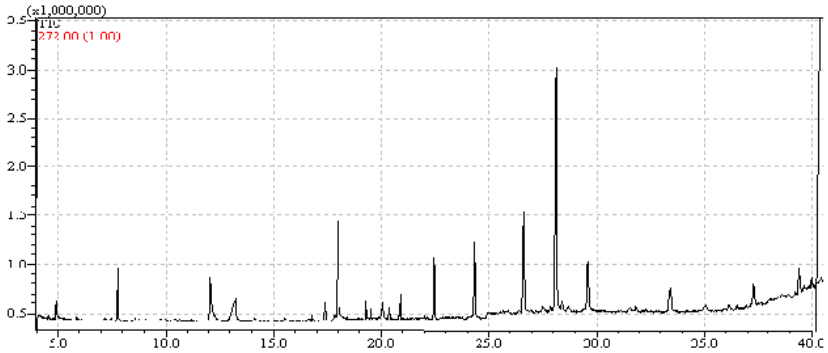


Fig.1. Cromatograma total de los compuestos solubles en acetona del extracto alcohol-benceno de la muestra B-1 realizados por CG/EM.

En las Tablas I, II y III se reportan además los compuestos identificados en la fracción soluble en acetona de los extractivos en alcohol benceno, del bagazo integral (B-1), el bagazo desmedulado (B-2) y el bagazo pre-hidrolizado (B-3) respectivamente. Se separaron de 14 a 24 componentes que se identificaron adecuadamente en su totalidad.

Tabla No. I Componentes del Bagazo Integral identificados

No.	TR (min.)	Compuesto	IK Report/Calc.	Certeza (%)	Area % B1
1.	4.9	p-Hidroxibenzaldehído $C_7H_6O_2$	1203/1198	96	2.46
2.	7.8	Di-Tert-Butilfenol $C_{14}H_{22}O$	1555/1540	90	3.93
3.	12.1	p-Hydroxybenzal acetona	1456/1460	80	10.15
4.	13.3	Acido p-cumárico	1631/1620	83	9.74
5.	17.3	Acido Miristico	1739/1750	92	2.54
6.	17.99	2-Allyl-1,4-dimethoxy-3-methyl-benzene		80	14
7.	19.3	1-Hexadecanol	1854/1849	90	1.9
8.	19.5	EICOSAN	2000/1995	83	0.58
9.	20.1	OleicAcid cis o trans	2097/2099	75	1.12
10.	20.4	Acido Octadecanoico isomero cis o trans	2113/2110	70	1.14
11.	20.9	N-Docosano22	2200/2197	95	2.56
12.	22.5	N-Pentacosano25	2500/2497	92	7.1
13.	24.3	N-Hexacosano26	2600/2599	95	9.1
14.	26.6	N-Heptacosano27	2700/2699	90	15.50
15.	29.6	N-Triacontano30	3000/2995	90	9.48
16.	33.4	Hentriacontano	3100/3098	87	5.42
17.	37.3	11-n-Decyldocosane	3138/3130	91	3.27
	Porcentaje de área de muestra identificado con exactitud				**99.9**

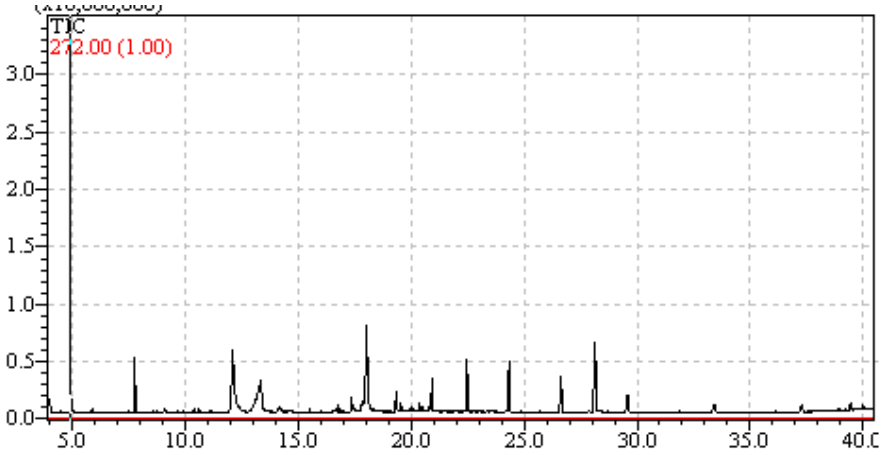


Fig.2. Cromatograma total de los compuestos solubles en acetona del extracto alcohol-benceno de la muestra B-2 realizados por CG/EM.

Tabla No. II Componentes del Bagazo Desmedulado identificados

No.	TR (min.)	Compuesto	IK Report/Calc.	Certeza (%)	Area % B2
1.	4.9	p-Hidroxibenzaldehído	1203/1198	96	3.18
2.	5.9	Vainillina	1349/1340	90	0.65
3.	7.4	Ácido 4-Hidroxibenzoico	1371/1360	89	0.36
4.	7.8	Di-Tert-Butilfenol	1502/1501	90	6.15
5.	8.6	Ácido Vainillinico	1560/1552	81	0.52
6.	8.7	2,6-Dimethoxibenzoquinona	1530/1529	90	
7.	9.1	1-tetradecanol 14	1630/1620	90	0.68
8.	10.4	Siringaldehido	1670/1665	96	0.27
9.	12.1	p-Hydroxybenzal acetona	1456/1460	80	8.1
10.	13.3	Ácido p-cumárico	1726/1715	83	19.5
11.	17.3	Acido Miristico	1739/1760	92	2.04
12.	17.99	2-Allyl-1,4-dimethoxy-3-methyl-benzene		87	1.1

13.	19.3	1-Hexadecanol	1854/1849	90	20
14.	19.5	EICOSAN	2000/1995	83	3.12
15.	20.1	OleicAcid cis o trans	2097/2099	75	1.07
16.	20.4	Acido Octadecanoico isomero cis o trans	2113/2110	70	1.09
17.	20.9	N-Docosano	2200/2197	95	3.36
18.	22.5	N-Pentacosano	2500/2497	92	6.65
19.	24.3	N-Hexacosano	2600/2599	95	7.5
20.	26.6	N-Heptacosano	2700/2699	90	5.9
21.	29.6	N-Triacontano	3000/2995	90	4.43
22.	33.4	Hentriacontano	3100/3098		2.79
23.	37.3	11-n-Decyldocosane	3138/3130	91	1.53
	Porcentaje de área de muestra identificado con exactitud				**99.9**

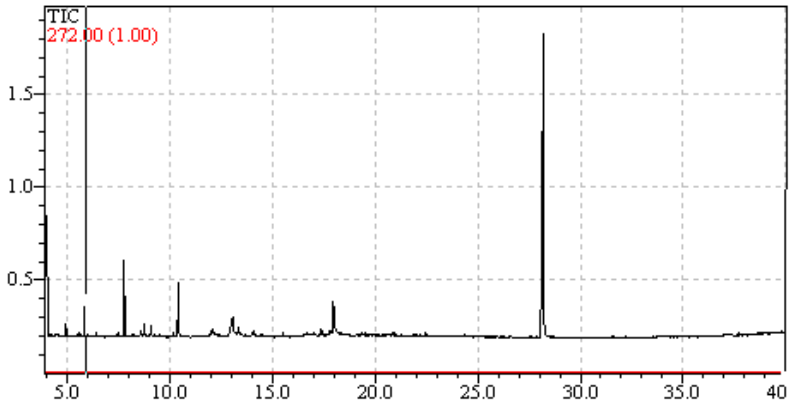


Fig.3. Cromatograma total de los compuestos solubles en acetona del extracto alcohol-benceno de la muestra B-3 realizados por CG/EM.

Tabla No. III Componentes del Bagazo Prehidrolizado identificados

No.	TR (min.)	Compuesto	IK Report/Calc.	Certeza (%)	Area % B3
1	4.9	p-Hidroxibenzaldehído $C_7H_6O_2$	1203/1198	96	5.84
2	5.9	Vainillina $C_8H_8O_3$	1349/1340	90	14.11
3	7.4	Ácido 4-Hidroxibenzoico	1371/1360	89	1.55
4	7.8	Di-Tert-Butilfenol $C_{14}H_{22}O$	1502/1501	90	28.18
5	8.6	Ácido Vainillinico	1560/1552	81	1.68
6	8.7	2,6-Dimethoxibenzoquinona	1530/1529	90	1.53
7	9.1	1-Tetradecanol 14	1630/1620	90	2.76
8	10.4	Siringaldehido	1670/1665	96	16.99
9	13.0	Acido p-cumárico	1726/1715	83	6.85
10	13.3	1-Hexadeceno	1631/1620	83	2.34
11	17.3	Acido Miristico	1739/1745	92	1.33
13	17.99	2-Allyl-1,4-dimethoxy-3-methyl-benzene		84	14.24
14	22.5	N-Pentacosano25	2500/2497	92	1.37
	Porcentaje de área de muestra identificado con exactitud				**98.77**

En la identificación de la muestra B-1 se detectaron un total de 17 componentes que están formados por aldehídos, alcoholes, parafinas de alto peso molecular, sulfona en menor cuantía y ácidos entre los que se encuentran los isómeros *cis* y *trans* del octadecanoico.

En el bagazo desmedulado (B-2) se detectaron un total de 23 componentes de los cuales 17 compuestos también están presentes en la muestra (B-1) y otros 6 se obtienen con muy baja concentracion,.Esta diferencia nos lleva a la idea de que para el caso del bagazo integral también deben estar presente estos 6 últimos pero no se detectan porque se pierden como trazas debido a las ínfimas cantidades presente. En este caso esta el siringaldehído, compuesto no observado en el bagazo integral, pues es un componente fundamental de la lignina de bagazo (17).

Por otra parte en la muestra de bagazo prehidrolizado (B-3) está constituida fundamentalmente por 14 componentes aldehídos y ácidos. En la caracterización de esta muestra encontramos que desaparecen la mayoría de las parafinas presente en las muestras anteriores, lo cual se justifica con el hecho de que esta última es sometida a condiciones drásticas de presión y temperatura.

A los 28 min. de tiempo de retención se evidenció en todas las muestras la presencia de una alta concentración de ftalato de disoctilo, compuesto plastificante cuya presencia en los vegetales es producto de la contaminación ambiental (18,19). En nuestro caso consideramos su presencia al plástico de las tapas de los micro-viales del equipo que tuvieron contacto con las muestras al ser concentradas y homogenizadas mediante agitación en estos. Por esta razón se hicieron tres determinaciones con diferentes disolventes sin agitarlos en los micro-viales y tratados de igual manera que el de las muestras estudiadas. En los resultados obtenidos encontramos que en los solventes que no se agitaron en los micro-viales no aparece el pico correspondiente al ester ftalico. En los disolventes que fueron tratados de igual manera que el de las muestras estudiadas aparece el pico correspondiente al ester ftalico. Estos resultados confirman que la presencia del compuesto plastificante en el bagazo analizado es por contaminación debido a la manipulación en la medición

CONCLUSIONES

1.- Se separaron e identificaron los componentes de los extractivos en alcohol benceno del bagazo de la caña de azúcar soluble en acetona por sus espectros de masas y determinación de los I. de Kovats, mediante los análisis de cromatografía de gases acoplada a espectrómetro de masas, así como las cantidades relativas de cada uno de ellos

2.- Se identificaron una gran variedad de componentes químicos mayoritariamente alcoholes, hidrocarburos, aldehídos y ácidos grasos.

3.- Quedo de mostrados que el proceso de desmedulado no afecta de forma significativa la composición química de los extractivos del bagazo, mientras que con la prehidrólisis desaparecen algunos componentes encontrados en el bagazo integral

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

(1) Browning B.L. (1967), Methods of Wood Chemistry Vol 1 Interscience Publishers

(2) Beek T. A.; Kuster B.; Claassen, F.W, (2007) Fungal bio-tratment of spruce wood with trametes versicolor for pith control. Influence on extractive contents, pulping process parameters, paper quality and effluent toxicity *Biores. Technol*. 98: 302-311.

(3) Traber, M G. (1999), Modern Nutrition in Health and Disease [J]. Baltimore 10: 347-362.

(4) Peng, W.X., Wu, Y.Q. Determination of Functional Components of Benzene/Ethanol Extractives of Chinese–fir Wood GC/MS www. iofbluemontain.com /search/detail.php 28.08.12

(6) Peng Wan-Xi, Wu Yiqiang Py - GC/MS Analysis on Benzene/Ethanol Extractives of Eucalyptus camaldulensis Wood Meal in Pulping Wastewater from South China *www.seiofbluemountain.com/search/detail.php* 28.08 .12

(7) Gutiérrez, A.; del Río F.; González-Vila F.; (1999), Chemical Composition of Lipophilic Extractives from *Eucalyptus globulus* Labill. Wood Holzforschung 53: 481-484.

(8) Ekeberg D.; Flæte O.; Eikenes M. (2006), Qualitative and quantitative determination of extractives in heartwood of Scots pine (Pinussylvestris L.) by gas chromatography *J. Chromatogr* A, 1109: 267–272.

(9) Fernandez, M.P., Watsonb, P.A., Breuila, C. Gas chromatography-mass spectrometry method for the simultaneous determination of wood extractive compounds in quaking aspen. *J. Chromatogr A*, 922: 225–233. 2001

(10) Pietarinen S.; Willför S.; Vikström F.A.; Holmbom B.R.; (2006), Aspen Knots, a Rich Source of Flavonoids *J Wood Chem Technol* 26 (3): 245-248.

(11) Lo Ket S.; Liew Kang Ch. (2007), Influence of Different Extraction Solvents on Lipophilic Extractives of Acacia Hybrid in Different Wood Portions *Asian J Appl. Sci*. 5: 107-116.

(12) Walford, S., Egli, S., Martincingh, B., (2009), Separation, identification and characterization of extractives from sugarcane (*Saccharum officinarum*) leaf *Proc. Afr. Sug. Technol .Ass*. 82: 342–345.

(13) Colombo, R., Yariwake, J., Queiroz, E.F., Ndjoko, K., Hostettmann, K. (2005), On-line identification of sugarcane (*Saccharum officinarum* L), methoxyflavones by liquid chromatography-UV detection using post column derivatization and liquid chromatography-mass spectrometry *J. Chromat A* 1082: 51-59.

(14) Colombo, R., Yariwake, J.H., McCullagh, M. (2008), Study of C- and O- glycosylflavones in sugarcane extracts using liquid chromatography-exact mass measurement mass spectrometry *J Brazil Chem Soc* 19: 483-490.

(15) Lois, J. (1982), Sistemas y equipos de desmedulado en la industria del, bagazo de la caña de azúcar Editorial Científico Técnica, C.de la Habana 15-17.

(16) Solvent extractives of wood and pulp. Official Test Method Tappi T 204 om-88.

(17) Sarkanen, K.V. Lignins Wiley–Interscience 69-74. 12971

SINTESIS Y CARACTERIZACION DE FERTILIZANTES ORGANICOS A PARTIR DE BIOPOLIMEROS

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ORGANIC FERTILIZERS OBTAINED FROM BIOPOLYMERS

Autores: Lizárraga J., Cerutti G., Heredia B., Muratore P., Carrera E., Michelena G.,Santana A.M.

Instituto de Farmacia. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad Nacional de Tucumán. Ayacucho 471. 4000. Tucumán. Argentina. E-mail: gicerutti@yahoo.com

RESUMEN

En este trabajo se desarrollaron nuevos productos asociados a la agroindustria, mediante el uso de biopolímeros obtenidos a partir de la diversificación de la industria azucarera (dextrano), acomplejados con minerales y/o compuestos orgánicos (urea) para ser utilizados como fertilizantes en la agricultura con impacto favorable en el medio ambiente. Los complejos están formados por dextrana de bajo PM acomplejada con urea y con hierro y urea. La caracterización de los mismos se realizó por espectroscopia infrarrojo de transformador de Fourier (FT-IR), se determinó sus propiedades físico-químicas y su uso como fertilizantes. El resultado del análisis espectral (FT-IR), infiere que el biocomplejo dextrano-urea presenta posibles grupos funcionales del tipo amina (-C-N-) entre el carbono del dextrano y el nitrógeno de la urea. También enlaces carboxilo-nitrógeno, o bien un enlace de tipo imino (-C=N); además se destaca el enlace formado entre el oxigeno-hierro (O-Fe) y nitrógeno-hierro (N-Fe). Se obtuvieron con una buena producción de síntesis acorde al equipamiento del laboratorio y son estables por más de 6 meses desde su síntesis. La composición química de los complejos fue: dextrano 16-18%; 20-23% de nitrógeno; 43-49% de urea y 1.2-1.5% de hierro. En el ensayo exploratorio para uso fertilizante los mismos mostraron cierto aumento de biomasa en las raíces y no se encontró diferencias de biomasa en hojas con respectos a otros fertilizantes. Los bioproductos estudiados, por sus características físicas y químicas, y su comportamiento en pruebas de campo muestran ser altamente benefiocosos su uso en la agricultura como fertilizantes.

Palabras claves: dextrano-bioproductos-fertilizantes.

ABSTRACT

In this work we developed new products associated with agribusiness, through the use of biopolymers derived from diversification of the sugar industry (dextran), complexed with inorganic and / or organic compounds (urea) to be used as fertilizers in agriculture with favorable impact on the environment. The complexes are formed by low M_W dextran complexed with urea and iron and urea. The characterizations infrared spectroscopy was performed by Fourier transformer (FT-IR), determined its physicochemical properties and its use as fertilizer. The result of the spectral analysis (FT-IR), follows that the bio-dextran-urea complex presents possible amine functional groups (-C-N-) between dextran carbon and nitrogen of the urea. Also links carboxyl-nitrogen, or type a link imino (-C= N), further highlights link formed between the oxygen-iron (O-Fe) and iron-nitrogen (N-Fe). Were obtained with a good production of synthesis according to laboratory equipment, and are stable for more than 6 months after its synthesis. The chemical composition

of the complexes was: dextran 16-18% 20-23% nitrogen, 43-49% urea, 1.2-1.5% iron. Exploratory trial as fertilizer showed them some increase in biomass in the roots and found no differences in leaf biomass with respects to other fertilizers. Concluding that the bio-complexes synthesized in this work, for their physical and chemical characteristics promise to be great candidates for use in agriculture as fertilizers.
Keywords: dextran-bioproduct-fertilizers.

INTRODUCCION

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) constituye el cultivo sacarífero más importante del mundo, siendo responsable del 70% de la producción total de azúcar. En Argentina, la agroindustria azucarera se concentra en el noroeste (NOA), en las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy, existiendo además un pequeño desarrollo en el Litoral del país. Tucumán es la principal productora de caña de azúcar, con el 62% de producción (Pérez *et al.,* 2007), un 37% le corresponde a las provincias de Salta y Jujuy; y un 1% a las provincias del Litoral (Centro Azucarero Argentino, 2012).

Además, en Tucumán la caña de azúcar tiene una significativa trascendencia económica y social, ya que es una de sus principales actividades, estimándose, en los últimos años, que su participación en el Producto Bruto Geográfico provincial es del 10,5% (3,1% caña y 7,4% azúcar) (Pérez *et al.,* 2007; Ordóñez, 2003).

El sector azucarero presenta dos actividades marcadas: la primera, representada por la producción de caña de azúcar y la segunda, por la elaboración de azúcar y subproductos. En el crecimiento y desarrollo del cultivo de la caña de azúcar intervienen numerosos factores externos que condicionan su producción y rendimiento, incidiendo sobre el resultado productivo (Fontana, 2010). Entre ellos, la presencia de microorganismos, los cuales al consumir el azúcar producen polisacáridos que elevan la viscosidad de las mieles y ocasionan la pérdida directa de azúcar en hasta un 4% (Michelena *et al*., 2003). Entre los microorganismos principales se encuentran *Leuconostoc mesenteroides* y *Streptococos mutans*, que sintetizan un polímero, el dextrano, en un medio que contenga sacarosa (Vettori *et al.,* 2012).

Leuconostoc mesenteroides es la bacteria láctica que fundamentalmente agrede a la caña (Rodríguez Jiménez, 2005). Se clasifica como coco Gram positivo dispuesto de a pares o en cadenas cortas inmóvil, no esporulado, no produce indol, no reduce nitratos, heterofermentativo y facultativo. Carece de catalasa y citocromos, tolera concentraciones altas de azúcares, lo cual facilita su multiplicación en el jarabe y realiza una fermentación heteroláctica, convirtiendo la glucosa en D-lactato y etanol o ácido acético, por medio de la vía fosfocetolasa (Kandler, 1983; Sneath *et al*., 1991).

El dextrano que se forma durante la producción de sacarosa es un polisacárido formado en condiciones no controladas, por lo que el peso molecular y la mayoría de las propiedades físicas y químicas no son homogéneas (Echeverría Valenzuela, 2006).

El problema de los polisacáridos ha cobrado un creciente interés y dentro de él quién ocupa un lugar destacado es el *dextrano*, considerado el principal enemigo de la cristalización y de la calidad de los crudos y responsable de las dificultades de la refinería (Michelena *et al*., 2003)..

Como consecuencia de los grandes avances de la biotecnología en las últimas décadas, se han desarrollado estudios en la producción y caracterización de polímeros de origen microbiano (biopolímeros), destacándose los polisacáridos y particularmente los dextranos (Michelena *et al*., 2007).

Las propiedades de los dextranos pueden variar dependiendo de las condiciones en las que se producen y convertir las desventajas que provocan en la industria azucarera en propiedades favorables para otras industrias como las industrias Farmacéuticas, Química, Agroquímica, etc.

El desarrollo de una agricultura sustentable, basado en la preservación y/o mejoramiento de la calidad de suelo, agua, y atmósfera, (Delgado *et al.,* 2005), demanda un nuevo enfoque para el manejo de la fertilidad del suelo mediante la dosificación y empleo de enmiendas orgánicas naturales o químicas utilizadas para suplir los requerimientos de los cultivos (Castillo *et al.,* 2007; Thimmanagari *et al.,* 2010).

Los llamados bioproductos o bioinsumos agrícolas son productos económicos y ambientalmente aceptables, ya que además de reducir costos, contribuyen a la obtención de producciones inocuas así como a mejorar la

fertilidad nativa del suelo. De ahí la importancia de potenciar su utilización agrícola (Terry Alfonso *et al.*, 2010).

Los fertilizantes son uno de los productos más importantes en la industria agroquímica. Sin embargo, su aplicación convencional nunca alcanza su objetivo de producir la respuesta biológica deseada en el momento adecuado y en las cantidades específicas requeridas, debido a la no especificidad. Estos factores además de aumentar el costo de tratamiento, producen efectos indeseables sobre las plantas y el medio ambiente (Dubey *et al.*, 2010).

La industria de fertilizantes enfrenta un desafío permanente para aumentar la eficacia de sus productos, mejorando los fertilizantes en uso o desarrollando nuevos fertilizantes específicos (Maene, 1995; Trenkel *et al.*, 1988).

Un *fertilizante* es todo producto que incorporado al suelo o aplicado a los vegetales, suministra en forma directa o indirecta sustancias requeridas por aquellos para su nutrición, crecimiento, aumento de productividad o para mejorar la calidad de la producción (CASAFE).

Uno de los fertilizantes orgánicos más utilizados es la *urea*, que puede ser empleado como fertilizante foliar ya que proporciona un alto contenido de nitrógeno, esencial para el metabolismo de las plantas, y se adapta a diferentes tipos de cultivos (Grant *et al.*, 2002). El 90% de la urea producida industrialmente es utilizada como fertilizante por su elevada concentración de nitrógeno (N) por unidad de producto (46% de N_2).

Una de las limitaciones del uso de este fertilizante es su aplicación en superficie, ya que pueden ocurrir pérdidas de nitrógeno por volatilización del amoníaco (NH_3) (Acción enzimática), (Sangoi *et al*., 2003; Rochette *et al*., 2009). La cantidad de nitrógeno volatilizado después de la aplicación superficial de urea es muy variable y depende de numerosos factores. Entre ellos, las condiciones climáticas y atributos relacionados con el suelo. Ese fenómeno puede ser pequeño, 1 a 15% (Sangoi *et al.*, 2003; Cantarella *et al.*, 2008) o alcanzar valores extremadamente altos, mayores a 50% de nitrógeno aplicado. Además puede producir efectos indirectos en el ecosistema, como por ejemplo la eutrofización, la contaminación del agua subterránea, la acidificación del suelo y la emisión de amoníaco a la atmósfera (Reyca Corredores, 2012).

A medida que ha aumentado la competencia en la industria de fertilizantes, ha avanzado también la diversificación, especialización y el agregado de valor a los productos. Estos fertilizantes permiten *la transferencia lenta, moderada o gradual, de un material activo, desde un sustrato de reserva, hacia otro medio*; es decir que estos fertilizantes no liberan el cien por ciento de los nutrientes disponibles al momento de su aplicación.

En este trabajo se desarrolla productos asociados a la agroindustria, mediante el uso de biopolímeros como los dextranos, que tienen excelentes propiedades tales como la biocompatibilidad, biodegradabilidad y no-toxicidad; acomplejados con minerales y/o compuestos orgánicos (urea) para ser utilizados como fertilizantes en la agricultura, logrando un impacto favorable en el medio ambiente.

MATERIALES Y METODOS

El dextrano utilizado para la síntesis fue provisto por ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar) de La Habana, Cuba en el marco de Convenios Bilaterales de Cooperación e Investigación.

En el Laboratorio de la Cátedra de Garantía de Calidad de Drogas y Medicamentos de la Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia de la UNT se realizó en escala de laboratorio la síntesis de complejos constituidos por el biopolímero dextrano con compuestos orgánicos y/o inorgánicos.

Síntesis del Complejo Dextrano-Urea

El dextrano de uso farmacéutico (5000 Dalton) obtenido biotecnológicamente fue complejado con urea de tipo agrícola según procedimiento (Díaz *et al*., 2005). El biocomplejo obtenido fue sometido a un proceso de molienda fina hasta la consistencia de polvo granular.

Para la síntesis del complejo que contiene hierro (complejo dextrano-hierro-urea), se procedió de manera similar, adicionando el hierro en forma de cloruro férrico ($FeCl_3$) Merk. Para el procedimiento de síntesis química se continúo de la misma manera que la realizada en el complejo dextrano-urea (Díaz *et al*., 2005).

Determinación del contenido de dextrano

Se utilizó el Método colorimétrico del Fenol-Sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956) con final espectrofotométrico, empleando dextrano Sigma de Peso Molecular 9000 como patrón.

Determinación de Nitrógeno

Se utilizó el Método de Kjeldahl (APHA, AWWA, WEF, 1999).

Determinación de Hierro

Se utilizó el método modificado de Bell (1992).

Estudios de Estabilidad de los complejos

Se realizaron estudios de estabilidad acelerada según se indica en FA VII Ed. (2003) a 35°C durante 180 días (6 meses). En periodos de tiempo predeterminados (0, 15, 45, 60, 120 y 180 días), se tomaron alícuotas de los complejos en estudio para su determinación física y química. En cada alícuota se determinó, dextrano nitrógeno, urea y hierro por la metodología antes mencionada.

Estudio de la solubilidad

Se determinó la solubilidad de los componentes dextrano y urea y de los complejos dextrano-urea y dextrano-hierro-urea empleando 3 solventes polares distintos: agua, etanol y acido acético.

El propósito de estudiar la solubilidad de los componentes es determinar su alteración o no, durante la síntesis de los complejos y saber si dichos complejos son solubles a solventes polares como el agua para ser empleados como fertilizantes en fertirriego o aspersión (Ferreyra *et al.*, 2005). Las condiciones de ensayo contemplaron el control de la temperatura en 30°C y la agitación magnética a una velocidad de giro de 25 - 150 rpm durante 30 minutos (Farmacopea Argentina VII ed. 2003).

Estudio de los grupos funcionales presentes en los complejos

La determinación de los grupos funcionales dentro de los complejos se realizó por espectroscopia infrarrojo utilizando un espectrofotómetro (marca Spectrum GX Perkin Elmer) por transformador de Fourier (FT-IR). Los espectros se registraron en un intervalo de 4000 – 400 cm^{-1} mediante la técnica de fase sólida utilizando pastillas de bromuro de potasio (KBr), cuya característica es su capacidad de ser trasparente (no absorbe) a la radiación infrarroja utilizada.

Determinación del punto de fusión

Para la determinación de la "Temperatura de Fusión" se empleó el método de superficie caliente, empleando un Microscopio de Fusión Ernst Leitz Wetzlar 350.

Evaluación del crecimiento vegetal

Para el estudio de crecimiento (biomasa) de plantines de pimientos (Capsicum annuum) se utilizó un invernáculo en un rango de temperaturas de 30°C a 35°C, usando un diseño experimental exploratorio de una

planta por tratamientos, empleando un control sin tratamiento (T1), urea de uso agrícola como testigo (T2) y los complejos dextrano-urea (T3) y dextrano-hierro-urea (T4). Se tomaron muestras cada 15 (quince) días desde el momento de la aplicación de los fertilizantes y hasta el primer fruto de 1 centímetro de diámetro, muestreo final (T_f). La experiencia tuvo una duración de aproximada de 80 días.
Se evaluó peso fresco y peso seco, para lo cual se extrajeron raíces, tallo y hojas de los plantines; el material fue llevado a estufa a 90°C hasta peso constante.

RESULTADOS Y DISCUSION

Por primera vez en Tucumán, en la Cátedra Garantía de Calidad de Drogas y Medicamentos de la Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia de la UNT, se formularon y sintetizaron dos complejos químicos a escala de laboratorio. El primero constituido por el biopolímero dextrano (PM 5000 Dalton), como vehículo y/o matriz inerte, y urea agrícola como fuente de nitrógeno. El segundo complejo posee igual composición al anterior, pero al mismo se le adicionó un micronutriente de origen mineral, el hierro, dando lugar así a un nuevo bioproducto: dextrano-hierro-urea (Lizárraga *et al.*, 2011).
Los complejos se diseñaron con el fin de estudiar sus propiedades e investigar su posible aplicación como fertilizantes de mayor eficiencia en cultivos agrícolas de estación. La técnica de síntesis que se empleó fue la realizada por Díaz *et al.*, 2005 modificada. Entre las modificaciones realizadas, se procedió al secado de los productos en estufa termostatizada, en reemplazo del tambor de secado rotatorio termostatizado utilizado por Díaz. Éste cambio llevó a reducir los volúmenes de complejos sintetizados a los fines de adecuarse a la capacidad de la estufa de secado empleada (Lizárraga *et al.*, 2011).
Las características organolépticas de los biocomplejos presentaron forma de polvo granular de consistencia mucilaginosa al tacto, de color marrón oscuro para el complejo con hierro y un marrón-beige para el complejo sin hierro, no mostraron un olor característico. (Lizárraga *et a.*, 2011). Estas cualidades difieren del producto obtenido por el ICIDCA, ya que el mismo presentó forma de polvo fino de consistencia seca al tacto, un color marrón mucho más oscuro y con olor característico (Díaz *et al*., 2005).

Evaluación de solubilidad

La formación de complejos produce cambios en algunas de sus propiedades; entre ellas la solubilidad, lo que se manifiesta en una disminución de la misma en los biocomplejos obtenidos. Así, se determinó que los mismos son Poco Soluble (P.S.), según Farmacopea VIII (2011), para los 3 solventes (agua; etanol y ácido acético glacial) ensayados en las condiciones de estudio (Lizárraga *et a.*, 2011) como se observa en la **Tabla 1**. Para comprobar la hipótesis del efecto observado en la solubilidad, se realizó una espectroscopia infrarroja (IR).

Tabla 1. Solubilidad de los bio-complejos. Comparación con la solubilidad del complejo ICIDCA, Cuba.

PRODUCTO	SOLVENTES		
	AGUA	ETANOL	Ac. ACÉTICO
DEXTRANO	M.S.	M.S.	M.S.
UREA	M.S.	M.S.	M.S.
DEXTRANO-UREA (CATEDRA)	P.S.	P.S.	P.S.
DEXTRANO-HIERRO-UREA (CATEDRA)	P.S.	P.S.	P.S.
DEXTRANO-HIERRO-UREA (ICIDCA)	P.S.	P.S.	P.S.

M.S: muy soluble; **P.S**: poco soluble

Evaluación Química

La evaluación química realizada a los biocomplejos arrojó para el complejo con hierro un contenido de dextrano que oscila entre 16 - 18% (mismo valor presentó el complejo sin hierro); en cuanto al contenido de nitrógeno osciló entre 20 - 21% y urea 43 - 45%; para el complejo sin hierro los valores fueron 22 - 23% para el nitrógeno y 47 - 49% para urea. Éstas concentraciones son mayores a las obtenidas por Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) para su complejo dextrano-hierro-urea (**Tabla 2**) (Lizárraga *et a.*, 2011; Díaz *et al.*, 2005).

Tabla 2. Composición química de los biocomplejos sintetizados, expresados en g/100g de muestra. Comparación con el biocomplejo obtenido en Cuba.

COMPONENTES	COMPLEJOS		
	Dex-Urea	Dex-Fe-Urea	Dex-Fe-Urea (ICIDCA)
DEXTRANO	16 - 18	16 - 18	8 - 10
NITROGENO	22 - 23	20 - 21	11,5 - 18,5
UREA	47 - 49	43 – 45	25 - 40
HIERRO	_	1,2 – 1,5	0,4 – 2,5

Estudio de estabilidad

El estudio realizado permitió estipular un período de vida media de 6 meses (180 días), tiempo durante el cual no se evidenció cambios en el contenido de sus componentes (dextrano; nitrógeno y urea) (**Figuras 1** y **2**). Además mantuvieron las características físicas originales como ser: forma de polvo granular de color marrón oscuro para el bio-complejo con hierro y marrón-beige para el que no contiene hierro ambos de consistencia mucilaginosa al tacto (Lizárraga *et al.*, 2011; CECMED, 2005; Farmacopea VII, 2003).

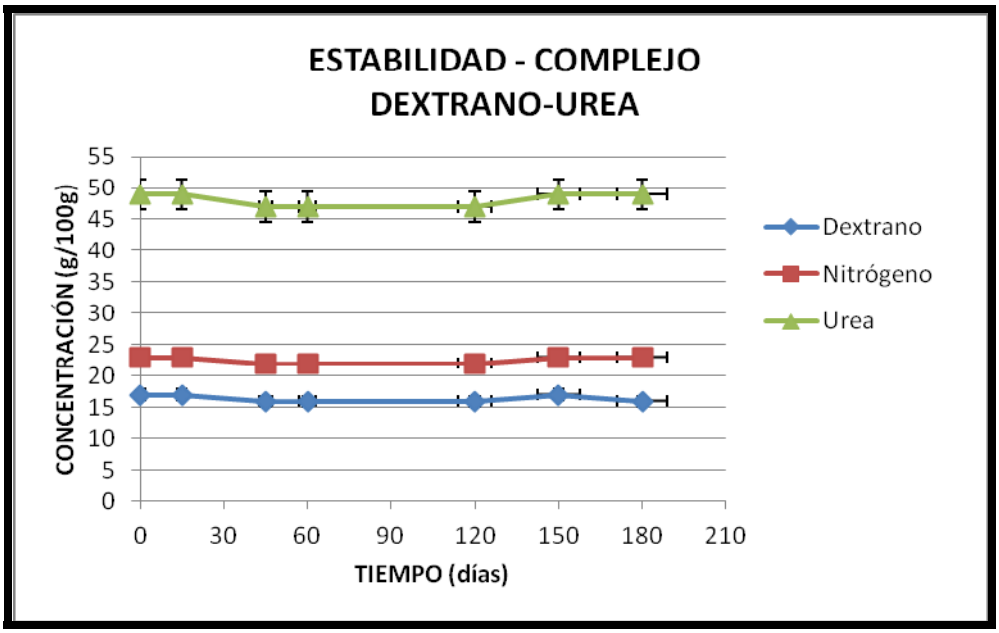


Fig. 1. Concentración química del complejo dextrano-urea en el tiempo

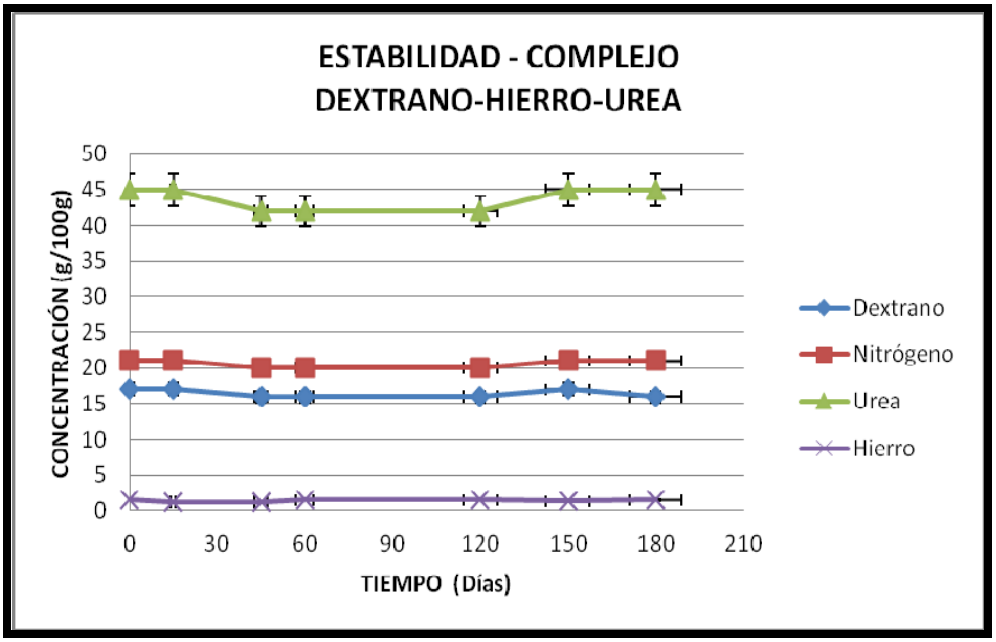


Fig. 2. Concentración química del complejo dextrano-hierro-urea en el tiempo

Espectroscopia Infrarrojo - Estudio de grupos funcionales

La determinación de grupos funcionales se realizó por una espectroscopia infrarrojo por transformador de Fourier, mediante la técnica de fase sólida utilizando pastillas de bromuro de potasio (KBr). Los espectros se registraron en un intervalo de 4000 - 400 cm^{-1} (**Figura 3**). Del estudio se infiere que el bio-complejo

dextrano-urea presenta posibles grupos funcionales del tipo amina (-C-N-) (1155 cm $^{-1}$), entre el C del dextrano y el N de la urea. También enlaces formados entre el carboxilo-nitrógeno (O=C-N-) de la urea con el C del biopolímero en la región 1677 cm^{-1} o bien un enlace de tipo imino C=N, como lo indica García Chávez *et al.,* (2010) para su red híbrida de polímeros (1668 cm^{-1}).

Los resultados obtenidos por Ashraf Malik *et al.,* (2010) para su complejo formado por el biopolímero almidón y la urea, cuyo valor de frecuencia del carboxilo-nitrógeno es 1778 cm^{-1} y del enlace C-N 1250 cm^{-1} son similares a los observados para nuestros complejos.

La banda 2927 cm$^{-1,}$ corresponde al movimiento simétrico y asimétrico del metileno (-CH_2) en el dextrano. Esta región se asemeja a la expresada por Vettori *et al.,* 2012 para el dextrano (2926 cm^{-1}).

Para el biocomplejo con hierro, el enlace amina (-C-N-), presentó un desplazamiento de la banda de 1250 cm^{-1} a 1235 cm^{-1}, probablemente debido a la presencia del ión hierro, el cual realizaría un impedimento estérico entre los átomos de C y N.

A su vez, se destacan los enlaces formados entre el metal y el oxigeno (M-O) y metal y nitrógeno (M-N) en la zona de menor frecuencia del espectro (580 cm^{-1} y 555 cm^{-1} respectivamente) (Ashraf Malik *et al.,* 2010).

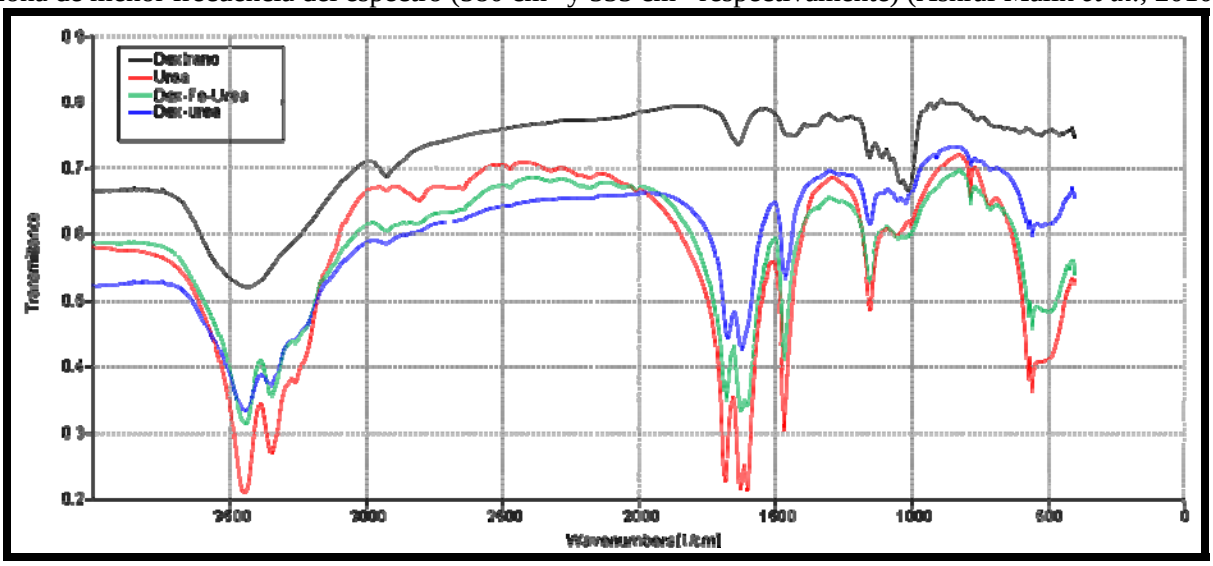


Fig. 3. Espectro IR de los componentes y de los bio-complejos. Se graficó Transmitancia vs frecuencia (cm^{-1}). Siendo las bandas más características las que se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Bandas más características encontradas en los bio-complejos, dextrano y urea.

Muestras	-O-H	-C-O	-C-N	-CH_2	O=C-NH	-N-H	M-O	M-N
Dextrano	3444	1151	_	2927	_	_	_	_
Urea	_	1680	1160	_	1635 -1605	3400	_	_
Dextrano-urea	3441-3346	1880	1155	2920	1677	1475	_	_
Dextrano-Fe-urea	3444-3348	1879	1160	2890	1682 - 1614	1466	580	555

C: carbono; O: oxigeno; N: nitrógeno; M: metal (Fe^{+2})

Evaluación del punto de fusión

Permitió utilizar la temperatura de fusión como criterio de pureza de las sustancias sólidas (dextrano y urea) y como criterio de identidad de compuestos orgánicos (bio-complejos) (Stanford Research Systems; Farmacopea VII, 2003). El ensayo se realizó por triplicado (**Tabla 4**). En el caso de las moléculas de urea en los tres ensayos se registraron temperaturas similares (134.5°C - 135°C - 134.3°C), indicando que la sustancia se encontraría pura. Según UNEP Publication, para urea, la misma tiene un valor de 135 °C.

En las muestras de dextrano y de los complejos sintetizados no se observó moléculas cristalinas ya que son polímeros y se presentan como moléculas amorfas por que los resultaros arrojaron rangos de temperatura de fusión amplios debido a la naturaleza de las moléculas. Para el biopolímero los valores de temperatura de fusión oscilaron entre 190.6°C – 192.4°C; 180.3°C – 182.5°C y 224.8°C – 225.7°C (Lizárraga *et al.*, 2011).

Los complejos presentaron valores de temperatura por encima del determinado para urea y por debajo del registrado para el biopolímero dextrano los valores fueron 155.2-160.1°C; 158.5-164.7°C; 160.3 – 168.4°C para el complejo sin hierro y 138.2-142.6°C; 145.3-150.2°C y 155.4-158.2°C para el complejo con hierro.

Tabla 4. Rango de fusión hallado para cada muestra por triplicado.

MUESTRAS	**Ensayo 1 Temperatura (°C)**	**Ensayo 2 Temperatura (°C)**	**Ensayo 3 Temperatura (°C)**	**Promedio Temperatura (°C)**
DEXTRANO	190.6 - 192.4	180.3 - 182.5	224.8 - 225.7	199.38
UREA	134.5 - 134.8	135 - 135.5	134.3 - 134.8	134.82
DEX-UREA	155.2 - 160.1	158.5 - 164.7	160.3 - 168.4	161.20
DEX-Fe-UREA	138.2 - 142.6	145.3 - 150.2	155.4 - 158.2	148.32

Esto corroboraría la hipótesis que los complejos están formados por una estructura donde intervienen distintos componentes con distintos tipos de uniones entre los mismos, lo que permite concluir que los bioproductos sintetizados en este trabajo son nuevos complejos constituidos por nuevos enlaces entre urea, dextrano y hierro, formados durante el proceso de síntesis química de los mismos (Lizárraga *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

Se realizó por primera vez en la Cátedra Garantía de Calidad de Drogas y Medicamentos de la Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia UNT la síntesis de dos nuevos complejos formados por el biopolímero dextrano de peso molecular 5000 Dalton, urea agrícola y/o hierro.

Se obtuvieron con una buena producción de síntesis acorde al equipamiento del laboratorio. Son poco solubles en agua, etanol y ácido acético.

Presentaron forma de polvo granular de color marrón oscuro para el complejo con hierro y marrón-beige para el complejo sin hierro, de consistencia mucilaginosa al tacto, sin olor característico. Los mismos son estables durante 6 meses en un rango de 25°C – 35°C de temperatura, manteniendo sus características físicas y químicas originales.

El complejo dextrano-urea presentó una Temperatura de Fusión de 160.80°C mientras que para el complejo con hierro fue de 150.2°C.

La composición química mostró que el contenido del biopolímero (dextrano) fue igual para ambos complejos siendo su valor comprendido entre 16 – 18%, mientras que el contenido de nitrógeno y urea fue de 22 – 23% y 45 – 47% para el complejo sin hierro. Para el complejo con hierro fue de 20 – 21% para el nitrógeno; de 43 – 45% para urea y 1,2 – 1,5% de hierro.
Los biocomplejos sintetizados en este trabajo, por sus características físicas y químicas prometen ser grandes candidatos para su uso en la agricultura como fertilizantes.

BIBLIOGRAFIA

Ashraf M., Shadma P., Tansir A., Saad M.A., Prabal K.S. & Nahid N. (2010). Coordination Polymer: Synthesis, Spectral Characterization and Thermal Behaviour of Starch-Urea Based Biodegradable Polymer and Its Polymer Metal Complexes. Bioinorganic Chemistry and Applications. Article ID 848130. Pp: 1 – 8.

Bell A. (1992). Manual de técnicas analíticas para la producción de hierro dextrano. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Anon (1967). Fisons Pharmaceutical Ltd, Analytical techniques for Quality Control of Aimposil "2000".

Castillo G., Gregorí B.S., Michelena G., Díaz de Villegas M.E., Delgado G., Montano R., Cejas G. & Gálvez L.O. (2007). Bioproductos para la agricultura: surgimiento y desarrollo en el ICIDCA. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar ISSN 1025-3076. Vol. 41. N° 3, pp: 42-51.

Cerutti de Guglielmone G., Michelena G., Amoroso M.J. & Cárdenas G. (2004). Inhibición del Crecimiento de *Leuconostoc Mesenteroides* por la Acción de Metabolitos Microbianos. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán, Vol. 80, pp: ISSN 0370-5405.

Cuervo Mulet R.A., Ledesma J.A., Duran Venegas J.A. & Argote Vega F.E. (2010). Aislamiento y control microbiológico de *Leuconostoc. Mesenteroides,* en un ingenio para optimizar el rendimiento de azúcar y etanol. Facultad de Ciencias Agrarias, Vol. 8. N°2, pp: 31-40.

De Belder A.N. Dextran. Handbooks from Amersham Biosciences. 18-1166-12.

Díaz A., Michelena G., Bell A., Carrera E. & Hernández Y. (2005). Diseño de experimentos para obtención de un fertilizante químico, a partir de un complejo de ferridextrana, utilizando un secador de tambor. Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) la Habana, Cuba.

Dimc G.R. (2006). Characteristics of *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* strain from fresh vegetables. APTEFF 37, pp: 1-192.

Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. & Smith F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analyt Chem N°28, pp: 350.

Echeverría Valenzuela E. (2006). Producción de dextrán, a nivel laboratorio, como derivado de la sacarosa, usando jugo de caña. Facultad de Ingeniería Química. Universidad San Carlos de Guatemala.

Eckelt J. & Sugaya Wolf B.A. (2006). Carbohydr. Polym. 63, pp: 205.

Egglestona G. & Mongeb A. (2005). Optimization of sugarcane factory application of commercial dextranases. Process Biochemistry N°40. Pp: 1881–1894.

Eurofins Biolab. S.L.U. Estudios de Estabilidad.

Farmacopea Argentina. (2003). Vol. 1, 7ma Edición.

Fontana P. D. (2010). Estrías Roja en Caña de Azúcar. Caracterización y análisis molecular del agente etiológico. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Gálvez, L. (2000). La producción diversificada de la agroindustria de la caña de azúcar. En: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar 3ra. Ed. pp: 3 - 17.

García Chávez R. & Mendoza Martínez A.M. (2010). Estudio de las propiedades morfológicas y reológicas de una red híbrida de polímeros sintetizadas a partir de tres biopolimeros: gelatina/quitosan/dextrano. Rev. Iberoam. Polím., 11(2). Pp: 88 – 109.

García F. & Darwich N. (2009). La Fertilización: Tecnología para sostener la productividad de nuestros suelos. Cap 9, pp: 419 – 421.

Michelena G., Bel A., Cerutti G., Carrera E., Coronel M. & Rivas Monte G. (2007). Estudio de la adición de estabilizantes y vitamina B12 al complejo inyectable de hierro dextrana. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar ISSN 1025-3076. Vol. 40. N°1. Pp: 32-38.
Michelena G., Martínez A., Cerutti G., Bell A., Carrera E. & Legrá S. (2003). Inhibición por métodos biológico de cepas de Leuconostoc mesenteroides aisladas de la industria azucarera. X Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería 8 a 12 de Septiembre, Puerto Vallarta, Jalisco.
Molecular Probes. (2006). Dextran conjugates. Invitrogen detection Technologies. Product information.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA EN INTERNET

Agrobyte. Consultado 09/09/2012. Disponible en:
http://www.agrobyte.com.br/cana.htm
Centro Azucarero Argentino. Consultado 02/11/2012. Disponible en:
http://www.centroazucarero.com.ar/zafra2011.html.

AGRADECIMIENTOS

La investigación fue solventada por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT), Argentina y el Convenio Bilateral Argentina – Cuba SETCIT-CITMA.

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO CELULAR Y LA PRODUCCIÓN DE PHB DEL *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE AGITACIÓN Y AERACIÓN

STUDY OF THE CELLULAR GROWING AND PHB PRODUCTION OF *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* UNDER DIFFERENT AERATION AND AGITATION CONDITIONS

Autores: Dayamí Borges, Juvencio Serrano

Planta Bioprocesos CUBA-10 (ICIDCA). Pablo Noriega, Quivicán. Mayabeque

E-mail:**invesc10@enet.cu**

RESUMEN

El NITROFIX, biofertilizante cuyo principio activo lo constituyen bacterias de *Azospirillumbrasilense*, ha tenido como fundamental desventaja la baja estabilidad del producto líquido.Se conoce que la acumulación de Poli-hidroxibutiratos (PHB) en el citoplasma de algunos microorganismos incrementa considerablemente las posibilidades de supervivencia en presencia de factores adversos. El presente trabajo se realiza con el objetivo de establecer parámetros para el proceso fermentativo, fundamentalmente aeración y agitación, que garanticen un incremento en la producción de PHB conjuntamente con una elevada titulación. Para ello se trabajó con un diseño factorial multinivel, el cual consistió de 6 variantes experimentales. Se probaron dos niveles de agitación y tres de aeración evaluándose como variables de respuesta la concentración celular y la concentración de PHB. La variante en la que se empleó una agitación de 700 rpm y una aeración de 0,25 vvm fue la de mayor crecimiento celular al alcanzarse una viabilidad de $5{,}5.10^{10}$ $UFC.ml^{-1}$ a las 18 horas del proceso, mientras que en la que se empleó una agitación de 500 r.p.m. y una aeración de 0,5 v.v.m. resultó ser la de mayor producción de PHB a las 24 horas, obteniéndose un 35,62%. La variante de mejor respuesta fue aquella en la que se empleó una agitación de 500 r.p.m. y una aeración de 0,25v.v.m.

Palabras clave: *Azospirillum*, NITROFIX, poli-hidroxibutiratos, aeración, agitación.

ABSTRACT

NITROFIX is a biofertilizer constituted by *Azospirillumbrasilense*. The principal disadvantage of the liquid product is the low stability. It is well known that the accumulation of Poli-hidroxibutiratos (PHB) in the cytoplasm of some microorganisms increases their surviving possibilities in presence of adverse factors. The objective of present work is to establish parameters in the fermentative process, basically aeration and agitation, in order to increase PHB production and cellular growing. A multilevel factorial experimental design was used with 6 variants. Two levels of agitation and three levels of aeration were proved and the response variables were the cellular concentration and the PHB production. The best results taking into account cellular growing was obtained using an agitation of 700 rpm and an aeration of 0.25 vvm where a viability of $5{,}5.10^{10}$ $CFU.ml^{-1}$ was achieved at the eighteenth hour; while the production of PHB was bigger (35%) using an agitation of 500 rpm and an aeration of 0.5 vvm at the twenty-fourth hour of the process. The best response was the one obtained using an agitation of 500 rpm and an aeration of 0.25 vvm.

Key words: *Azospirillum*, NITROFIX, poli-hidroxibutirates, aeration, agitation.

INTRODUCCIÓN

El biofertilizante NITROFIX es un producto desarrollado en la PlantaBioprocesos Cuba-10, ICIDCA, cuya base lo constituyen bacterias del género *Azospirillum*en conconcentraciones entre10^{9} y 10^{10}UFC.ml^{-1}.La producción del mismo, así como la optimización de los parámetros fermentativos ha sido prioridad en nuestro centro.Las pruebas demostrativas que se realizaron en caña de azúcar arrojaron resultados verdaderamente alentadores al sustituirse hasta un 60% de la urea utilizada. También se ha demostrado su eficiencia para la aplicación en otros cultivos como maíz, boniato, calabaza, arroz, lechuga y tomate, Guevara (2013).

Una de las desventajas fundamentales que presenta este biofertilizante es la baja estabilidad del producto líquido, la cual está estimada en 15 días a temperatura ambiente y 30 días en refrigeración. Estos tiempos son realmente bajos y han obligado a los investigadores a la búsqueda de alternativas para su incremento. Una de ellas ha sido el establecimiento de condiciones de fermentación que garanticen el incremento en los niveles de Polihidroxialcanoatos producidos por el microorganismo.

Los Poli-hidroxialcanoatos son poliésteres ópticamente activos de naturaleza lipídica que se acumulan en el citoplasma de algunos microorganismos cuando estos son sometidos a ciertas condiciones según estudios realizados por Steinbuchel y otros (1995) y Bergersen y Turner (1992). En el caso del *Azospirillum brasilense*, este produce el homopolímeroPolihidroxibutirato (PHB), siendo capaz de producir hasta un 70 % de su peso seco celular, Bello (2008).

La acumulación de polihidroxibutirato incrementa considerablemente las posibilidades de supervivencia de la bacteria en presencia de factores adversos, como radiación ultravioleta, desecación, estrés osmótico e inanición, favoreciendo además el establecimiento del microorganismo en ambientes competitivos, Okon e Itzigsohn (1992).

Condiciones de desbalance de nutrientes en el caldo o medio usado para cultivar a la bacteria favorecen una alta producción. Para producir PHB son especialmente favorables condiciones de cultivo en las que hay una concentración alta de fuente de carbono (que la bacteria utilizará como materia prima para sintetizar el PHB), por ejemplo fructosa, pero además existe una limitación para el crecimiento, como niveles de oxígeno bajos o escasez de otros nutrientes. Según Martínez y otros (2004), la producción de PHB en el género *Azospirillum* está asociada a factores de estrés como pueden ser variaciones en la agitación y aeración, a solas o en combinación.

En el presente trabajo se exponen las experiencias realizadas en nuestro centro con el objetivo de analizar el comportamiento del crecimiento celular y la producción de PHB durante el proceso fermentativo del *Azospirillum brasilense* bajo diferentes condiciones de aeración y agitación, enfocados particularmente en el logro de altas titulaciones, a la vez que se garantice un incremento en los niveles de PHB producidos por el microorganismo con el objetivo de que se traduzca en un aumento de su estabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de inóculos en el laboratorio

Se partió de la cepa de *Azospirillumbrasilense* 8I, la cual fue mantenida en cuñas de BMS agar mediante siembras periódicas y almacenadas a 4 ^{0}C.

Para el desarrollo de los inóculos se utilizaron erlenmeyers de 500 ml con 100 ml de volumen efectivo.Los mismos se colocaron en zaranda giratoria a 150rpm y 35°C por un tiempo de 24 horas para los preinóculos y 16 horas para los inóculos.

Medio de propagación de *Azospirillum* en Zaranda

Licor de Fructosa 70%---------- 12 $g.L^{-1}$ de ART
$(NH_4)_2HPO_4$ ---------- 2 $g.L^{-1}$
$MgSO_4$ ---------- 0,2 $g.L^{-1}$
Na_2HPO_4 ---------- 6 $g.L^{-1}$
KCl ---------- 0,1 $g.L^{-1}$
$CaCl_2$ ---------- 0,02 $g.L^{-1}$
$FeCl_2$ ---------- 0,015 $g.L^{-1}$
Molibdato de Amonio ---------- 0,002 $g.L^{-1}$
Extracto de Levadura ---------- 0,1 $g.L^{-1}$

El pH del medio se ajustó a 7.0 utilizando KOH al 18 %.

Estudios a escala de Fermentador 13 L

Se empleó un equipo INFORS HT con impelente de turbina de 9 cm de diámetro con control automático de temperatura, agitación y aeración, equipado con vaso de 13 L de capacidad nominal con un volumen de 9 L de medio de cultivo. Las tomas de muestra se realizaron por puerto estéril a recipiente estéril de 50mL de capacidad. La espuma se controló por la aplicación de antiespumante.

Medio de cultivo empleado para la producción

Fructosa ---------- 12 $gl.L^{-1}$
$(NH_4)_2HPO_4$ ---------- 3,8 $g.L^{-1}$
$MgSO_4$ ---------- 0,2 $g.L^{-1}$
KCl ---------- 0,1 $g.L^{-1}$
Levadura hidrolizada ---------- 1 $g.L^{-1}$ (Nitrógeno total)

El medio fue esterilizado durante 1 hora a 121 ºC y el pH del medio fue ajustado a 7.0 ± 0.1 después de la esterilización utilizando NaOH 20 %.

Las condiciones de operación fueron: Temperatura (36 ± 1 ^{0}C), densidad de inoculo de 10 %y el pH de la fermentación se dejo libre durante el proceso.

Los parámetros de agitación y aeración y su posible efecto sobre los niveles de concentración celular y producción de PHB se evaluaron en este estudio.

Se trabajó con un diseño factorial multinivel, el cual consistió de 6 variantes experimentales con una réplica cada una, para un total de 12 corridas. Se probaron dos niveles de agitación y tres de aeración, con el objetivo de analizar el comportamiento del crecimiento del *Azospirillum* y la producción de PHB (Tablas I y II)

Tabla I. Diseño factorial multinivel para el análisis de la influencia de la agitación y la aeración sobre el crecimiento celular y la producción de PHB.

Factor	Nivel Alto	Nivel Bajo	Centro
Agitación (r.p.m.)	700	500	-
Aeración (v.v.m.)	0,5	0,15	0,25

TablaII. Variantes experimentales empleadas en el estudio en fermentador de 13 L utilizando un diseño factorial multinivel

Variante	Agitación	Aeración
1	1	0
2	1	-1
3	1	1
4	-1	0
5	-1	-1
6	-1	1

Estudio del comportamiento del crecimiento celular

Para cada variante se realizó un estudio del crecimiento del microorganismo, realizando tomas de muestras a las horas 4, 8, 12, 14, 16, 18 y 24. En cada hora se realizó conteo celular en cámara y tinción de Gram para controlar el avance de la fermentación y la posible contaminación. En las horas 12, 18 y 24 de cada variante se realizó viabilidad mediante siembra en placas con medio Agar Rojo Congo, las cuales fueron incubadas por 72 h a 35 °C.

Obtención de Materia seca celular (MSC)

Se tomaron muestras de los diferentes experimentos a las horas 12, 18 y 24 del proceso. 5 mL de cada una fueron centrifugados (15 000 rpm, 30 min, 4 °C) en centrífuga Sigma 3-18.Las células se lavaron con agua desionizada estéril y se centrifugaron bajo las mismas condiciones. El precipitado se secó hasta peso constante a 60 ºC durante 24 h.

Cuantificación de la producción de Poli-β-hidroxibutirato

Se han propuesto varios métodos para la cuantificación de PHB, uno de ellos propuesto por Slepecky y Law (1960). En este procedimiento las células son digeridas por completo con ácido sulfúrico concentrado o por

tratamiento alcalino, en caliente, promoviendo así la ruptura de los polímeros a monómeros y la posterior oxidación de estos hasta ácido crotónico que presenta un máximo de absorción cercano a los 210 nm. El método es bastante sencillo, pero se plantea que pudiera sobreestimarse la cantidad de polímero presente en la célula ya que no solo las unidades monoméricas del polímero pueden convertirse en ácido crotónico después del tratamiento con ácidos, sino que otras moléculas son también convertidas a compuestos que absorben a esas longitudes de onda. Teniendo en cuenta que el medio utilizado para la fermentación utiliza levadura hidrolizada, se determinó el contenido de PHB del mismo , el cual se restó a los obtenidos en cada hora con el objetivo de anular el aporte que pudieran hacer a la lectura los componentes celulares de este.
A la materia seca celular resultante de 5 ml de caldo de cultivo se le adicionó 2.5 mL de NaOH 2N. Se incubó la mezcla a 100 °C durante 30 min y se agitó cada 10 min. Las muestras se enfriaron en hielo, se neutralizaron con 2.5 mL de HCl 2N y se centrifugaron a 15000 rpm, 30 min, 4 ºC en centrífuga Sigma 3-18. Se recuperó el sobrenadante celular. La formación de ácido crotónico, producto del tratamiento alcalino de las muestras, se detectó por incremento en la absorbancia a una longitud de onda de 210 nm en Espectrofotómetro. La curva de calibración se realizó con patrón puro de PHB de Aldrich®.

El % de PHB se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$Y\ (P/X) = \frac{C\ PHB\ (g.L^{-1})\ .\ 100}{MSC\ (g.L^{-1})}$$

Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante ANOVA con el empleodel test LSD de Fisher para determinar la diferencia entre medias, utilizando el programa STATGRAPHICS Centurion XV.Mediante optimización de múltiples respuestas se determinó la mejor variante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio del comportamiento del crecimiento celular

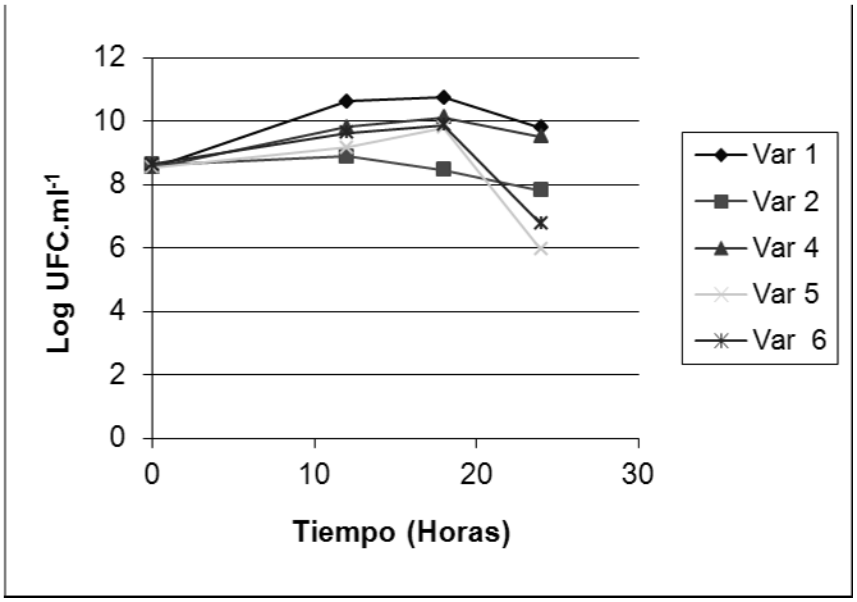
En la tabla III se reportan los resultados de las viabilidades obtenidas en las diferentes variantes a las horas 12, 18 y 24 del proceso de fermentación, el comportamiento gráfico de los logaritmos de las viabilidades se aprecian en la figura 1.

Tabla III. Comportamiento del crecimiento celular para las diferentes horas del proceso de fermentación.

Variante	Viabilidad (UFC.mL^{-1})		
	H - 12	H - 18	H - 24
1	$1{,}25.10^{10}$	$5{,}5.10^{10}$	$9{,}9.10^{9}$
2	$7{,}7.10^{8}$	$2{,}9.10^{8}$	$6{,}65.10^{7}$
3*	0	0	0
4	$6{,}4.10^{9}$	$1{,}3.10^{10}$	$3{,}2.10^{9}$
5	$1{,}5.10^{9}$	$6{,}1.10^{9}$	$9{,}0.10^{5}$
6	$4{,}2.10^{9}$	$7{,}4.10^{9}$	$5{,}7.10^{6}$

* Esta variante en la que se combinaron los niveles superiores de ambos factores provocó niveles de espuma muy elevados no controlables con el antiespumante empleado en el proceso.

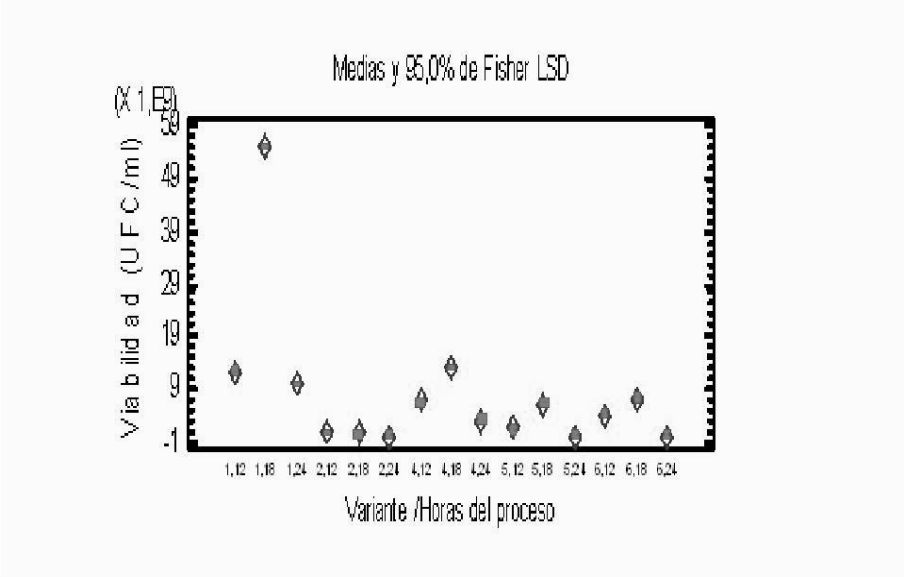
Figura1. Comportamiento de la viabilidad en el tiempo para las variantes experimentales



Cómo se puede apreciar en la mayoría de las variantes se alcanza un máximo de crecimiento a la hora 18, lográndose valores por encima de 10^{10} UFC. mL^{-1} y los mismos disminuyen hacia la hora 24, lo que indica que a partir de esta hora comienza el proceso de muerte celular.

Un análisis estadístico de los resultados mediante ANOVA arrojó un valor de P de la prueba-F de 0,0000; puesto que el mismo es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 15 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Se realizó la Prueba de Múltiples Rangos mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras (Figura 2)

Figura 2. Prueba de múltiples rangos (LSD) de Fisher para los valores medios de viabilidad obtenidos en las diferentes variantes para las horas 12, 18 y 24 de los procesos fermentativos .



Este análisis evidenció diferencias significativas entre la mayoría de los pares de medias de las variables estudiadas. Observándose gráficamente la mayor diferencia para las horas 12 y 18 de la variante 1, y la hora 18 de la variante 4. Se realizó además la identificación de valores atípicos para cada hora del proceso mediante las pruebas de Grubbs' y Dixon, las cuales mostraron la existencia de valores extremos superiores en la variante 1 para las tres horas analizadas. Por lo que teniendo en cuenta como variable de respuesta el crecimiento celular, la variante 1 en la que se empleó una agitaciónde 700 r.p.m. y una aeración de 0,25 v.v.m. resultó ser la más adecuada.

Cuantificación de la producción de PHB

La curva de calibración para el PHB arrojó la siguiente ecuación:

C PHB ($g.L^{-1}$) = 43.912 A + 0.076

En la tabla IV se muestran los resultados de la cuantificación de PHB en las horas 12, 18 y 24 de las variantes probadas.

Tabla IV. Resultados obtenidos en la producción de PHB con los valores de agitación y aireación empleados en las diferentes variantes del experimento factorial

Variante	Hora 12		Hora 18		Hora 24	
	PHB($g.L^{-1}$)	**$Y_{P/X}$ (%)**	**PHB($g.L^{-1}$)**	**$Y_{P/X}$ (%)**	**PHB($g.L^{-1}$)**	**$Y_{P/X}$ (%)**
1	0,25	14,5	0,31	14,1	0,41	14,2
2	0,477	20,5	0,72	25,7	1,01	17,5
4	0,61	17,6	0,62	23,4	0,6	17,6
5	0,81	24,54	0,84	18,79	1,06	26,23
6	0,15	18,52	0,58	29,6	1,5	35,62

Como podemos apreciar, en cuanto a la cantidad de PHB producido existe un comportamiento regular para todas las variantes, siendo la hora 24 del proceso a la que se evidencia una mayor producción, lo cual concuerda con la literatura. Según Martínez (2004), la mayoría de las especies bacterianas producen muy poco PHB durante la fase exponencial de crecimiento, reportándose la mayor producción una vez que ya ha comenzado la fase de declinación del cultivo, lo cual, según nuestros estudios, ocurre entre las 18 y 24 horas del proceso fermentativo.

En las figuras 3 y 4 podemos observar gráficamente el comportamiento en la producción de PHB. **L**os valores superiores de producción y rendimiento de PHB se observan a la hora 24 de fermentación de la variante 6 (500 r.p.m., 0,5 v.v.m.) alcanzándose un valor de 1,5 $g.L^{-1}$ para un 35,62 % de rendimiento con

respecto a la biomasa. Sin embargo, los resultados obtenidos en el estudio de crecimiento celular arrojaron valores de viabilidad a esta hora de $5{,}7.10^{6}$ UFC.mL^{-1}, la que resulta muy baja para nuestros propósitos.

Figura 3. Resultados obtenidos en la producción de PHB con los valores de agitación y aireación empleados en las diferentes variantes del experimento factorial

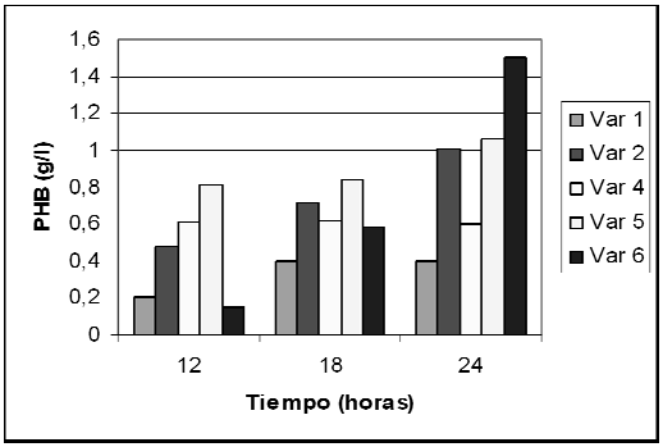
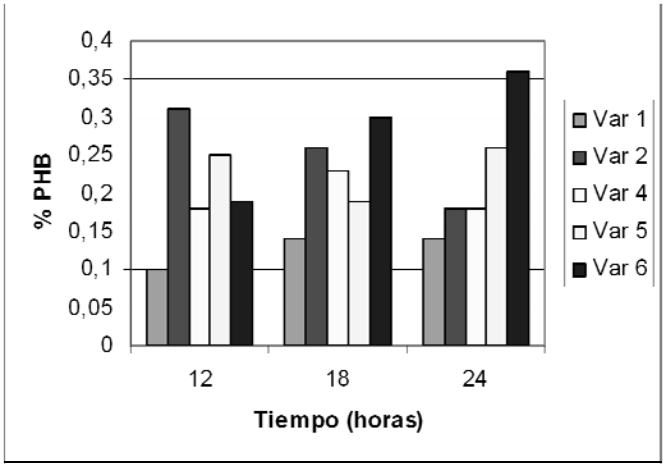


Figura 4. Resultados de los rendimientos PHB/Biomasa a las horas 12, 18 y 24 de las diferentes variantes de fermentación.



Un análisis estadístico de los resultados mediante ANOVA arrojó un valor de P de la prueba-F de 0,0000; puesto que el mismo es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 15 variables con un nivel del 95,0 % de confianza. Se realizó la prueba de Múltiples rangos mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras (Figura 5)

Figura 5. Prueba de múltiples rangos (LSD) de Fisher para los valores medios de PHB obtenidos en las diferentes variantes para las horas 12, 18 y 24 de los procesos fermentativos .

Este análisis evidenció diferencias significativas entre la mayoría de los pares de medias de las variables estudiadas. Como podemos apreciar gráficamente, los valores con diferencia más marcada se encuentran a las horas 18 y 24 de la variante 6. Se realizó además la identificación de valores atípicos para cada hora del proceso mediante las pruebas de Grubbs' y Dixon, las cuales mostraron la existencia de valores extremos superiores en la variante 6 a la hora 24 del proceso.

Optimización de múltiples respuestas

Con el objetivo determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimiza el crecimiento celular y la concentración de PHB se realizó la optimización de múltiples respuestas a las horas 18 y 24 del proceso. Para ello se estableció como metas la maximización de la viabilidad y el rendimiento de PHB a estas horas.La salida muestra la función de "deseabiliad" evaluada en cada punto del diseño. Entre los puntos de diseño, la 'deseabilidad' máxima se alcanza en la corrida 4 para ambas horas como se muestra en las tablas V y VI y en las figuras 6 y 7.

Tabla V. Función de deseabilidad evaluada en cada punto del diseño para las hora 18 del proceso de fermentación.

Fila	**Log Viab H 18**	**PHB H18**	**Deseabilidad Prevista**	**Deseabilidad Observada**
1	10,7404	14,2	0,6356	0,699754
2	8,46	25,7	0,92352	0,86587
3	0,0	0,0	0,0347405	0,0
4	10,1	26,4	**0,966211**	**0,95412**
5	9,78533	24,54	0,854351	0,909968
6	9,86923	29,6	0,939661	0,99344

Figura 6. Superficie de respuesta estimada para la hora 18 del proceso

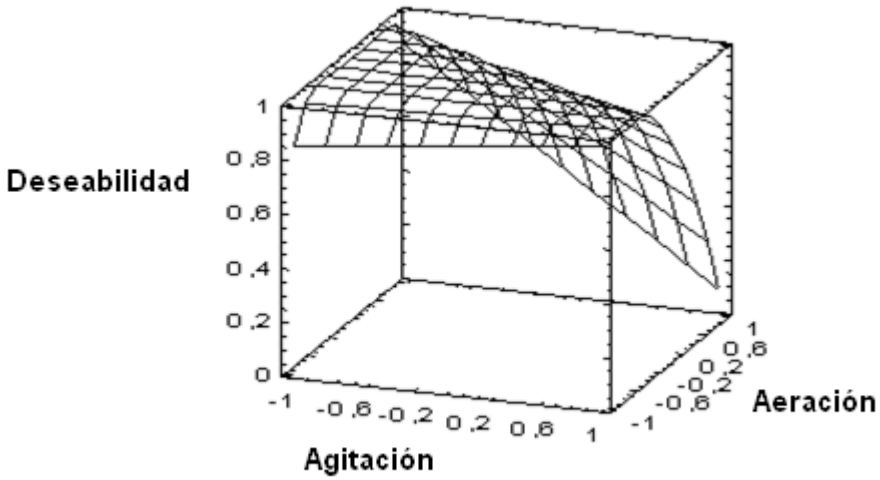
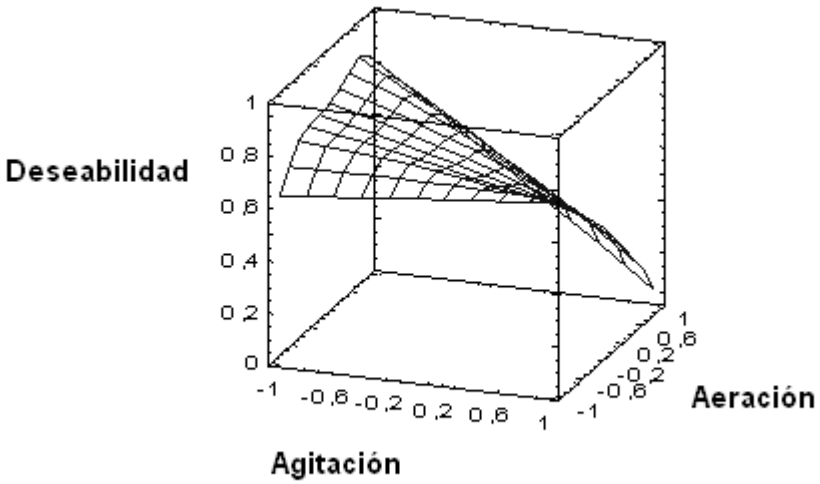


Tabla VI. Función de deseabilidad evaluada en cada punto del diseño para la hora 24 del proceso de fermentación.

Fila	**Log Viab H24**	**PHB H24**	**Deseabilidad Prevista**	**Deseabilidad Observada**
1	9,78533	14,2	0,473077	0,636957
2	7,82	17,5	0,73612	0,659124
3	0,0	0,0	0,0671716	0,0
4	9,50515	17,6	**0,825631**	0,709124
5	5,95424	26,23	0,635099	0,704137
6	6,75587	35,62	0,806219	0,866402

Figura 7. Superficie de respuesta estimada para la hora 24 del proceso



Como se puede apreciar, la variante 4, en la que se empleó una agitación de 500 r.p.m. y una aeración de 0,15 v.v.m., a la hora 18 del proceso, es con la que se logra una respuesta óptima de acuerdo a nuestros objetivos alcanzándose una deseabilidad de 0,966211.

Aunque los rendimientos alcanzados son relativamente bajos para el *Azospirillum*, el cual es capaz de acumular hasta un 70 % de su peso seco celular, los mismos están al nivel de los reportados por la literatura, por ejemplo Page y Cornish (1993), con *Azotobacter vinelandii* obtienen Yp/s = 0,33 y Ryu (1997) empleando *Alcaligene seutrophus* alcanza un Yp/s de 0,38. Estos resultados en algunos casos se han alcanzado empleando cultivos por lotes incrementados (fedbatch).

Sin embargo, es evidente que con vistas a lograr mayores concentraciones de PHB, que se traduzcan en un aumento de la estabilidad del producto en el tiempo, se hace necesario establecer otras estrategias de producción. La estrategia más actual es la de realizar cultivos fed-batch como forma de alcanzar altas densidades celulares en una primera etapa, evitando así además la posible inhibición por el sustrato. En una segunda etapa se reducen los niveles de suministro de oxígeno para alcanzar la acumulación del producto según reporte de estudios realizados por Ryu y otros (1997); Chen y Page (1997); Yamane y otros (1996); Xin y otros (1995); Kawaguchi y Doi (1992).

CONCLUSIONES

1. El proceso de fermentación de *Azospirillum*en fermentador de 13 L, alcanza sus valores máximos de crecimiento celular a las 18 horas.
2. La variante 1 de fermentación en la que se empleó una agitación de 700 rpm y una aeración de 0,25 vvm resultó ser la de mejor comportamiento en cuanto al crecimiento celular al alcanzarse una viabilidad de $5{,}5.10^{10}$ UFC.mL^{-1}a las 18 horas del proceso.
3. La variante 6 de fermentación en la que se empleó una agitación de 500 r.p.m. y una aeración de 0,5 v.v.m. resultó ser la de mayor producción de PHB a las 24 horas, obteniéndose un 35,62 %, aunque la viabilidad a esta hora fue baja.

4. La variante 4 de fermentación, en la que se empleó una agitación de 500 r.p.m. y una aeración de 0,25 v.v.m, en la hora 18 del proceso, resultó ser la de mejor respuesta obteniéndose un rendimiento de PHB de 23,4 % y una viabilidad de $1{,}3.10^{10}$ $UFC.mL^{-1}$.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bello, D. (2008). Tesis de Maestría.
- Bergersen, F. y Turner, G. (1992). *Proc. R. Soc. London.* 249, 143-148.
- Chen, G. y Page, W. (1997). *Biotechnol Tech* 11,347-350
- Guevara, Y. (2013). *Revista ICIDCA.* 47.
- Kawaguchi, Y. y Doi, Y. (1992). *Macromolecules*. 225,2324- 2329
- Martínez, J. y otros (2004). Revista Biológica . 18 , 87-95.
- Okon, Y. e Itzigsohn, R. (1992). *FEMS Microbiol.Rev*. 103, 131-140.
- Page, W.J. y Cornish, A. (1993).*Appl. Environ. Microbiol*. 59, 4236-4244
- Ryu, H.W. y otros (1997). *Biotech.Bioeng*. 55, 28-32
- Slepecky, R.A. y Law, J.H. (1960) *Anal. Chem*. 32, 1697-1699.
- Steinbüchel, A. y otros (1995).*Can. J. Microbiol*. 41, 94-105.
- Xin, W. y otros (1995). *Acta Microbiol.* 35,115-120.
- Yamane, T; Fukunaga, M. and Lee, Y. (1996) *Biotechnol.Bioeng*.50, 197-202.

Eficiencia industrial y calidad

ANÁLISIS COSTO-VOLUMEN-UTILIDAD DEL SERVICIO DE TÉCNICAS ANALÍTICAS EN UN LABORATORIO DE ENSAYOS Y CALIBRACIÓN DE ALIMENTOS.

COST-SALES-PROFITS ANALYSIS OF ANALYTICAL TECHNICS SERVICE AT TEST AND CALIBRATION LABORATORY.

AUTORES: Martha Salermo Martínez[1], Jesús Mesa Oramas[1] y Carlos Peña Velázquez[1].

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Cuba.
martha.salermo@icidca.edu.cu

Resumen

Entre los aspectos relevantes para el análisis del desempeño organizacional se encuentran el costo y, específicamente la determinación del punto de equilibrio, que determina el nivel de ventas que garantiza no tener pérdidas.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la dirección del Laboratorio de Ensayos y Calibraciones de los Alimentos (LEYCAL) del ICIDCA, decidió realizar un análisis de la relación costo-volumen (de ventas)-utilidad para calcular el Punto de Equilibrio de sus servicios a partir de escenarios basados en sus registros históricos, cuyos resultados se presentan y analizan en el presente trabajo.

Palabras claves: costos, utilidades, punto de equilibrio, volumen de ventas.

Abstract

One of the more important things in company analysis behaviour is costs and, specifically balance point (cero profits), which determine the necessary sales in order to don't have financial lost.

Taking into account those related above, the direction of the Test and Calibration Laboratory (LEYCAL) decided to realize a cost – sales – profits analysis, using scenarios based in his historical sales, which results are presented and analyzed in this paper.

Key words: costs, profits, breakeven point, sales volume.

Introducción

En el análisis económico de cualquier entidad productora de bienes y/o servicios se conoce como **Punto de Equilibrio** (PE) aquel nivel de prestaciones que se alcanza para lograr cubrir los costos con los ingresos obtenidos. En otras palabras, cuando los ingresos totales son iguales a la sumatoria de los costos. Por tanto, una entidad debe tener un nivel de ventas superior al PE para obtener utilidades y con ello garantizar las inversiones y modificaciones que le permitan mantenerse de manera competitiva en el mercado.

Desde el punto de vista teórico, el análisis del PE considera la relación que existe entre costos fijos, costos variables, volumen de ventas y utilidades operacionales. Una vez calculado y comprobado a través del Estado de Resultados, su análisis permite estimar cuánto se necesita vender para alcanzarlo, cuánto se requiere vender para lograr una determinada utilidad, cuál sería la utilidad si se comercializara una determinada cantidad de productos o servicios, etc.

Por otra parte debe señalarse que para el cálculo del Punto de Equilibrio es necesario tener en cuenta sus intervalos de aplicación, sus limitaciones y sus fundamentos teóricos derivados del análisis de la relación costo-volumen-utilidad.

En correspondencia con lo antes expresado, el marco de aplicación en este trabajo para las consideraciones señaladas se encuentra asociado a la prestación del servicio de técnicas analíticas en el Laboratorio de Ensayos y Calibraciones de los Alimentos (LEYCAL) del ICIDCA, donde se realizan dichas técnicas para la determinación de parámetros de calidad en azúcares crudos, mieles y azúcares blancos producidos en los centrales azucareros y refinerías cubanos.

Una vez establecido el objeto de estudio, es factible identificar la oferta de múltiples servicios (26 técnicas analíticas diferentes) en los cuales se presenta una amplia variación en los costos. Por otra parte, en el LEYCAL no es infrecuente la situación de amplia variación en las ventas (picos y valles en la demanda) por lo que la única alternativa adecuada es efectuar el análisis como mezcla de servicios, de acuerdo con García, J. (1999).

Materiales y métodos

La base documental utilizada para el análisis costo-volumen-utilidad (c-v-u) está dada por las fichas de costo actualizadas de las técnicas analíticas que se realizan en el LEYCAL (Tabla I) en cumplimiento de las solicitudes de los centrales azucareros y las refinerías. Estas fichas de costo tienen incorporados los costos de calidad según Metodología elaborada por Martínez, I.; Mesa, J.; Salermo, M. (2012).

Tabla I
Técnicas analíticas realizadas en el LEYCAL.

TÉCNICAS ANALÍTICAS			
AZÚCAR CRUDO		**MIEL FINAL**	**AZÚCARES BLANCOS**
1	Almidón	Azúcares fermentables	Cenizas
2	Azúcares reductores	Cenizas	Color fotocolorimétrico
3	Cenizas	Lodos y cristales	Dióxido de azufre
4	Color HORNE	pH	Flóculos ácidos
5	Color ICUMSA	Polarización	Humedad
6	Dextrana	Azúcares reductores	Polarización
7	Humedad	Sólidos disueltos	Azúcares reductores
8	Insolubles		
9	Part. ferromagnéticas		
10	Polarización		
11	Polisacáridos		
12	Tamaño de grano		

En relación con el Método para el análisis c-v-u es necesario significar en primer lugar los supuestos que lo sustentan:

- Entre los costos y los ingresos existe una dependencia lineal y ambos se componen sobre una misma base.
- Todos los costos se pueden clasificar en fijos y variables y están definidos claramente.
- Los cambios en el volumen de ventas no afectan el precio unitario.
- Los precios de venta, al igual que el precio de los factores que influyen en los costos, permanecen constantes en el intervalo determinado.
- Para el análisis se establece que una composición de ventas se mantiene constante aunque cambie el volumen total de ventas.
- El volumen de la producción (en este caso, la cantidad de técnicas analíticas realizadas) es igual al volumen de ventas.
- La eficiencia y la productividad permanecen constantes.

Por otra parte, para el caso de la mezcla de servicios que se corresponde con el caso de estudio, el PE se calcula por el Método de Contribución Marginal Promedio, ya que el resto de los métodos tradicionales presentan problemas que pueden enmascarar la solución correcta, como se aprecia en los casos siguientes según Mesa, J. (2004):

1. Empleando un **sistema de ecuaciones** no es posible obtener una solución única.
2. Mediante el **prorrateo de los costos fijos** no se puede tener la seguridad de que todos estos costos puedan atribuirse directamente a los servicios considerados en el análisis.
3. Con el **método gráfico** puede haber interpretaciones erróneas debido a las múltiples tendencias presentes.

En relación con lo antes expresado es necesario establecer que por **Contribución Marginal** se entiende la diferencia entre el precio de venta menos los costos variables, que debe alcanzar para cubrir los costos fijos. Debe significarse que los **costos variables** son aquellos que dependen directamente de la cantidad de insumos requeridos, como son las materias primas, los materiales, y la energía consumida, en tanto los **costos fijos** se corresponden con los que no dependen de la cantidad de servicios realizados, y se fijan por la entidad productora de bienes y/o servicios para determinado período de tiempo y dentro de un intervalo de producción dado, es decir, se mantienen durante un período de tiempo fijado aunque no haya actividad alguna de producción y como ejemplos de estos pueden citarse el alquiler de instalaciones y los salarios de dirigentes y funcionarios de la empresa o institución. Por tanto, durante el período de tiempo en que un costo es fijo, debe pagarse independientemente de lo que suceda.

En relación con el Método de Contribución Marginal Promedio debe señalarse que permite presentar los resultados en términos de ingresos y de unidades vendidas, que en el caso de la variante en términos de ingresos es necesario utilizar los datos siguientes:

- Costo fijo total (Cft).
- Costos variables unitario y total (Cvi y Cvt).
- Precios de venta de cada servicio (Pi).
- Cantidad de unidades a vender de cada servicio y total (Qi y Qt).
- Monto de los ingresos a obtener de la venta de cada servicio y total (Ii e I).
- Proporción del ingreso por cada servicio en el importe total (Ii/I).
- Contribución Marginal de cada servicio y Total (CMi y CMt).
- Proporción de la Contribución Marginal Total en el total de ingresos (%CM = CMt/I).

- Condiciones de equilibrio en términos de ingresos (Cft/%CM).
- Estructura de ventas de cada servicio en las condiciones de equilibrio (Vei = %Ii*Cft/%CM).

Desde el punto de vista práctico, el orden a seguir en las operaciones requeridas por este método debe ser el siguiente según Mesa, J. (2004a):

1. Determinar el monto de los ingresos por cada servicio (I_i):
$$Ii = Pi*Qi$$
2. Determinar el monto total de los Ingresos (I):
$$I = \sum_{i=1}^{n} I_i$$
3. Determinar la proporción del ingreso de cada servicio en el importe total (%Ii):
$$\%I_i = \frac{I_i}{I}$$
4. Determinar la Contribución Marginal en importe (CM_i) de cada servicio:
$$CM_i = Q_i(P_i - C_{vi})$$
5. Determinar la Contribución Marginal Total (CM_t):
$$CM_t = \sum_{i=1}^{n} CM_i$$
6. Determinar la proporción de la Contribución Marginal Total en el total de ingresos:
$$\%CM = \frac{CM_t}{I}$$
7. Determinar las condiciones de equilibrio en términos de Ingresos (Q_{eg}):
$$Q_{eg} = \frac{C_f}{\%CM}$$
8. Determinar la estructura de ventas de cada servicio en las condiciones de equilibrio (V_{ei}):
$$V_{ei} = \%I_i * Q_{eg}$$

Una vez seleccionado y caracterizado el método a utilizar, se procede a establecer las bases de cálculo, las cuales se resumen a continuación:

- Para azúcar crudo y mieles, 50 centrales en operación durante cuatro meses.
- Para refino, once refinerías en operación durante cinco meses.
- El escenario considerado se corresponde con la solicitud por parte de los centrales y refinerías, de todas las técnicas analíticas una vez por mes durante el período de operación, por lo que representa la cantidad de 200 para cada técnica analítica de azúcar crudo y mieles, así como la cantidad de 55 para cada técnica analítica de azúcar refino.

Los datos y resultados en términos de ingresos y costos están expresaos en CUP.

Los resultados obtenidos en este trabajo se resumen en las tablas siguientes, con cada técnica analítica designada como un servicio. En la Tabla II aparece como ejemplo una técnica analítica correspondiente a cada producto cuya calidad se caracteriza (azúcar crudo, mieles y azúcares blancos); en la última fila se reflejan los valores que corresponden a la totalidad de los servicios.

Tabla II
Estructura y valor de la Contribución Marginal en importe (CM).

SERVICIOS	Cantidad contratada (Qi)	Ingresos (Ii)	Proporción ingresos (Ii/It)	Costos variables		Contribución marginal	
						Importe	%
				Cvi	Cvt	CMi	%CM=CMt/I
AZÚCAR CRUDO							
1	200	13683,03	0,0509	24,91	4981,34	8701,69	0,64
MIELES							
2	200	10027,40	0,0373	19,74	3948,50	6078,90	0,61
AZÚCARES BLANCOS							
3	55	1304,37	0,0049	8,11	1621,04	858,58	0,66
TOTAL GENERAL DE LOS 26 SERVICIOS	**4185**	**268678,38**	**1,0000**		**115212,74**	**170576,36**	**0,63**

La proporción de los costos variables en los costos totales de las técnicas analíticas consideradas, varía entre 35% y 49% con una única excepción que representa un valor de 64%. A su vez, la proporción de los costos fijos en los costos totales varía entre 51% y 65%.

La proporción de los costos variables con respecto a los totales pudiera beneficiar los valores obtenidos para los márgenes de contribución. Sin embargo, sobre éstos pudiera tener un efecto negativo la alta proporción de los costos fijos. La comparación de estos costos con algunos valores de referencia pudiera permitir, en este caso, precisar cuál de esos efectos está prevaleciendo y por tanto contribuir al análisis de si pueden esperarse menores o mayores utilidades.

En la Tabla III se presentan el ingreso total en el Punto de Equilibrio y las cantidades que deben contratarse para cada técnica analítica en dicho punto.

Tabla III
Ingreso en el equilibrio y estructura de las cantidades de cada técnica analítica a realizar.

SERVICIOS	Punto de equilibrio en ingresos=Cft/%CM	Cantidades en el equilibrio
AZÚCAR CRUDO		
1		160
2		160
3		160
4		160
5		160
6		160
7		160
8		160
9		160
10		160
11		160
12		160
MIELES		
13		160
14	**215129,14**	160
15		160
16		160
17		160
18		160
19		160
AZÚCARES BLANCOS		
20		44
21		44
22		44
23		44
24		44
25		44
26		44
TOTAL GENERAL		**3351**

Análisis de los resultados

Los valores presentados en la Tabla III en cuanto a ingresos y cantidades a comercializar de las técnicas analíticas en las condiciones de equilibrio, representan aproximadamente un 80 % de los planificados. Aunque esto significa que la planificación en cuanto a cantidades de técnicas contratadas permite obtener utilidades, está

presente la interrogante de si la realización de los servicios se está llevando a cabo con la mayor eficiencia posible, término que pudiera definirse como la relación entre los gastos realizados y el efecto obtenido.

Como en este caso los precios tienen una dependencia lineal y constante con los costos, pudieran ser necesarios ajustes para mantener la competitividad y niveles de precios adecuados al mercado.

Por otra parte, cada técnica analítica que se comercializa genera un margen de contribución diferente, por lo que lo ideal sería tratar de mejorar la composición de las ventas con una mayor proporción de las técnicas analíticas que generan mayores márgenes de contribución. Desafortunadamente, en este caso, las cantidades y tipo de servicios contratados no pueden ser controladas por la administración del LEYCAL, ya que dependen de las necesidades del cliente, pero la magnitud de los costos variables y fijos (y la relación entre ellos) sí pudieran variar, si se considerara necesario, pues dependen en buena medida de la organización y condiciones con que se ejecuten las operaciones.

Con vistas a fortalecer el impacto de esta herramienta, resultará conveniente en el futuro comparar los resultados obtenidos en ingresos y costos, con lo presupuestado, así como con algún período similar anterior y con los resultados de la competencia (otra empresa que realice la misma actividad). Este proceder, así como la comparación de los aumentos y/o disminuciones de las ventas con relación a los aumentos y/o disminuciones de los costos variables y fijos, seguramente proporcionará una respuesta a la interrogante planteada.

Conclusiones

El análisis costo-volumen-utilidad para las condiciones de la prestación del servicio de técnicas analíticas en el LEYCAL, en las que el escenario considerado se corresponde con la solicitud por parte de los centrales y refinerías del país de todas las técnicas analíticas una vez por mes durante sus períodos de operación, arroja resultados favorables.

Recomendaciones

1. Verificar la eficacia de la relación existente entre costos variables y fijos en cuanto a los resultados obtenidos para el Punto de Equilibrio en las condiciones planificadas para la prestación del servicio de técnicas analíticas en el LEYCAL.
2. Comparar los precios obtenidos a partir de los costos de las técnicas analíticas, con los precios ofertados por la competencia.

Referencias

1. García, J. (1999), Contabilidad de Costos. McGraw Hill.
2. Martínez, I; Mesa, J; Salermo, M. (2012), Metodología para la determinación de los costos de calidad en el Laboratorio de Ensayos y Calibraciones de los Alimentos del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Trabajo de Diploma, Facultad de Contabilidad y Finanzas, Filial 4. Universidad de La Habana.
3. Mesa, J. (abr. 2004), Análisis Costo-Volumen-Utilidad. http://www.elprisma.com

SISTORULA 1.0: SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN Y LABORATORIO EN PLANTAS DE LEVADURA TORULA

SISTORULA 1.0: SYSTEM FOR LAB AND PRODUCTION CONTROL IN TORULA YEAST PLANTS

Maby Hernández, Rafael Hurtado, Arnaldo Díaz, Gustavo Saura, Ricardo Readigos, Roxana García.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
maby.hernandez@icidca.edu.cu

Resumen

El sistema para el control de la producción y laboratorio en plantas de levadura torula está orientado a la integración de la gestión del laboratorio de la planta con los reportes de producción. Los reportes diarios y periódicos de la producción, los cuales se componen de la información de las producciones, los consumos de materias primas, otros insumos y servicios auxiliares, el tiempo perdido debido a fallas del proceso y la calidad de la producción según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, son los principales resultados.
Sus reportes (tabulares y gráficos) permiten analizar el comportamiento del proceso productivo para un período de tiempo seleccionado. Además, se puede exportar la información primaria de los ensayos de laboratorio para su análisis con herramientas estadísticas.
Es una aplicación Web implementada para ser publicada en la intranet de la fábrica, de modo que, varios usuarios con diferentes funciones dentro de la empresa tengan acceso a las informaciones que requieren.

Palabras claves: Levadura, Gestión de laboratorio, Gestión de producción, Software

Abstract

The system for production and laboratory control in torula yeast factories is oriented to the integration of the laboratory information management with the production reports. The main results are daily and other periodic reports, which are built with the information of the productions, the consumptions of raw materials, other consumables and auxiliary services, the wasted time due to shortcomings of the process and the quality of the production according to results obtained in laboratory essays.
Its reports (in tabular or graphical format) give the possibility to analyze the behavior of the production process for a selected period of time. It is also possible to export the primary information of the laboratory essays for their analysis with statistical tools.
It is a Web based application, implemented to be published in the Intranet of the factory. So several users with different roles inside the company have access to the information they require.

Keywords:Yeast, Production management, Laboratory management, Software

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de administración de información de laboratorio es lo que se conoce como LIMS por sus siglas en inglés. Este tipo de software es el que se utiliza en laboratorios para administración de muestras, usuarios, instrumentos y otras funciones. Un sistema LIMS está enfocado generalmente a la investigación o análisis comercial o ambiental, tal como farmacéutico o petroquímico mientras que los sistemas LIS (sistema de información de laboratorio) se enfocan al mercado clínico (1). Las características de algunos sistemas desarrollados en el mundo con este fin para diferentes esferas de la producción y la medicina pueden ser consultadas en Internet (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9).

Una de las más importantes prestaciones de un sistema LIMS es la integración de diferentes subprocesos, lo que consolida los esfuerzos individuales y acelera el proceso de administración en su conjunto, incrementando considerablemente el acceso a los datos por parte de los distintos tipos de usuarios del sistema en menos tiempo. La práctica ha demostrado que mientras más pronto el usuario es notificado sobre un problema, la solución del mismo se logra en menos tiempo y con menos costo para el proceso productivo.

Estos sistemas están basados en la conexión de equipos de medición a computadoras, las cuales reciben los resultados de los ensayos efectuados en los equipos y pueden enviarlos a otros usuarios; de esta forma se garantiza el acceso en tiempo real a los resultados de los ensayos con la repercusión que esto tiene sobre el proceso productivo. Los resultados obtenidos de los ensayos pueden ser enviados a sistemas de gestión productiva donde la calidad de las producciones finales es determinada a partir de ellos.

Los sistemas de gestión de la información se han convertido en un importante componente de los laboratorios modernos en las diferentes esferas de la producción, debido a que constituyen la principal fuente para recopilar información sobre el trabajo realizado en los mismos, especialmente en los aspectos vinculados a la calidad de las producciones.

El propósito de estos sistemas, que datan de principios de la década de los 80, es asistir al personal de la industria en el manejo de grandes volúmenes de información. Son plataformas útiles para el control de la calidad y un mecanismo de integración al ser capaces de recibir información de equipos de laboratorio, procesarla y enviar los resultados para analizar el comportamiento de los procesos productivos.

Las empresas azucareras y plantas de derivados no pueden seguir posponiendo la implementación de la nueva generación de herramientas que les ayuden a gestionar el creciente flujo de datos generados en sus organizaciones. Este sector necesita herramientas para mejorar la comunicación en la empresa, agilizar la toma de decisiones y crear informes periódicos sobre el avance del proceso productivo. En este sentido, las plantas de levadura torula no pueden ser la excepción y debe trabajarse en lograr la integración en un solo sistema entre el laboratorio y los partes de producción que se emiten. En la actualidad, el trabajo con múltiples sistemas dispares con poca o ninguna integración ha dejado de ser una opción con vistas a lograr una eficiente administración empresarial. La integración empresarial sin fisuras es una necesidad que permite a la dirección disponer de datos de laboratorio permitiendo la generación de informes con el fin de ofrecer a la dirección un panel informativo de indicadores empresariales clave que resultan esenciales para la ejecución eficaz de sus operaciones y que permiten, por tanto, disponer de información esencial antes de los momentos críticos y no después.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema SISTORULA 1.0 ha sido diseñado como aplicación Web para ser utilizada desde la Intranet de la planta, donde diferentes áreas puedan tener acceso al mismo y trabajar con las opciones adecuadas y donde

un directivo pueda visualizar reportes del sistema desde cualquier estación de trabajo que tenga acceso a la intranet. En caso de no tener dicha conectividad puede implantarse usando un servidor local en una computadora y efectuar en ella todo el procesamiento, lo cual es más engorroso y menos adecuado.

La implementación se efectuó mediante la herramienta de desarrollo de aplicaciones Web Symfony (10) que es libre, con el propósito de ir migrando hacia la utilización del software libre y la base de datos está soportada por MySQL. Está diseñada para ser implantada en una intranet de fábrica con acceso desde distintos puestos de trabajo donde cada usuario tendrá un rol dentro del sistema con los permisos asociados al mismo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción del sistema

El sistema para el control de la producción en las plantas de levadura torula integra la gestión de la información del laboratorio con la emisión de los reportes diarios y periódicos de la producción durante la campaña productiva de la planta. Incluye las producciones realizadas, los consumos de materias primas, insumos y servicios auxiliares, el tiempo perdido en el proceso por las fallas ocurridas y la calidad de la producción de acuerdo a los ensayos de laboratorio efectuados. Los módulos del sistema son presentados en la Tabla I.

Tabla I Módulos de SISTORULA 1.0

Módulo	**Objetivo**
Administración	Definir la configuración del sistema para el trabajo en cuanto a clasificadores de información, inicialización de período productivo y día de trabajo así como los aspectos relativos a la seguridad del sistema.
Laboratorio	Gestionar las opciones asociadas a los ensayos que se llevan a cabo por el laboratorio de la planta. Sobre esta base se determina la calidad de las producciones, se emiten reportes gráficos y se puede exportar la información primaria de los ensayos para su análisis con herramientas estadísticas.
Parte de producción	Gestionar las opciones asociadas al reporte de producción diario y periódico de la planta. Incluye entrada de información primaria por turno de trabajo, procesamiento del parte y obtención de los reportes (tabulares y gráficos) para el periodo de tiempo seleccionado.
Reportes	Visualizar e imprimir los reportes tabulares y gráficos que emite el sistema.
Usuario	Permitir al usuario conectado al sistema cambiar su clave de acceso y cerrar la sesión de trabajo.

Figura 1 – Vista principal de SISTORULA 1.0

3.1.1 Administración

Este módulo es el que permite la configuración del sistema para el trabajo.

Tabla II Opciones del módulo de administración

Opción	**Objetivo**
Laboratorio	Gestionar clasificadores de puntos de muestreo y ensayos asociados en cada punto.
Parte de producción	Gestionar clasificadores asociados a los reportes de producción diario, periódico y por turnos (Turnos de trabajo, Producciones, Consumos y Causas de tiempo perdido)
Inicializar	Iniciar un nuevo período productivo, iniciar un nuevo día de trabajo y caracterizar la entidad con los datos que son utilizados en los reportes del sistema.
Seguridad	Gestionar las opciones asociadas a la seguridad del sistema, o sea, los roles permitidos, los permisos asociados a cada uno de ellos, los usuarios que pueden acceder al sistema con su rol y permisos así como las trazas del sistema que registran las operaciones que hace cada usuario durante el tiempo que está conectado en el sistema.

3.1.2 Laboratorio

Este módulo es el que permite gestionar en el sistema toda la información referente a los ensayos químicos y microbiológicos que se realizan en el laboratorio. Cada uno de estos ensayos se registrará de acuerdo a la norma o método de cálculo descrito en la Tabla III.

Tabla III Ensayos

Químico	**Determinación del ensayo**	**Norma**
ART	Azúcares reductores totales	Referencia [11]
Brix	Sólidos solubles por refractometría	Referencia [12]
Cenizas	Contenido de cenizas	Referencia [13]
Cloro residual	Cloro residual total	Valor del equipo [14]
MSG	Contenido de humedad por materia seca gravimétrica	Referencia [15]
Nitrógeno	Contenido de nitrógeno y proteínas	Referencia [16]
Conductividad	Conductividad del agua	Referencia [17]
pH	Grado de acidez	Medición del equipo
COT	Carbono orgánico total	Medición del equipo
Humedad	Humedad por termobalanza	Medición del equipo
Fósforo	Contenido de fósforo	-
MSV	Contenido de materia seca	-
Microbiológico		
Conteo celular	Conteo de células totales	Referencia [18]
% viabilidad	Porciento de viabilidad	Referencia [18]
% gemación	Porciento de gemación	Referencia [18]
Aerobios mesófilos	Enumeración de microorganismos aerobios mesófilos totales	Referencia [18]
Coliformes totales	Enumeración de coliformes totales	Referencia [18]
E-Coli	Enumeración de colonias	Referencia [18]
Salmonella	Presencia o no de salmonella	Referencia [18]

Para los ensayos de determinación de Fósforo y MSV no se dispone de norma. Por tanto, los métodos 1 y 2 que se describen a continuación son la base para los cálculos.

Método 1: Determinación del contenido de Fósforo
% de P_2O_5 = [(DO± n)/m] x Dil x 2.3 X 100 / Pm x vol.
DO: densidad óptica a 425 nm.
n: Intercepto en la curva patrón.
m: pendiente de la curva patrón.
Dil: Dilución de la muestra.
vol: Volumen de muestra para el análisis.
Pm: peso de muestra.
Los parámetros m y n de la fórmula anterior se obtienen automáticamente de la curva patrón definida para este ensayo, la cual se puede generar utilizando la opción “Ajuste regresional” para el fósforo

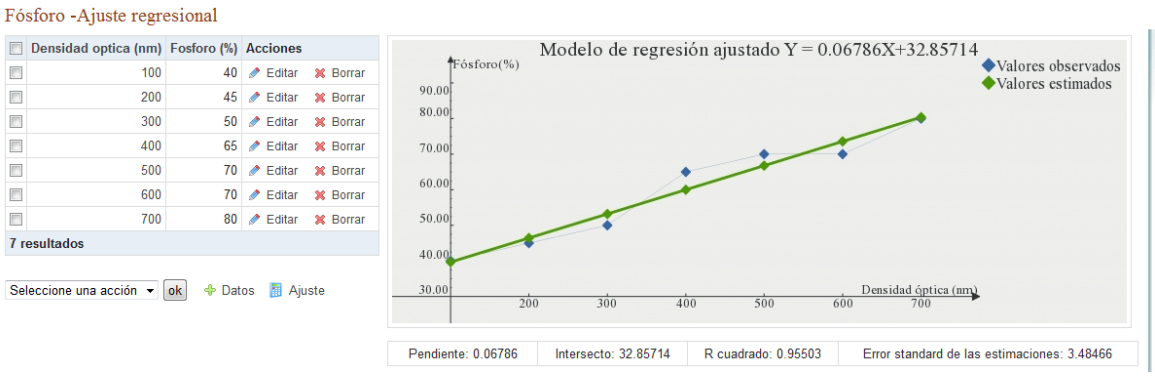


Figura 2 – Vista ajuste de regresión para el ensayo Fósforo.

En la tabla de la figura 2 se muestran los parámetros Densidad óptica (nm) y el Fósforo obtenido en %. El usuario puede modificar estos valores cada vez que lo estime conveniente. Cuando se ejecuta la opción "Ajuste", se genera un gráfico con los valores observados y los valores estimados a partir de la regresión lineal realizada. Se muestran además la pendiente de la recta, el intercepto, R cuadrado y el error estándar de las estimaciones, que constituyen datos estadísticos de utilidad en el ajuste.

Método 2: Determinación del contenido de materia seca

$$\text{MSV \% p/v} = \frac{(\text{sedimento} - \text{b})}{\text{m}} \times 10 \times \text{Dil}$$

Sedimento: mm de sedimento de la muestra en el tubo calibrado.
b: intercepto de la línea.
m: pendiente de la línea.
Dil: Dilución de la muestra.

Los parámetros b y m de la fórmula anterior se obtienen (de forma similar al Método 1) de la curva patrón definida para este ensayo, donde los datos del ajuste se corresponden con la altura del sedimento (mm) y la materia seca obtenida (%).

A continuación se muestran las opciones de trabajo para los ensayos de laboratorio (se ejemplifica para ART en la figura 3; el resto de los ensayos se procesan de forma similar).

Figura 3 – Vista de la lista de ensayos.

En esta vista se tendrá la información de los ensayos que se han realizado en el día actual de proceso, el cual se caracteriza por la hora, número de recepción de la muestra, turno de trabajo, usuario, punto de muestreo, la información requerida según su norma o método de cálculo y el resultado del ensayo.

Las opciones de trabajo son:

Nuevo ensayo*:* permite agregar un ensayo al sistema y cada ensayo puede ser modificado en cualquier momento del día.
Mostrar más cálculos: permite visualizar ensayos efectuados por otros usuarios y en otras fechas durante en la campaña. Esta información puede ser filtrada por rango de fechas, turno, usuario y punto de muestreo.
Exportar tabla a Microsoft Excel: el resultado y la información primaria de las repeticiones hechas del ensayo es enviada a formato Excel para su análisis estadístico.
Imprimir resultados: La información de los ensayos es enviada a un fichero PDF que posteriormente puede ser impreso. Puede obtenerse además un informe completo del ensayo seleccionado en el que se incluyen las observaciones hechas por los analistas.

3.1.3 Parte de producción

Este módulo es el que permite gestionar en el sistema toda la información referente a los reportes de producción diarios y acumular los resultados para los reportes de producción periódicos que se realizan en la planta.

Tabla IV Opciones del módulo parte de producción

Opción	**Objetivo**
Producción diaria	Gestionar producción diaria por turno de trabajo
Calidad	Gestionar calidad de la producción de acuerdo a la información de los ensayos de laboratorio por turno de trabajo.
Consumos	Gestionar consumo de materias primas, insumos y servicios auxiliares por turno de trabajo.
Tiempo perdido	Gestionar el tiempo perdido por las diferentes causas por tuno de trabajo.
Procesar parte	Procesar la información captada en las opciones previas y mostrar el parte diario de producción. Además, acumula la información para los resultados periódicos

A continuación, en las figura 4 y 5, se muestran algunas de las pantallas para la captura de la información para el día que se procesa por cada turno de trabajo (el resto son similares).

Figura 4 – Vista para confeccionar parte de producción diario.

Figura 5 – Vista para procesar calidad de la producción.

3.1.4 Reportes

Este módulo brinda los reportes asociados a los ensayos de laboratorio efectuados, a los reportes de producción diarios, periódicos y por turnos de trabajo así como una serie de gráficos que permiten analizar el comportamiento del proceso productivo, los cuales se describen seguidamente:

- **Ensayos de laboratorio:** Permite visualizar los ensayos efectuados durante la campaña para el ensayo seleccionado. Los ensayos pueden ser filtrados según los requerimientos deseados como se muestra en la figura 5 y el resultado puede ser impreso (se genera un PDF), exportado a Microsoft Excel (el resultado y la información primaria de las réplicas de los ensayos efectuadas) así como obtener el informe completo asociado a un ensayo dado.
- **Partes de producción:** Permite visualizar el reporte diario (del día seleccionado y hasta la fecha), el reporte periódico (para el período seleccionado y hasta la fecha) y el parte por turnos (para el período y turno de trabajo seleccionado y hasta la fecha)
- **Análisis gráfico:** Brinda los siguientes gráficos, que en su conjunto, posibilitan analizar el comportamiento del proceso en la planta en un período de tiempo:
    - Tiempo perdido por causas y/o por turnos.
    - Producción por turnos.
    - Consumo de materia prima, insumo o servicio auxiliar por turnos, diario, índices de consumo por turno base seca y base crema e índice diario base seca y base crema.
    - Comportamiento de un ensayo de laboratorio dado en un punto de muestreo seleccionado. Puede filtrarse además para un período de tiempo, turno de trabajo y usuario del sistema.

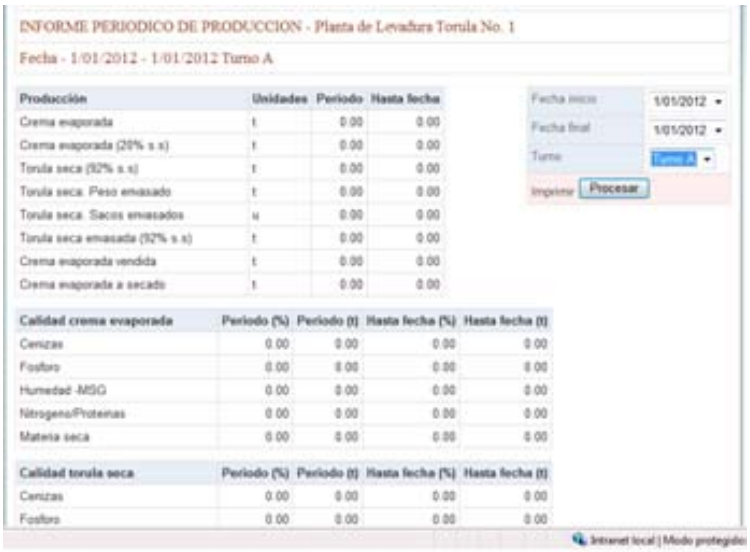


Figura 6 – Vista Reporte de Producción

Figura 7 - Vista Análisis Gráfico para tiempo perdido

Figura 8 – Vista Análisis Gráfico para ensayos

4. CONCLUSIONES

- El objetivo propuesto de desarrollar una aplicación de software que integre la gestión del laboratorio y los reportes de la producción de la planta se ha cumplido obteniéndose un prototipo de sistema (SISTORULA 1.0).
- El sistema se ajusta a las tecnologías actuales de desarrollo al estar diseñado con una arquitectura en la cual cada usuario tiene asociado un rol y los permisos correspondientes, lo cual garantiza que acceda a la información que requiere y solamente a ella.
- La validación de este prototipo durante la puesta en marcha de las fábricas deberá será la retroalimentación necesaria para el ajuste final del sistema.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Paszko, Christine. LIMS para el manejo de información de laboratorio. <http://www.cociente.com.mx>. [Consulta: 6 Feb. 2012].
2. LabWare Inc. <http://www.labware.com>. [Consulta: 10 Jul. 2012].
3. SQL*LIMS. <http://www.appliedbiosystems.com>. [Consulta: 10 Jul. 2012].
4. LIMS by QSI. <http://www.lims-software.com>. [Consulta: 12 Jul. 2012].
5. LabVantage. <http://www.labvantage.com>. [Consulta: 15 Jul. 2012].
6. ATL LIMS. <http://www.atlab.com>. [Consulta: 20 Jul. 2012].
7. StarLIMS. <http:// www.starlims.com>. [Consulta: 20 Jul. 2012].
8. LabLite. <http://www.lablite.com>. [Consulta: 21 Jul. 2012].
9. NetSci. <http://www.netsci.org>. [Consulta: 7 Sep. 2012].
10. Potencier, F.; Zaninotto, F. “Symfony: La Guía definitiva”, <http://www.libroweb.es>. [Consulta: 8 Ene. 2012].
11. Norma venezolana COVENIN 3285-97.
12. Norma venezolana COVENIN 924-83.
13. Norma venezolana COVENIN 1155-79.
14. Fernández-Crehuet, N.; Moreno Abril, O.; Pérez López, J.A. (2001), Determinación de cloro residual. Método del DPD. Higiene y Sanidad Ambiental. 1, 6-7
15. Norma venezolana COVENIN 1156-79.
16. Norma venezolana COVENIN 1195-80.
17. Norma venezolana COVENIN 3050-93.
18. Técnicas microbiológicas planta levadura torula. ICIDCA. Informe Interno, 2011.

LAB EXPERT 1.0. SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD EN LABORATORIOS DE ENSAYOS.
LAB EXPERT 1.0. QUALITY CONTROL SYSTEMS ON TESTS LABS

Autores: Karel Grass Tosar, Arnaldo Díaz Molina, Leonel Díaz Rodríguez
karel.grasst@icidca.edu.cu, arnaldo.diaz@icidca.edu.cu, leonel.diaz@icidca.edu.cu

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), AZCUBA.
Vía Blanca # 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana.

RESUMEN

El sistema LAB EXPERT 1.0 está diseñado para controlar toda la información que se genera en los laboratorios de ensayo. Este sistema está basado en el empleo de la metodología LIMS (*Laboratory Information Managment Systems*), que propone un procedimiento estandarizado para el tratamiento de la información que se genera en los diferentes laboratorios, en lo que respecta a ensayos, control de equipamiento, insumos y proveedores, clientes, técnicos y sus correspondientes reportes. (McLelland 2008). Evitando así la manipulación innecesaria de lecturas de análisis. Toda la generación o manipulación de la información podrá ser auditada electrónicamente. (Hamilton 2004)

Este sistema permite elaborar informaciones relacionada con el avance y estado de las investigaciones que se ejecutan en el laboratorio, realiza una evaluación económica y estadística del laboratorio a partir de los servicios que se ofrecen a los clientes. Permite realizar estados comparativos con respecto a etapas anteriores. Todo ello posibilita que se acorten los ciclos de las investigaciones a nivel de laboratorio, se eleve la eficiencia y se reduzcan los costos en la investigación y el desarrollo I + D.
La aplicación es lo suficientemente flexible para ser utilizada en cualquier tipo de laboratorio de ensayos, químicos, físicos, y microbiológicos. Constituyendo una herramienta necesaria para el trabajo en los laboratorios acreditados por la norma ISO/IEC 17025: 2006.

Palabras claves: Administración de la información, *LIMS*, control, ensayos, calibración, equipos de laboratorio.

SUMMARY

LAB EXPERT 1.0 system is designed to control all the information that is generated in testing laboratories. This system is based on the use of the methodology LIMS (laboratory information Managment Systems), which proposes a standardized procedure for the processing of information that is generated in different laboratories, in regard to testing, control equipment, supplies , and suppliers, customers, technicians and their corresponding reports. (McLelland 2008). Avoiding unnecessary handling of analysis readings. All generation or manipulation of information can be audited electronically. (Hamilton 2004)

This system allows processing information related to the progress and status of investigations that run in the laboratory, performs economic and statistical evaluation of laboratory from the services offered to customers. Allows comparative statements with respect to earlier stages. This makes it possible to shorten

the research cycle in the laboratory, raising the efficiency and reduce costs in research and development R &D.

The application is flexible enough to be used in any testing laboratory, chemical, physical, and microbiological. Constituting a necessary tool for work in laboratories accredited to ISO / IEC 17025: 2006.
Keywords: Information management, LIMS, control, experiments, calibration, laboratory equipment.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual en que se sitúa la investigación y el desarrollo I + D a partir del progreso científico–técnico alcanzado, y de los grandes volúmenes de datos que de ello se deriva, resulta una tarea difícil la correcta gestión de la información.

Los laboratorios de investigación constituyen la célula principal donde se fertiliza y crece la investigación y el desarrollo I + D. En ellos, considerando el entorno competitivo en que nos situamos hoy en día, la gestión automatizada de la información adquiere un significado superior: el incremento de la productividad, la disminución de los tiempos de procesamiento y los costos asociados, así como un servicio superior a los clientes son características que situarían a toda institución en condiciones de orientar los recursos de la investigación de forma estratégica, realizar un mejor proceso de toma de decisiones y de forma general efectuar una mejor gestión del negocio.La aplicación de todas estaspotencialidades es algo a lo que no debemos renunciar, e implementarlo es una tarea determinante e inaplazable.

Nuestro país y en particular el Instituto de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) no se excluyen de esta realidad. En los laboratorios del instituto, donde se llevan a cabo estas tareas, se manejan grandes y crecientes flujos de información. Con anterioridad la gestión de la información se realizaba a partir de distintos sistemas informáticos, realizados en Microsoft Access, los cuales presentan limitaciones técnicas, situación que hace que el mantenimiento de la información y del sistema sean infructuoso y que no cumplan con los requerimientos exigidos por los usuarios debido a que no se logra la automatización de la información en el grado requerido. Esto ocasionaba lentitud en su procesamiento, limitaba las potencialidades de explotación, aumentaba los costos de la investigación, y en sentido general no se obtenía la calidad esperada en el proceso.

A partir de esta situación y a petición de la dirección del centro, el Departamento de Control y Análisis de Procesos Azucareros realizó un estudio orientado en dos líneas fundamentalmente:

El estudio del proceso de gestión de la información de los laboratorios del instituto de forma independiente, específicamenteel análisis de los procedimientos de trabajo para la realización de ensayos en cada laboratorio, el estudio de las normas y procedimientos que rigen los flujos de trabajo,la determinación de los contenidos que se gestionan y la definición de la información que se necesita obtener como salida del sistema, y las incidencias que poseen para la entidad, con el objetivo de investigar qué puntos de coincidencia se observaban entre ellos.

Este estudio arrojó como resultado que el proceso de gestión de información de los laboratorios posee muchas características comunes, aspecto este decisivo pues desde el punto de vista ingenieril se consigue la suficiente abstracción como para lograr desarrollar una aplicación genérica, válida para cualquier tipo de laboratorio, logrando de esta manera no solo su aplicación en el instituto, sino también su posible extensión a cualquier laboratorio de ensayos, teniendo en cuenta los ensayos propios de cada laboratorio.

En esta investigación se observó como resultado tambiénel uso regularizado por los laboratorios de la entidad de la norma cubana ISO/IEC 17025 del 2006, las cual tiene la finalidad de asegurar que "*los laboratorios que forman parte de una organización mayor y/o que ofrecen otros servicios puedan funcionar de acuerdo con los sistemas de gestión de la calidad"*, concepto este que en particular fijó las pautas y trazó un camino que guiaría la implementación y posterior puesta a prueba del sistema desarrollado.

Se hace necesario destacar quelas propias especificaciones de la norma ISO/IEC 17025: 2006 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.

Esta norma es aplicable a todas las organizaciones que realizan ensayos o calibraciones. Que 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.

El segundo aspecto se enfocó hacia la observación del estado del arte en esta materia a nivel nacional e internacional. Ello brindó como resultado el conocimiento del uso extendido a nivel internacional de sistemas para la administración de la información en laboratorios, conocidos por sus siglas en inglés LIMS (*Laboratory Information Managment Systems*), con alrededor de 20 años de aplicación en gran parte del mundo científico, los cuales constituyen una metodología para su desarrollo y posterior implementación. A nivel nacional, aunque existe algún desarrollo y algunas referencias a este tema, aún se encuentra en un estado incipiente y subutilizado.

Teniendo en cuenta lo anterior se decidió crear un sistema que de forma genérica, flexible e independientemente de las diferencias en cuanto al manejo de la información, automatizara el control de los datos en los laboratorios del ICIDCA, idea esta que a posteriori se enriquecería con varias funcionalidades que harían al sistema un proyecto más abarcador y ambicioso.

DESARROLLO

Definición del sistema para la administración de la información de los laboratorios del ICIDCA. LAB EXPERT 1.0

El sistema que se propone es una aplicación de escritorio (*Desktop*) que permite administrar la información de los laboratorios del ICIDCA de forma independiente para cada uno de ellos. En su concepción el sistema se dirigió fundamentalmente hacia la realización de ensayos a distintos tipos de muestras, pero además posee herramientas que permiten: la recepción de las muestras por clientes; la realización de los ensayos correspondientes a las probetas y su respectivavalidación; la gestión de los ensayos y su procesamiento estadístico; el control económico de cada laboratorio, a partir de la definición de las fichas de costo de cada ensayo y de los ingresos obtenidos por los servicios ofrecidos a clientes; el control de inventario de cada laboratorio; la gestión de proveedores y clientes; la obtención de los reportes de cada funcionalidad expuesta; la gestión de los clientes del laboratorio; así como herramientas para la seguridad del sistema como son: la administración de usuarios del sistema y la gestión de roles de usuarios del laboratorio, atendiendo a las tareas a desarrollar en el sistema;la encriptación y salva de los datos; la administración de las trazas del sistema y el control de errores. Estas dos últimas funcionalidades ofrecen al sistema la posibilidad de ser auditado, condición esta que es exigida por la resolución no. 127 /2007 el Ministerio de Informática y las Comunicaciones (MIC).

Un aspecto a señalar es el hecho de que es un sistema ajustable a cualquier laboratorio cuya gestión de la información este regida por la norma cubana ISO/IEC 17025 del 2006. Esto significa que los usuarios podrán configurar los contenidos durante la ejecución del programa, incluyendo la definición de los ensayos y sus correspondientes cálculos.

La aplicación posee además otras herramientas y servicios complementarios que ofrecen valor añadido desde el punto de vista informativo.

Para el cumplimiento de esta investigación se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Definir los procesos de gestión de información susceptibles a ser automatizados en los laboratorios.
- Identificar los elementos comunes en cuanto al flujo de trabajo y manejo de la información en los laboratorios.
- Descripción detallada de cada una de las tareas correspondientes al flujo de trabajo en los laboratorios de ensayos.
- Estudiar los diferentes ensayos que se realizan en cada laboratorio de la entidad.
- Determinar el estado del arte, profundizando en la búsqueda de sistemas LIMS similares en Cuba y en otros países.
- Descripción de los roles de los técnicos de los laboratorios y de las tareas asociadas a cada uno de ellos.
- Estudiar la norma cubana ISO/IEC 17025 del 2006.
- Identificación de las herramientas informáticas utilizadas internamente en las destilerías para, en caso de ser necesario, incorporar requisitos específicos y ajustar completamente el sistema a cada destilería.
- Selección de las herramientas de desarrollo adecuadas para la implementación del sistema LABEXPERT.
- Diseño e implementación del software.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de la aplicación requirió en una primera fase de la realización de reuniones y debates con los distintos directivos y especialistas de los laboratorios de ensayos del ICIDCA. LABEB (*Laboratorio de Alcoholes y Bebidas*), LAFIM (*Laboratorio Físico - Mecánico*), LEYCAL (*Laboratorio de Ensayos y Calibraciones*), fueron los laboratorios escogidos para el estudio del flujo de trabajo y las distintas tareas y procesos que en ellos se realizan.

Producto a estos encuentros y el análisis del flujo de trabajo de estos laboratorios se pudo identificar las variables que se deben automatizar. Las necesidades observadas en este estudio están enfocadas fundamentalmente hacia el control automático de la validez de los datos entrados, cálculos automáticos, generación automática de informes y gráficos sin necesidad de escribir información de nuevo, reproducibilidad en cualquier momento y de forma sencilla de toda la documentación generada con anterioridad, control de cualquier cambio en todas aquellas zonas críticas de la información del laboratorio, para poder impedir modificaciones no autorizadas y además guardar una trazabilidad de los mismos, revisión y visualización de datos más completa, flexible y accesible, generación más rápida y efectiva de informes, mantenimiento de estados ligados a Proyectos, Muestras, Tests, Resultados, de manera automática por el sistema, control económico del laboratorio a partir de la realización de ensayos, como parte de los servicios ofrecidos por los laboratorios a clientes.

La bibliografía estudiada es mayoritariamente actual, se utilizó como material fundamental la “norma cubana ISO/IEC 17025 del 2006”, además de artículos escritos por investigadores y especialistas del ICIDCA y referencias de internet.

Para la selección de la plataforma de desarrollo de la aplicación –lenguaje de programación, y el sistema gestor de base de datos (SGDB) a utilizar– se tuvieron en cuenta los siguientes requerimientos:

- Las demandas funcionales que exigían los usuarios; las que por el propio tratamiento de la información se observaban a partir del escenario informático en que se sitúan los laboratorios, y el conocimiento y experiencias adquiridos por el Departamento de Control y Análisis de Procesos Azucareros en cuanto al desarrollo de aplicaciones, precisaron realizar la aplicación en un entorno de escritorio.
- Que los lenguajes de programación y el sistema de gestión de base de datos seleccionados para la aplicación brindaran mecanismos que permitieran tanto la exportación como la importación de los datos desde y hacia el sistema en un formato estándar, a tono con las tecnologías actuales, que pueda hacer extensible el uso de esta información a otras consideraciones de la entidad. Añadiendo de esta forma robustez a la aplicación.

Luego de analizar las tendencias y tecnologías actuales se decidió seleccionar el entorno de desarrollo integrado (*IDE*) *Embarcadero C++ Builder*, en su distribución *Arquitect*, como plataforma para el desarrollo de la aplicación, aprovechando las potencialidades que ofrece en cuanto al manejo de bases de datos, y su potencial para el trabajo con librerías matemáticas necesarias para la definición y cálculo de los ensayos fundamentalmente.

La elección realizada para el SGDB fue *Postgres SQL*. Herencia de tablas, creación de tipos de datos, operaciones geométricas y un lenguaje de programación orientado a objetos, son funcionalidades que lo hacen ser uno de los SGDB más defendidos en la actualidad por su robustez y flexibilidad, constituyendo además una alternativa libre de costo.

En la actualidad el sistema LAB EXPERT 1.0, se encuentra en etapa de desarrollo, habiéndose logrado el cumplimiento del 80 % de los requerimientos funcionales descritos por los usuarios de los laboratorios de ensayos. Los módulos conseguidos se encuentran en fase de validación en el Laboratorio LEYCAL, y próximamente se implantará en LABEB y LAFIM respectivamente.

HERRAMIENTAS PRINCIPALES

PANTALLA PRINCIPAL
Mediante esta herramienta se podrá acceder a las distintas funcionalidades del software.

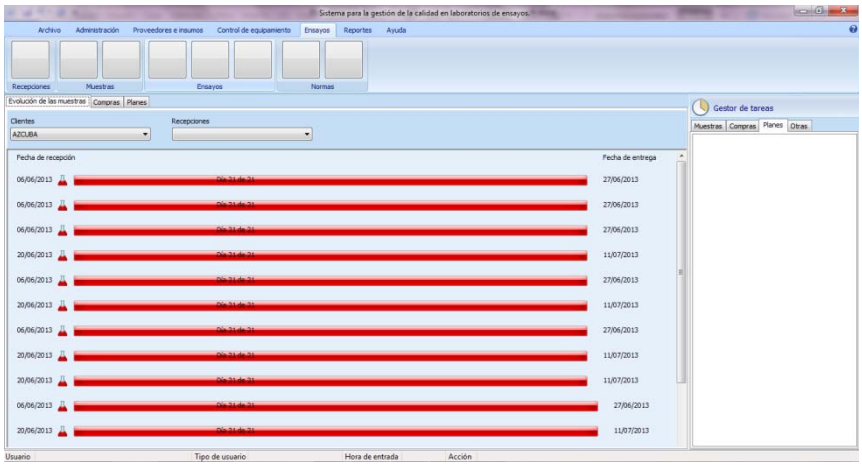


Figura 1: LAB EXPERT 1.0 – Menú Principal

ADMINISTRACIÓN
Gestionar clientes

Mediante este codificador se realiza la gestión (adición, eliminación y modificación) de los clientes del laboratorio. Los clientes pueden ser internos (del propio instituto), o clientes externos (de otras entidades). Como parte de la herramienta de Administración, este recurso permite la entrada de datos que configuren el sistema, y posibilita su referencia desde otros mecanismos como la recepción de las muestras y la realización de ensayos a las muestras recibidas.

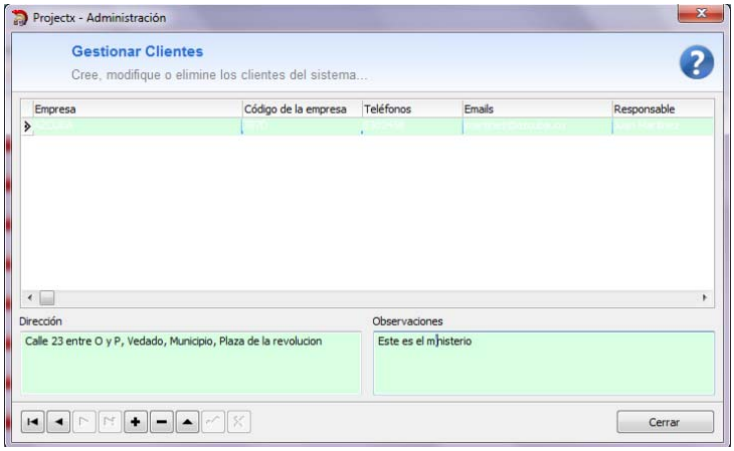


Figura 2: LAB EXPERT 1.0 – Gestionar clientes.

Gestionar tipos de muestras
Al igual que ocurre con Gestionar Clientes, la Gestión de muestras, permite la adición, eliminación y modificación de los tipos de muestra que el laboratorio manipula. Permite la entrada de datos de configuración del sistema, y el uso de sus datos en otras herramientas como es la realización de ensayos a tipos determinados de muestras.
Gestionar servicios del laboratorio
Permite la adición, eliminación y modificación de los servicios que el laboratorio ofrece a sus clientes. Por ejemplo, certificación, homologación y comprobación.
Gestionar técnicos

El control de los técnicos que trabajan en los laboratorios es una tarea esencial, este mecanismo permitirá la asociación de los técnicos con herramientas como son la realización de ensayos, la evaluación de los técnicos y la obtención de reportes.

Evaluar técnicos

Este componente posibilita la evaluación de los técnicos del laboratorio a partir de la evaluación individual y cuantitativa de los indicadores de evaluación de técnicos. Se obtiene como resultado, el promedio de la evaluación de los indicadores antes mencionados, expresado además de forma cualitativa. La evaluación se debe realizar de forma progresiva, o sea, no se puede realizar una evaluación con fecha inferior a la última evaluación realizada. Constituye un mecanismo muy útil para registrar y observar el comportamiento de los técnicos y su evolución.

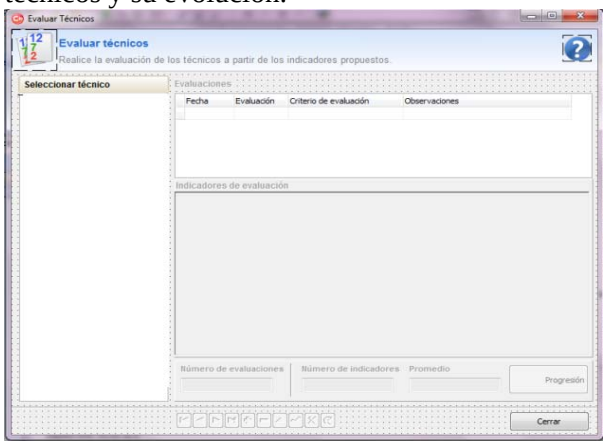


Figura 3: LAB EXPERT 2.0 – Evaluar clientes.

Configurar ficha de costo del sistema

Los ensayos que se realizan en el laboratorio tienen un costo asociado, el cual es el resultado de la suma de los costos individuales de los indicadores que lo conforman. De esta manera surge la ficha de costo del sistema, la cual ofrece una definición estándar para las fichas de costo de los ensayos, que luego puede ser personalizada para cada ensayo.

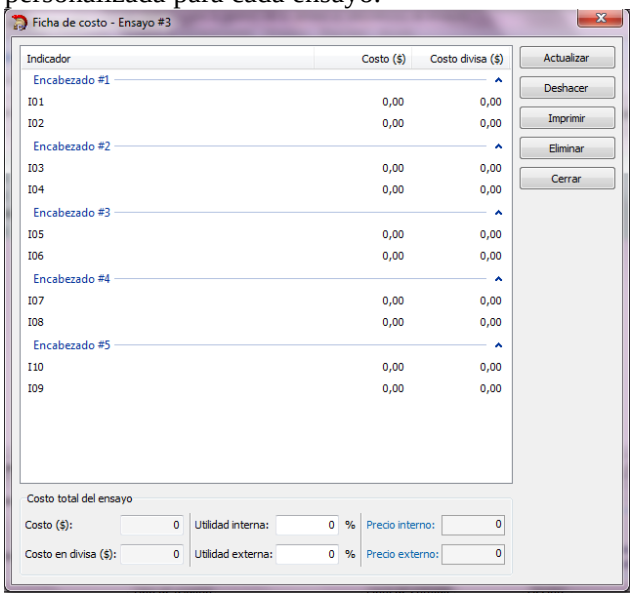


Figura 4: LAB EXPERT 1.0 – Ficha de costo del sistema.

PROVEEDORES E INSUMOS

Gestionar proveedores y encuesta
La selección de los proveedores es un mecanismo elemental en la gestión del laboratorio, la misma se realiza a partir de la aplicación de una encuesta que evalúa distintos criterios a partir de los cuales se eligen o no. La encuesta es un mecanismo configurable que se forma de la gestión de los indicadores de encuesta a proveedores y de la gestión de las respuestas de estos indicadores.

Evaluar proveedores
De la misma forma en que se requiere la evaluación de los técnicos del laboratorio, la evaluación a los proveedores es un recurso que permite observar el comportamiento de los proveedores del laboratorio. La evaluación se realiza a partir de la puntuación individual de los indicadores de evaluación de proveedores definidos en la herramienta del mismo nombre, y comparte las mismas características de funcionamiento que el recurso “Evaluar técnicos”.

Gestionar insumos, cristalería y equipamiento
Como parte de la gestión de los activos del laboratorio, se considera la administración de los insumos, cristalería y el equipamiento. La gestión de los insumos, incluye los productos asociados directamente a los ensayos, u otros productos que no intervengan directamente en la realización del ensayo. La gestión de la cristalería incluye el nombre del elemento, el tipo de cristalería, la fecha de adquisición, la cantidad que se adquirió, la fecha en que ocasionó baja en caso de hacerlo, y el numero identificativo del elemento. Por otra parte la gestión del equipamiento, contiene la gestión de los instrumentos de medición y de los equipos del laboratorio, al igual que sucede con la gestión de la cristalería incluye el registro de atributos como el nombre del elemento, el tipo, la fecha en que se adquirió, entre otros.

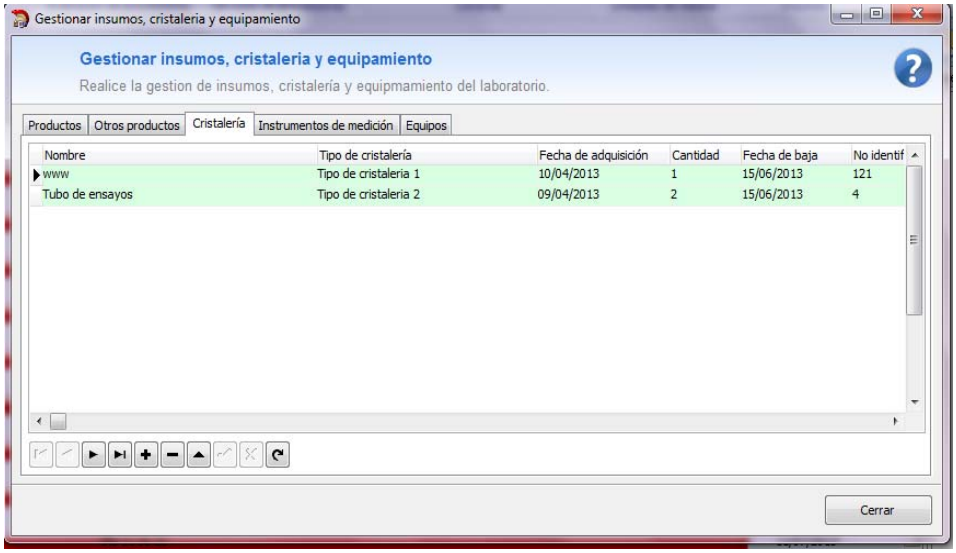


Figura 5: LAB EXPERT 1.0 – Gestionar insumos, cristaleira y equipamiento.

Gestionar solicitudes de compra
Permite el registro de las solicitudes de compra de insumos, cristalería y equipamiento que se realiza a las áreas de compra, entre otros atributos se registra la cantidad solicitada del elemento seleccionado, así como la cantidad recibida de dicho elemento, la cual va a ser modificada a partir de la recepción de la compra del elemento, gestionada en el recurso del mismo nombre.

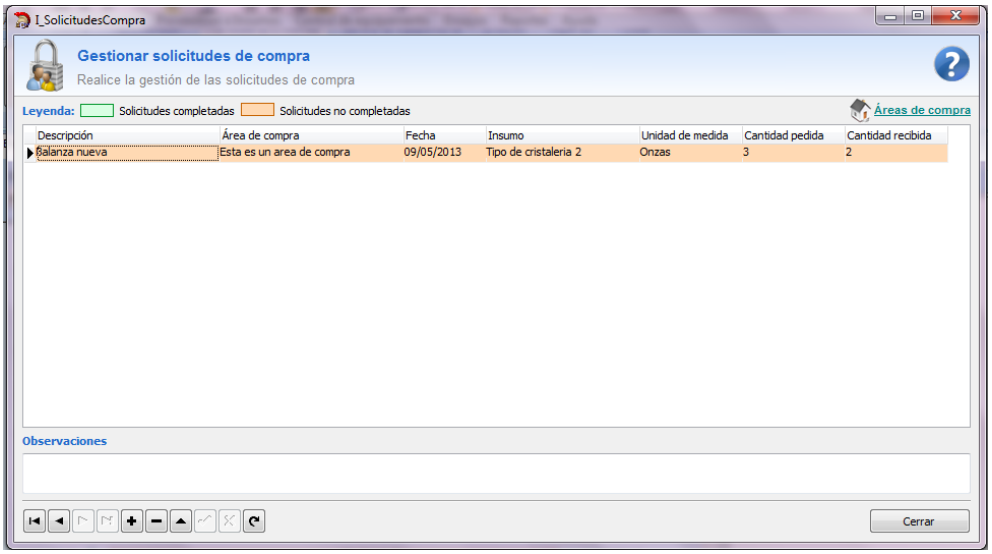


Figura 6: LAB EXPERT 1.0 – Gestionar solicitudes de compra.

Gestionar recepciones de compra
Es el mecanismo mediante el cual se realiza el registro de las compras solicitadas en la herramienta "Gestionar solicitudes de compra". Contiene la solicitud relacionada, la cantidad recibida, la fecha de la recepción, la unidad de medida del elemento que se recibe, el estado de la compra, el proveedor y los costos en moneda nacional y en divisa.

Gestionar servicios de proveedores
Permite la gestión de servicios recibidos de los proveedores, como pueden ser la calibración, verificación, mantenimiento de equipos, o la certificación del laboratorio.

CONTROL DE EQUIPAMIENTO

Gestionar plan de calibración y verificación
Esta funcionalidad del sistema permite la definición de los planes de calibración y verificación para la cristalería, los equipos e instrumentos de medición del laboratorio. Los planes se definen de forma general para los tipos de elementos, y contienen la periodicidad en que se deben realizar estos servicios, la fecha de la última vez que se realizó, y la vigencia que tiene. Este mecanismo permite advertir la ocurrencia de estos servicios mencionados, lo cual lo convierte en una herramienta muy útil para la organización del flujo de trabajo de los laboratorios.

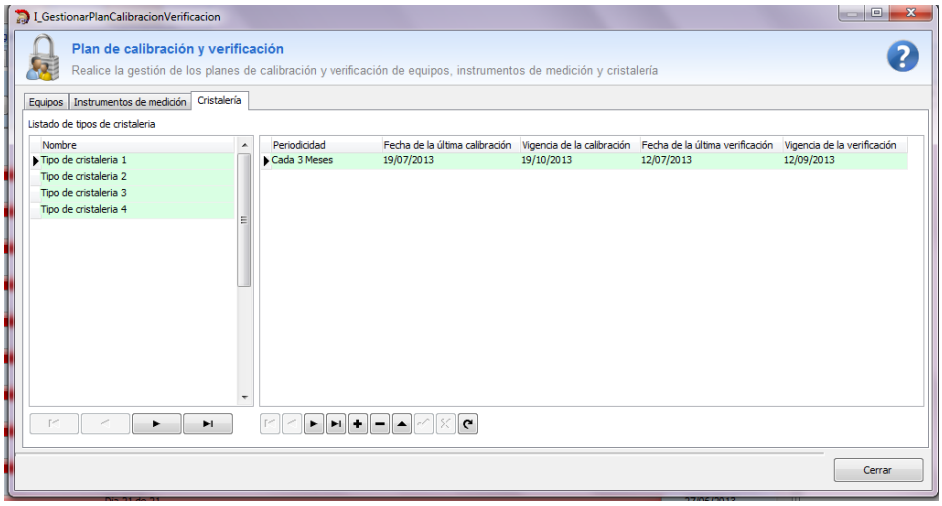


Figura 7: LAB EXPERT 1.0 – Plan de calibración y verificación.

Gestionar plan de mantenimiento
Permite la definición de los planes de mantenimiento para los tipos de instrumentos de medición, tipos de equipos y tipos de cristalería del laboratorio. El plan contiene la periodicidad en que se debe realizar el servicio, la fecha del último mantenimiento que se realizó, y la vigencia que tiene. Al igual que ocurre con el "Plan de calibración y verificación", permite advertir la ocurrencia del servicio y constituye una herramienta muy útil para la organización del flujo de trabajo de los laboratorios.

Gestionar registro de calibración, verificación y mantenimiento
Es el mecanismo mediante el cual se registran las ocurrencias de los servicios planificados en los planes descritos anteriormente. La ocurrencia de un registro de calibración, verificación y mantenimiento, modifica la fecha en que se realizó por última vez el servicio dentro de dichos planes.

Gestionar control de utilización de equipos
Es el elemento que permite el registro de la utilización de los equipos del laboratorio por parte de los técnicos que lo componen. Posibilita conocer la fecha en que se usó un equipo, el técnico que lo uso, la muestra que se utilizó, así como observaciones realizadas por el técnico.

Gestionar ensayos
Constituye una pieza clave en el sistema pues posibilita la definición de los ensayos de forma dinámica y configurable por parte del usuario (definiendo, el tipo de ensayo, la fórmula a utilizar, los atributos que lo componen y los estadígrafos requeridos) de esta forma se consigue la suficiente abstracción como para lograr desarrollar una aplicación genérica, válida para cualquier tipo de laboratorio.

Gestionar recepciones y muestras
Es el recurso mediante el cual se va a realizar la entrada al sistema de las recepciones correspondientes a los clientes del laboratorio. Las recepciones pueden estas compuestas por varias muestras a las que se les realizarán los ensayos (creados en la funcionalidad anterior) que el cliente solicite.

Gestionar normas
Se utiliza para gestionar las normas que rigen la aplicación de los ensayos. Un ensayo puede estar relacionado a una o varias normas.

SEGURIDAD

Autenticación de usuarios
Es el mecanismo a partir del cual los usuarios van a tener acceso al sistema. El nivel de acceso del usuario al sistema dependerá del tipo de rol asignado. De esta forma se garantiza la protección e integridad de los datos del sistema, por cuanto los usuarios solo podrán acceder a la información que le corresponde.

Administrar trazas
Es un mecanismo que permite la visualización de las acciones que realizan todos los usuarios del sistema. Permitiendo la auditoria de estas acciones cuando se requiera. Es un recurso de obligada implementación exigido por el Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC), en su reglamento de seguridad para las tecnologías de la información, Resolución No. 127 /2007.

Gestionar roles
Posibilita la definición de nuevos tipos de usuarios o roles en el sistema, a partir del cual se definen privilegios y se establece el alcance que estos roles van a tener en el sistema.

Gestionar usuarios
Su objetivo es la definición de usuarios en el sistema, los cuales contendrán un nombre de usuario, por ejemplo (juan.pérez), una contraseña, y un rol asignado mediante el cual se establece el nivel de acceso a las herramientas y datos del sistema.

REPORTES

Reportes administrativos
Posibilita la obtención de información de las herramientas que conforman la administración del sistema. Por ejemplo: la cantidad de ensayos realizados a un cliente, los clientes que más ensayos solicitan, los clientes que más importantes desde el punto de vista económico, los servicios más demandados al laboratorio, los ingresos obtenidos por servicios. La cantidad de ensayos realizados por un técnico, la evaluación de los técnicos, los ingresos obtenidos en el laboratorio a partir de la selección de técnicos.

Reportes de proveedores e insumos
Proporciona información acerca de la situación de los insumos o activos del laboratorio, así como de los proveedores. Por ejemplo: Obtener un listado de todos los insumos con las cantidades de ese insumo en existencia, obtener el comportamiento y el consumo (de forma estadística y gráfica) de los insumos en un período de tiempo seleccionado, los gastos asociados a la compra y utilización de un determinado insumo en un período de tiempo seleccionado. Obtener un listado de los proveedores de un insumo seleccionado, establecer un estado comparativo entre los proveedores, a partir de las cantidades que importan al laboratorio. Listar las solicitudes no completadas. Obtener listado de los proveedores que no han cumplido con las solicitudes realizadas, junto con el listado de estas solicitudes. Listar los proveedores que se encuentran certificados y los que no. Listar los proveedores a partir de un servicio seleccionado.

Reportes de control de equipamiento
Permite la elaboración de información relacionada con las herramientas de control de equipamiento. Por ejemplo: La obtención del listado del equipamiento al que se le debe hacer calibración o verificación, o realizarle mantenimiento en un período de tiempo seleccionado. Obtener listado del equipamiento al que no se le ha realizado el registro de la calibración, verificación y mantenimiento planificados. Listar los equipos que han requerido de mayor cantidad de mantenimiento. Listar los técnicos que han utilizado un equipo en un período de tiempo seleccionado.

Reportes de ensayos
Posibilita la elaboración de información correspondiente a la realización de ensayos. Como ejemplos se tienen: los ensayos que más se solicitan al laboratorio, los que se realizan a un tipo de muestra específica, los realizados a un cliente determinado, el reporte de resultados de un ensayo realizado a una muestra determinada, y los realizados a las muestras que componen una recepción seleccionada y el listado de los ensayos realizados por servicios.

Reportes financieros
Mediante ellos se logra obtener una visión del estado financiero del laboratorio y su evolución en el tiempo. Como ejemplo de estos reportes se tienen: el ingreso a partir de un ensayo determinado, los ensayos que más ingresos aportan, las fichas de costo asociadas a un ensayo seleccionado, los servicios que más ingresos aportan, el volumen total de ingresos por cuestión de ensayos en un período de tiempo determinado, los gastos a partir de la compra de insumos y equipamiento en el laboratorio, los gastos por concepto de servicios recibidos, balance general de las finanzas del laboratorio en un período de tiempo determinado, y la comparación (estadística y gráfica) entre los resultados financieros del laboratorio con respecto a años anteriores, permitiendo observar su evolución y obteniendo una visión general de comportamiento del negocio.

DOCUMENTACIÓN Y AYUDA DEL SISTEMA

Con la instalación del software se brinda un manual del usuario y un fichero de ayuda que puede consultarse desde cualquier herramienta. Se ofrecen los datos generales del ICIDCA y la información de contacto necesaria para localizar a los autores. Con estas opciones, el usuario puede aclarar cualquier duda sin necesidad de que los desarrolladores del software se dirijan a su entidad.

BENEFICIOS QUE APORTA LAB EXPERT 1.0

La aplicación de este sistema supone la obtención de los siguientes beneficios:

- Eliminación de entrada manual de datos, reduciendo el tiempo dedicado a tal tarea.
- Control exhaustivo del trabajo a desarrollar y desarrollado por el laboratorio.
- Planificación del trabajo del Laboratorio y generación automática de hojas de trabajo.
- Realización automática de cálculos de ensayos y gráficos.
- Análisis estadístico de los resultados de cálculos de ensayos.
- Validación de resultados obtenidos frente a Especificaciones de calidad.
- Revisión y análisis más eficiente de la información eliminando procedimientos de búsqueda y recopilación muy costosos en tiempo y con clara fuente de errores.
- Transferencia automática de información desde y hacia otros sistemas de las entidades donde se encuentre instalado el software.
- Uso más efectivo de los recursos humanos y técnicos del Laboratorio.
- Permite obtener una visión del estado financiero del laboratorio y su evolución en el tiempo

CONCLUSIONES

Con la elaboración e implantación de este sistema informático se logró cumplir con el objetivo propuesto, el cual era: Desarrollar una aplicación informática para la administración de la información que lograra la unificación de las funcionalidades de los distintos laboratorios del ICIDCA, obteniéndose como resultado, una solución de software que permitiera el registro, administración y seguimiento de los datos de forma automatizada y eficiente. Se logra además que la información pueda ser almacenada por años sin la necesidad de archivarlos de forma tradicional, teniendo la opción de realizar estados comparativos (de forma gráfica y estadística) entre los años de funcionamiento del negocio para observar su comportamiento y evolución.

Se logra también la elaboración de informaciones de forma precisa y rápida relacionada con los avances y el estado de las investigaciones. Ofrece mayores oportunidades de integración. Permite realizar una evaluación económica de la entidad a partir de la evaluación económica de los servicios ofrecidos a los clientes y de los gastos en insumos y servicios recibidos. Se acortan los ciclos de investigación y el desarrollo. Maximiza la rentabilidad, la productividad y agiliza la toma de decisiones importantes, lo cual se revierte en la reducción de los costos en la investigación y en una mejor organización del flujo de trabajo en los laboratorios.

La obtención de este software unido a la asimilación de la metodología de trabajo que ofrece, garantiza a los laboratorios del ICIDCA una administración de la información acorde con los requisitos generales de calidad requeridos por la norma cubana ISO/IEC 17025 del 2006.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- McLelland, A. (2008). What is a LIMS - a laboratory toy, or a critical IT component?
- Wikipedia, la enciclopedia libre. Tema relacionado con *LIMS,* http://es.wikipedia.org/wiki/LIMS (Consultada: 22/03/2013).
- K. Hamilton, M. (2004). Improving Data Integrity in the Lab and the Field. IH Laboratory Information Management Systems (LIMS).Yuma Pacific-Southwest Section, AIHA.
- MIC. (2007).Reglamento de seguridad para las tecnologías de la información. Resolución No. 127 /2007.
- Norma ISO/IEC 17025:2006. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. (2006)

MONOMEROS FURANO-EPÓXIDICOS PARA MEJORAR PROPIEDADES DE MORTEROS BASE CEMENTO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

FURAN EPOXI MONOMERS FOR INCREASE PROPERTIES OF MORTERS BASED CEMENT FOR SURGAR INDUSTRIES.

Lic. Andrés Gómez Estévez * (a), Arelis Rodríguez Padrón, Mercedes Sosa Hernández (a), Ing. Gliseria Velazco Cabrera (b), MsC. Nelson Díaz (c) y colaboradores.

(a) Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). e.mail: andres.gomez@icidca.edu.cu; (b) MINCULT – CUJAE; (c) CECAT – CUJAE.

RESUMEN

Se resumen las experiencias del empleo de resinas furanoepoxídicas FAM en morteros y hormigones plásticos de alta resistencia térmica y química, además de la presentación de los resultados alcanzados en sistemas de monómeros furano epoxídicos en base a agua, para la protección en primer y segundo nivel de morteros y hormigones estructurales base cemento portland. Se orientan sobre los beneficios de estas aplicaciones dentro de la industria azucarera.

Palabras clave: Morteros y hormigones plásticos base cemento portland, resina y monómeros furano epoxídicos, protección anticorrosivo base acuosa, aplicaciones en la industria azucarera.

SUMMARY

A brief of furan epoxy resins FAM applications in mortars and plastic concretes for high thermal and chemical resistance, in addition with the results reached in systems of furan epoxy monomers based on water, for the protection in first and second level of mortars and structural concretes base Portland cement. They are showed the benefits of these applications inside the sugar industry.

Key words: Mortars and plastic concretes base Portland cement, furan epoxy resins and monomers, anticorrosive protection based on water, applications in the sugar industry.

I.- INTRODUCCION

La necesidad de sustituir materiales tradicionales, madera, metal, cerámica, piedras, etc. unido a las exigencias de la vida moderna ha llevado a la necesidad de emplear y desarrollar nuevos materiales para la construcción, en este sentido los polímeros han alcanzado un nivel mucho más diversificado y especializado que otros materiales desarrollados para este fin y en el que se continua trabajando. Gómez y otros (2000), Dopico 2001, Guerra 2005. Esto ha permitido dar soluciones a exigencias medio ambientales, de corrosión por ambientes costeros y en industrias, así como a la prevención de fenómenos sísmicos y de meteorológicos como ciclones, huracanes, intensas lluvias, etc.

Sólo para dar una idea, las líneas más generalizadas son ***Adhesivos***, ***Hormigones Poliméricos, Materiales Compuestos (Composites)*** y lo más promisorio esta en el ***Desarrollo de Nuevas Aplicaciones,*** el resto queda en aplicaciones que van desde los recubrimientos, andamios, facilidades temporales, etc. Barahona, C.(2010)
Adhesivos Se han desarrollado y se investiga sobre el estudio de los fenómenos de **adhesión** que tienen lugar, para que las uniones entre los diferentes materiales utilizados en construcción sean correctas. Se trata de responder a las necesidades del sector de construcción en el uso de estos materiales:

- Adhesivos para la fabricación de **materiales laminados multifuncionales**, puentes de unión.
- Adhesivos para **refuerzo y protección** de rocas industriales.
- Fabricación de nuevos productos de construcción "composites" mediante el aglomerado de materiales con polímeros.
- Soluciones adhesivas para inyectar y reforzar cimientos y hormigones estructurales fracturados o por debajo de los valores de resistencia.
- Para garantizar el agarre o anclaje de un hormigón o mortero fresco sobre otro viejo.

Hormigones poliméricos, Nacen en el siglo XX y surgen para mejorar propiedades y superar limitaciones del *Hormigón Armado* (HA), ya sea por la incorporación de polímeros en sustitución de parte del cemento, conocido por ***Polymer And Cement Concrete*** (**PCC**), o por la sustitución del cemento por el polímero, ***Polymer Concrete*** (**PC**), o por la impregnación del hormigón armado (HA) con polímeros, Polymer Impregnated Concrete (**PIC**).

Las ventajas que tiene el **hormigón polímero** frente al hormigón tradicional prefabricado son:

- Absorción de agua: Dado que la absorción de agua es prácticamente nula, un 0,1% evita que se produzcan humedades en fachada e interiores y evita las problemáticas fisuras durante los ciclos de hielo/deshielo y calor, es la clave en la calidad de la construcción.
- Resistencia en productos químicos: El hormigón polímero es uno de los materiales más resistentes a agentes químicos, dado que sus componentes no reaccionan disgregando o deformando el producto y debido a esto su limpieza es muy sencilla.
- Resistencia mecánica incrementada, mayor resistencia a la compresión, flexión y tracción, mayor resistencia al choque: Durante la ejecución de la obra se produce golpes en las piezas, generando costes añadidos por roturas, cambios, etc., la elevada resistencia del material polimérico garantiza su calidad de uso.
- Debido a su alta resistencia el hormigón polimérico garantiza una vida más prolongada, evitando una vejez prematura y un deterioro estético.

Materiales Compuestos (MC) o Composites Materiales constituidos por una matriz polimérica que constituye la fase continua y de una fase dispersa o discontinua formada por los rellenos, refuerzos, modificadores y aditivos. Estos han sido los materiales de más reciente introducción a la construcción, aunque no ha tenido la misma velocidad de introducción y diversificación que en las otras áreas de la economía. Dieter Urban, Koichi Tkamura (2002)

Las aplicaciones de los materiales compuestos en el mercado de la construcción varían desde piezas para baños/bañeras y claraboyas, hasta paneles decorativos, paneles para muros cortina y materiales de fachadas (entre otros). Estos materiales son ideales para su uso en el mercado de la construcción por la estabilidad dimensional, alta durabilidad, ligereza, resistencia al impacto, baja inflamabilidad que poseen y la facilidad de montaje y durabilidad hace que los materiales compuestos, dentro de este campo encuentren cada vez más aplicaciones. Además los MC permiten, mediante una adecuada elección de resinas y aditivos, una alta flexibilidad en el diseño Gómez y otros (1989, 91, 94, 2002, 04). Los MC forman parte de todos los mercados gracias a la gran diversidad de propiedades que pueden aportar, como en plataformas para trabajos

en altura, líneas de alto voltaje, tanques de combustible de fibra de vidrio altamente resistente a la corrosión, etc.

Desarrollo de Nuevas Aplicaciones Para satisfacer las exigencias tecnológicas y económicas más diversas están:

- **Polímeros inteligentes.** Para ofrecer propiedades específicas a los materiales de construcción: antibacterias, autolimpiantes, con capacidad de almacenamiento de energía, con fotoactividad térmica.
- Aplicación de **nanotecnología** a polímeros. Nuevas formulaciones de nanocomposites para construcción.
- Modificación **química superficial** mediante polimerización insitu.
- Protectores externos de los materiales de construcción, hidrofugantes, anticorrosión, antidegradantes, protectores térmicos, antibacterias, antidesgaste, etc.
- Polímeros de **alta resistencia a la llama** para materiales de construcción
- **Química verde**. Nuevos retos en **sostenibilidad** de polímeros para construcción.
- Modificación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales de construcción como son **refuerzo**, **tenacidad**, **elasticidad**, **flexibilidad**, **ligereza**, mediante la incorporación de polímeros.
- Utilización de **materiales reciclados poliméricos** procedentes de empresas gestoras de **residuos** en las formulaciones de diferentes materiales y productos de construcción (hormigones, yesos, paneles aislantes acústicos, mármol artificial, recubrimientos, etc.).

Con esta idea del estado del arte de los polímeros en la construcción sólo nos queda incorporar y desarrollar el objetivo del presente trabajo que pretende resumir las experiencias del empleo de resinas furanoepoxídicas FAM en morteros y hormigones plásticos de alta resistencia térmica y química, además de los resultados alcanzados en sistemas de monómeros furano epoxídicos en base a agua, para la protección en primer y segundo nivel de morteros y hormigones estructurales base cemento Portland y su orientación sobre los beneficios de estas aplicaciones dentro de la industria azucarera.

II.- MATERIALES Y METODOS

Para la síntesis de la resina FAM y de la Solución de Monómeros SM (ver Figura 1), se empleó furfural de grado técnico recién destilado, acetona de grado reactivo y diglicil éter del bisfenol A de grado técnico.

Figura 1

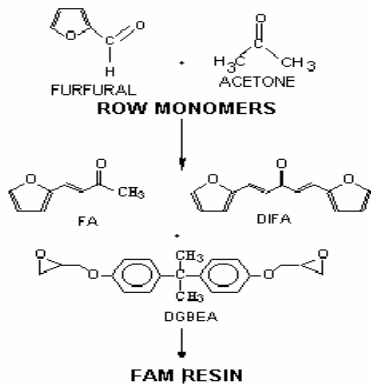


Tabla I. Propiedades de la Resina FAM

PROPIEDAD	FAM
Viscosidad (cp)	3804.2
Densidad (g/cm^3)	1.18
Peso seco (%)	73.29
Tiempo vida (min.)	43
PH	6.2
Furfural libre (%)	3.7 - 3.8

Tabla II. Propiedades de la Solución Monómeros (SM)

PROPIEDAD	SM
% Φ (Furfural libre)	2,34
% MFA (Monofurfurilidenacetona)	18,92
% DIFA (Difurfurilidenacetona)	13,32
% MFE (Monómero Furanoepoxídico)	25,46
% PS	60,84
T. Vida (min)	265,00
pH	9,20

Materiales en las formulaciones de morteros y hormigones:

- ✓ Resina FA. Resina desarrollada y producida en el ICIDCA.
- ✓ Resina FAM. Resina desarrollada y producida en el ICIDCA.
- ✓ Alcohol Furfurílico de Grado técnico, destilado antes de emplearlo.
- ✓ Alcohol Etílico de Grado A
- ✓ FURAL-Ri 1001 Grado Comercial
- ✓ FURAL-Rr 1001 Grado Comercial
- ✓ Arena de sílice de granulometría estándar y 96 a 98 % de pureza
- ✓ Talco industrial
- ✓ Grafito de Grado Técnico
- ✓ Pigmentos comerciales para resinas epoxy.
- ✓ Aerosil.
- ✓ Pigmentos inorgánicos comerciales.
- ✓ Endurecedor HY-943.
- ✓ Pintura de vinil "Vitral" para exteriores
- ✓ Manta o velo de fibras de poliéster de Grado Comercial
- ✓ Cemento Portland 450
- ✓ Arena del yacimiento de Victoria II
- ✓ Zeolita de granulometría estándar.

Reticulante de las matrices poliméricas en las formulaciones de recubrimiento, morteros y hormigones:

Poliamina alifática comercial HY-943 de la Ciba

Endurecedor HY-20S (poliamina alifática modificada con sacarosa, Tecnología ICIDCA, Patente 23700/2011).

Tabla III. Propiedades del Fural Ri – 1001 y FURAL-Rr 1001

Propiedades	FURAL-Ri 1001	FURAL-Rr 1001
Relación de mezclado en peso (resina/endurecedor)	5:1	5:1
Relación de mezclado en volumen (resina/endurecedor)	4:1	4:1
Temperatura de aplicación (ºC)	15 - 40	15 - 40
Tiempo de fraguado (h)	24	24
Tiempo útil de aplicación (minutos)	25 – 50	25 – 50
Tiempo de almacenamiento a Temp. Ambiente (años)	2	2
Máxima Temperatura que resiste (ºC)	150	150
Mínima Temperatura que resiste (ºC)	- 20	- 30
Densidad (g/cm^3)	1.11 – 1.13	1.13 – 1.6
Viscosidad (cPs)	100 - 200	2000 - 6000
Resist. a la Flexión MPa [mortero]	------	30 – 70 [10 - 15]
Resist. a la Tracción MPa [mortero]	------	10 – 15 [5 – 8]
Resist. a la Compresión MPa [mortero]	------	5 – 10 [40 – 60]
Adherencia (MPa) [mortero]	45 - 50	4.5 – 5.0 [>40.0]
Rendimiento kg/m^2 x 1 mm de espesor	0.6 – 0.8	0.7 – 1.3 [2 – 3]
Valoración en Talleres por su laboriosidad	Excelente	Excelente

Tabla IV. Propiedades de granulometría de la Arena Victoria II

Tamiz (mm)	Granulometría					
	Arena Victoria		Tamizada por No. 4		Tamizada por No. 8	
	(%) Ret.	% pasado	(%) Ret.	% pasado	(%) Ret.	% pasado
9.52	0.22	99.7	0	100	0	100
4.76	10.32	89.68	0	100	0	100
2.38	39.11	60.89	15.1	84.9	0.19	99.81
1.19	70.69	29.31	49.0	51.0	38.22	61.78
0.59	86.51	13.49	76.9	3.0	75.4	24.6
0.297	95.96	4.04	95.5	4.4	96.0	4.0
0.159	97.75	2.25	97.9	2.1	98.0	2.0
Fondo	100	0	100	0	100	0
T. Max (mm)	4.76		4,76		2.38	
M.F.	4.0		3.34		3.07	

Tabla V. Propiedades físicas de la Arena Victoria II

Ensayos	RESULTADOS
Material más fino que le tamiz №200 (%)	6.7
Peso específico Corriente	2.49
Peso específico saturado sin humedad superficial	2.58
Peso específico aparente	2.68
Porciento de absorción (%)	2.45
Peso unitario suelto (kg. /m³)	1302
Peso unitario compactado (kg. /m³)	1345
Porciento de vacío de la arena (%)	43.0
Humedad superficial (%)	0.00

Tabla VI. Caracterización del Cemento

ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS	RESULTADOS
Superficie Específica (Blaine) (cm.²/g)	3420
Finura de molido -Malla de 90 micra (%)	98.4
Resistencia a compresión 3 días (MPa)	31.2
Resistencia a compresión 7 días (MPa)	36.4
Resistencia a compresión 28 días(MPa)	43.6
Tiempo de fraguado Inicial / Final (minutos)	80
Expansión (mm)	1.2
ENSAYOS QUÍMICOS (%)	
Dióxido de Silicio	19.83
Oxido de Aluminio	5.69
Oxido de Hierro	2.71
Oxido de Calcio	63.24
Oxido de Magnesio	1.39
Trióxido de Azufre	3.18
Oxido de Potasio	0.79
Pérdidas por Ignición	3.15
Residuo Insolubles	1.47
Cal Libre	1.2

En el estudio de aplicación de SM en la protección de primer y segundo nivel de morteros y hormigones estructurales se siguieron los procedimientos:

Como parte de la colaboración entre el "Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar-ICIDCA" y el Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical – CECAT, se decidió trabajar en el desarrollo y aplicaciones de polímeros en la construcción y evaluar las prestaciones que le confieren a morteros de base cemento algunos de los productos de base furánica creados en el ICIDCA. Los intereses estuvieron dirigidos al empleo de los productos furánicos como Protección Primaria, como Protección Secundaria (pintura) y en la combinación de Protección Primaria y Secundaria de morteros. Se empleó como adición polimérica la Resina FAM o la Solución de Monómeros SM de naturaleza Furano Epoxídica sustituyendo el 5 y 10 % del peso del cemento. La Protección Secundaria se realizó con el producto Fural Ri- 1001.

Los instrumentos y equipos utilizados fueron los del laboratorio del Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT) perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil de la CUJAE, Centro de Servicios Técnicos de Ingeniería y Tecnología de la Construcción (CITEC), perteneciente a la Unión de Construcciones Militares (UCM) y el Laboratorio Central del Cemento perteneciente al Grupo Empresarial del Cemento y el Vidrio (CEMVID).

En los datos que corresponden al estudio se tuvo en cuenta, la Fluidez, Densidad Aparente del mortero fresco, Densidad seca, Resistividad Eléctrica, Velocidad de Ultrasonido, Resistencias Mecánicas (resistencia a flexo - tracción y resistencia a compresión) para las edades 3, 7, 28, 63 y 91. La Absorción Capilar del mortero endurecido para las edades 28 y 91 días.

Caracterización de los morteros

Se realiza la caracterización de los morteros en Estado Fresco y Endurecido, ensayos destructivos y no destructivos, basados en normas cubanas que hemos utilizado para la realización de este trabajo.
Ensayos en el Estado Fresco: Consistencia en la mesa de sacudidas, NC TS 363-3:2004 y Densidad aparente del mortero fresco, NC 601:2008.

Ensayos en el Estado Endurecido: Resistividad eléctrica, Velocidad de ultrasonido NC 231:2002, Densidad seca NC EN 1015-10:2008, Absorción Capilar NC 171: 2002, Resistencias mecánicas (resistencia a flexo - tracción y resistencia a compresión).

Los ensayos físico mecánicos se realizaron en una prensa de marca CONTROLS, modelo Automaz 5. La misma es un equipo moderno que controla automáticamente la velocidad de aplicación de la carga.

Para realizar el ensayo de resistencia flexotracción el gradiente utilizado fue de 50 N/s y la sensibilidad es de 0.2 kN. Para el ensayo de Resistencia a Compresión el gradiente utilizado fue de 2400 N/s y sensibilidad de 4 kN. Los resultados se obtuvieron directamente en unidades de MPa.

Los ensayos realizados a los morteros de Consistencia, Densidad, Resistividad Eléctrica y Absorción Capilar fueron realizados en el Laboratorio del Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT) perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil en la CUJAE. Los ensayos realizados a los morteros de Resistencias Mecánicas y Velocidad de Ultrasonido, se realizaron en el laboratorio del Centro de Servicios Técnicos de Ingeniería y Tecnología de la Construcción (CITEC).

Dosificación de morteros

El diseño de las dosificaciones para este trabajo se realizó teniendo en cuenta la Humedad Superficial de la arena y su Absorción Efectiva. El endurecedor para la resina y monómero con rango de 1,6 g por cada 10 g de resina o monómero y el resto de las propiedades de cada uno de los materiales a utilizar**:**
Se utilizan morteros patrones de las Normas ASTM y UNE, con dosificaciones (cemento : arena : agua/ cemento): ASTM **1: 2,75: 0,484** UNE **1: 3: 0,5**

Las probetas para la Protección Secundaria se elaboran con dosificaciones de morteros patrones.
Para las probetas que se les aplicará la combinación de Protección Primaria y Secundaria, se elaborarán los morteros como de Protección Primaria y a las 24 horas, una vez desmoldadas, se les aplica la Protección Secundaria, realizando los ensayos según las distintas edades.

Tabla VII. Dosificaciones calculadas

Mortero	Dosificación					
	Cemento	Arena	Agua	Resina	Monómero	Aditivo
	(g)	(g)	(ml)	(g)	(g)	(g)
Patrón 1- ASTM	500	1375	242	-	-	7.5
Patrón 2 - UNE	450	1350	225	-	-	6.5
Resina 5% (M1R5)	475	1375	242	25	-	-
Resina 10% (M2R10)	450	1375	242	50	-	-
Monómero 5% (M3M5)	475	1375	231.3	-	25	-
Monómero 10% (M4M10)	450	1375	220.6	-	50	-

El curado de las probetas se realizó en los depósitos de curado del Laboratorio del Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CECAT) perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil del ISPJAE.

III.- DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Composiciones poliméricas furánicas. Aplicaciones y resultados

- Sistemas de recubrimientos y/o morteros anticorrosivos para aplicar en superficies, o para pegar losas antiácidas.

Se han desarrollado composiciones poliméricas basándose en resinas Furfural - Acetona (FA), para la elaboración de morteros y hormigones anticorrosivos, así como la colocación y sellado de losas antiácidas, en el revestimiento de canales, pisos y paredes, así como cemento de juntas de tuberías de barro vitrificado.

Estos productos dentro de la industria azucarera tienen aplicación en:

Pisos de almacenamiento de azúcar a granel., área de tratamiento de agua, bases de bomba de guarapo clarificado, cachaza, así como en las áreas expuestas a derrames de mieles, crudos, productos químicos, etc. En la industria de los Derivados en los patios de almacenamiento de bagazo, en los canales de desagüe y residuales, plantas de tratamiento residual, en los reactores de biogas, etc. Las propiedades de estas composiciones poliméricas aparecen en la Tabla VIII.

Tabla VIII. Propiedades de los recubrimientos y morteros anticorrosivos furánicos

Propiedad	Hormigón	Mortero	Masilla	Cemento
Densidad g/cm^3	2,1-2,4	1,8 - 2,0	1,6 - 2,0	1,8 - 2,0
R.Compresión MPa	50 – 70	70 – 80	100- 120	60 - 80
R.Tracción MPa	4 – 5	6 – 7	10 – 12	6 - 7
R.Flexión MPa	12 – 14	20 – 30	30 – 35	18 - 20
R.Térmica °C. (Martens)	250-300	250-300	250-300	250-300

- Losas antiácidas y de alta resistencia al ambiente salino

A partir de resinas FA y FAM se obtienen composiciones para la fabricación de losas, ladrillos y bloques, con las dimensiones y formas que se requieran, pudiendo estar las mismas reforzadas con refuerzos metálicos o fibrosos.

Estos productos dentro de la industria azucarera tienen aplicación en:
Son útiles para pisos, revestimientos de depósitos de hormigón, conductos, canales etc. Estas losas pueden colocarse con los morteros y cementos antiácidos convencionales, incluido por supuesto los furánicos. Sus propiedades físico-mecánicas se reportan en la Tabla IX.

Tabla IX. Propiedades de las losas antiácidas.

Propiedad	Losas
Densidad g/cm ^{3}	1,7 - 2,0
R.Compresión MPa	60 – 90
R.Tracción MPa	5 – 8
R.Flexión MPa	15 – 25
R.Térmica ^{o}C.(Martens)	250-300

En la Figura 2 se muestran losas lisas y antiresbalantes.

Figura 2 Muestras de losas Furánicas

- Cementos Antiácidos Furílicos (CAF) de alta resistencia térmica.
Cemento de tres componentes apropiado para la colocación de losas y sellaje en zonas de reacción o depósitos de productos químicos almacenados a temperaturas. Es muy resistente a la temperatura, pierde sólo el 2,8 % de su peso a 400 ºC, mientras que sus similares de importación, ESSAR BLACK, RESARCID-F y otros, pierden más del 10 % de sus pesos.

Estos productos dentro de la industria azucarera tienen aplicación en:
Pueden aplicarse en la colocación de losas y ladrillos antiácidos, ladrillos refractarios para el área de calderas, etc. Sus propiedades físico-mecánicas aparecen en la Tabla X.

Tabla X. Propiedades del cemento furílico CAF

Densidad g/cm^3	**1,6 - 2,0**
R. Compresión MPa	**48**
R. Flexión MPa	**28**
R. Térmica ºC (Martens)	**< 400**
Adherencia al hormigón Mpa	**2,5**

- Protección de pisos
Estas aplicaciones llevan las más recientes 10 años, pero todas se encuentran en perfecto estado técnico y cumpliendo en su totalidad la función de protección química e impermeabilización. Hasta la fecha no se ha recibido quejas por parte de ninguno de los usuarios y si sus avales de conformidad.

Figura 3. Protección de pisos, cubiertas transitables / no transitables y depósitos de hormigón.

Figura 4. Pisos para neveras comerciales de conservación y congelación.

Las propiedades de los testigos de estos recubrimientos cumplen con los normados para estas aplicaciones:

Propiedad	**Valor Normado**	**Valor Real**
Resist. a la Flexión MPa [mortero]	**30 – 70 [10 - 15]**	**40 [12]**
Resist. a la Tracción MPa [mortero]	**10 – 15 [5 – 8]**	**12 [6]**
Resist. a la Compresión MPa [mortero]	**5 – 10 [40 – 60]**	**6 [55]**
Adherencia (MPa) [mortero]	**4.5 – 5.0 [>40.0]**	**5 [45]**
Rendimiento kg/m^2x 1 mm de espesor	**0.7 – 1.3 [2 – 3]**	**0.9 [2]**

Estos productos dentro de la industria azucarera tienen aplicación en:
Pisos de almacenamiento de azúcar a granel., área de tratamiento de agua, bases de bomba de guarapo clarificado, cachaza, así como en las áreas expuestas a derrames de mieles, crudos, productos químicos, etc. En la industria de los Derivados en los patios de almacenamiento de bagazo, en los canales de desagüe y residuales, plantas de tratamiento residual, pisos de neveras, etc.

Figura 5. Recubrimientos anticorrosivos en forma de morteros y/o revestimientos Cisternas de neutralización, de enfriamiento, depósitos de combustible.

Efecto económico total en las aplicaciones realizadas:
Se generalizaron las aplicaciones en la protección de pisos, de depósitos de hormigón y de terrazas y cubiertas transitables, con la protección de 11563 m^2 de superficie, que cuentan con 10 años de realizadas y en servicio.

Sólo por la compra de productos importados el país habría gastado $ 328 000.00, por aplicarlos $ 194 000.00, o sea un Total de $ 522 000.00. Las aplicaciones realizadas con los productos desarrollados en el país no superaron los $ 283 000.00, por lo que **se ahorró $ 239 000.00** en las mismas, contando además que este pago incluye la Asistencia Técnica y la Atención de Post Venta.

Resultados en la protección de primer y segundo nivel de morteros y hormigones estructurales:
En este acápite se muestran las medias de las propiedades físico-mecánicas de las distintas dosificaciones de morteros ensayadas, en Protección Primaria y Protección Secundaria. Las edades abarcan entre los 3 y los 91 días. Además se muestran los valores de los morteros patrones para su comparación con los diseñados con resina y monómero.

Protección Primaria. En Estado Fresco
En estado fresco se realizaron los ensayos de fluidez reportados en la Tabla XI, puede observarse que los valores de las dosificaciones estudiadas son similares a los patrones.

Tabla XI. Resúmenes de los ensayos de la fluidez

	DOSIFICACIONES					
DÍAS	**MP -ASTM**	**MP - UNE**	**M1- R5**	**M2 -R10**	**M3-M5**	**M4-M10**
3	17,6	18,4	17,9	18,1	18,0	18,3
7	17,8	18,5	18,0	18,2	18,1	18,5
28	17,5	18,3	17,7	18,0	17,9	18,2
63	17,6	18,3	17,8	17,9	18,0	18,3
91	17,5	18,2	17,9	18,1	18,1	18,3
Promedio	17,6	18,3	17,9	18.1	18,0	18,3

Protección Primaria. En Estado Endurecido

En la tabla XII se exponen los valores medios de los ensayos de Densidad, Resistividad Eléctrica, Velocidad de Ultrasonido, Resistencia a Flexo tracción y Resistencia a Compresión a las edades de 3, 7, 28, 63 y 91 días. Además se muestran los valores medios de ensayos de Absorción Capilar a los 28 y 91 días.

Tabla XII. Resumen de las Propiedades en Estado Endurecido

PROPIEDADES	DÍAS		DOSIFICACIONES					
			MP ASTM	MP UNE	M1 R5	M2 R10	M3 M5	M4 M10
DENSIDAD (g/cm³)	3		2.13	2.12	2.19	2.15	2.17	2.13
	7		2.17	2.17	2.17	2.18	2.18	2.17
	28		2.18	2.18	2.19	2.17	2.26	2.19
	63		2.22	2.20	2.19	2.18	2.20	2.19
	91		2.22	2.17	2.20	2.18	2.20	2.18
RESISTIVIDAD (KΩ.cm)	3		13.45	14.23	13.08	12.35	12.62	12.12
	7		19.58	18.16	23.53	21.71	20.03	21.33
	28		26.78	26.38	27.30	29.33	34.81	29.82
	63		32.58	34.83	35.38	42.03	35.92	43.83
	91		44.98	44.09	48.70	55.16	43.54	54.38
VELOCIDAD ULTRASONIDO (m/s)	3		3447	3487	3556	3296	3426	3209
	28		3779	3807	3718	3584	3896	3754
	63		3972	3917	3893	3770	3913	3812
	91		4052	3920	3931	3860	3947	3947
RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN (MPa)	3		4.40	4.21	4.60	3.46	3.99	3.35
	7		13.46	14.07	9.58	10.73	9.91	10.65
	28		18.90	18.81	18.20	14.90	23.09	17.70
	63		18,80	18,70	19,35	15,20	23,15	18,70
	91		19,83	19,1	19,32	15,34	24.57	19,80
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	3		21.0	18.1	20.2	14.6	19.1	12.8
	7		27.42	23.85	16.84	16.40	19.89	14.90
	28		36.78	34.98	32.77	27.93	33.52	32.10
	63		44.52	41.78	38.75	32.19	38.93	33.66
	91		44.54	41.57	39.71	33.67	40.71	37.74
ABSORCIÓN CAPILAR (g/cm²)	28	1 m.	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
		3 m.	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
		5 m.	0.07	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04
		10 m.	0.12	0.07	0.03	0.03	0.04	0.05
		30 m.	0.14	0.14	0.15	0.07	0.11	0.06
		24 h.	0.36	0.32	0.20	0.15	0.17	0.20
		48 h.	0.46	0.41	0.21	0.22	0.24	0.23
		72 h.	0.52	0.47	0.25	0.27	0.28	0.25

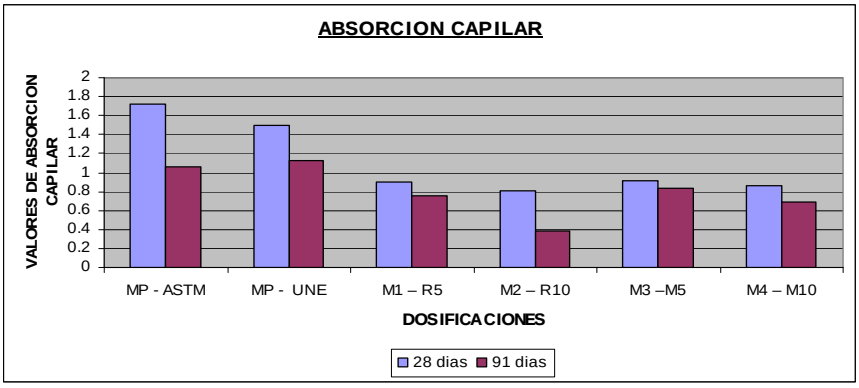
		1 m.	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
		3 m.	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02
		5 m.	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.03
		30 m.	0.05	0.06	0.04	0.02	0.03	0.06
	91	24 h.	0.13	0.14	0.09	0.05	0.10	0.09
		48 h.	0.17	0.17	0.12	0.06	0.13	0.10
		72 h.	0.19	0.19	0.13	0.06	0.14	0.11
		5 d.	0.22	0.22	0.14	0.08	0.18	0.13
		7 d.	0.24	0.26	0.16	0.09	0.22	0.14

Los resultados de las medias de los ensayos de Densidad están entre 2120 y 2200 Kg/m³, catalogados como normales y siendo prácticamente iguales a los morteros patrones. Las medias de los ensayos de Resistividad Eléctrica son más altas según aumentan las edades de las probetas. A los 28 días el mejor resultado es la sustitución de cemento por Monómero al 5 %. Los valores de las medias de los ensayos de las ondas de Velocidad de Ultrasonido, que demuestra la homogeneidad de las mezclas, están en el rango entre 3209 y 3947 m/s, aumentando según aumenta las edades.

Las medias de los resultados de los ensayos de Resistencia a Flexo tracción aumentan según el avance de las edades ensayadas. La dosificación con mejores resultados a los 28 días es la sustitución de cemento por Monómero al 5 %. Con respecto a los morteros patrones**:** A los 28 días la sustitución con Monómero al 5 % está por encima y el resto por debajo.

Los resultados de las medias de los ensayos de Resistencia a Compresión demuestran que la dosificación con mejores resultados a los 28 y 91 días es la sustitución del cemento por Monómero al 5 %.
En los resultados de las medias de los ensayos de Absorción Capilar a los 28 y 91 días, la dosificación donde se sustituye el cemento por resina al 10% es la de menor Absorción Capilar, fundamentalmente a los 91 días. Con respecto a los morteros patrones: El 90 % de las dosificaciones tienen menor Absorción Capilar que los morteros patrones. El 9 % son iguales y solo uno es superior en 0,01 g/cm². Estos resultados se aprecian mejor en la siguiente Figura 6.

Figura 6. Gráfico de Resultados de Absorción Capilar



Protección Secundaria. En Estado Fresco

Los ensayos de Fluidez (Consistencia) se realizaron para verificar la uniformidad de los morteros. Se utilizaron las dosificaciones de patrón ASTM para realizar la Protección sin curado en agua. En las probetas curadas las dosificaciones patrones fueron tanto ASTM como UNE con 1 y 2 manos de protección.

Protección Secundaria. En Estado Endurecido

En las tablas siguientes se exponen los valores medios de los ensayos de Densidad, Resistividad, Velocidad de Ultrasonido, Resistencia a Flexo tracción y Resistencia a Compresión a las edades de 3, 7 y 28 días. Se presentan en la Tabla XIII los ensayos de las probetas sin curar en agua. En la Tabla XIV se muestran los valores de los ensayos habiendo realizado el curado de las probetas antes de aplicar la Protección Secundaria según cada edad ensayada.

Tabla XIII. Resumen de las propiedades en Estado Endurecido (sin curado en agua)

PROPIEDADES	DÍAS	DOSIFICACIONES			
		MP ASTM	MP UNE	MP ASTM-1m	MP ASTM-2m
DENSIDAD (g/cm^3)	3	2.13	2.12	2.11	2.12
	7	2.17	2.17	2.01	1.96
	28	2.18	2.18	1.97	1.96
RESISTIVIDAD (KΩ.cm)	3	13.45	14.23	18.06	16.18
	28	26.78	26.38	126.77	106.82
VELOCIDAD ULTRASONIDO (m/s)	3	3447	3487	3156	3201
	7	3486	3522	3072	3082
	28	3779	3807	3016	3072
RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN (MPa)	3	4.40	4.21	4.09	4.11
	7	13.46	14.07	11.34	12.47
	28	18.90	18.81	17.33	18.56
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	3	21.0	18.1	17.15	17.5
	7	27.42	23.85	18.84	17.03
	28	36.78	34.98	18.79	21.16

Los resultados de las medias de los ensayos de Densidad sin curar en agua son similares a los patrones, algo inferior a los 28 días con el recubrimiento de 1 y 2 manos. Las medias de los ensayos de Resistividad Eléctrica en las probetas se obtuvieron resultados por encima de los valores de los morteros patrones.
Los valores de las medias de los ensayos de las ondas de Velocidad de Ultrasonido presentan valores de Velocidades de Ultrasonido similares a los morteros patrones.

Las medias de los resultados de los ensayos de Resistencia a Flexo Tracción de las probetas que no se curaron antes de aplicarle la Protección Secundaria similares que los morteros patrones en todas las edades ensayadas. Los resultados de las medias de los ensayos de Resistencia a Compresión tienen en general resultados algo inferiores, resultando los mejores valores al aplicar 2 manos de protección.

Tabla XIV. Resumen de las propiedades en Estado Endurecido (curadas en agua)

PROPIEDADES	DÍAS	MP ASTM	MP UNE	ASTM 1m	ASTM 2M
DENSIDAD (g/cm³)	**3**	2.10	2.10	2.12	2.11
	7	2.12	2.13	2.12	2.11
	28	2.12	2.15	2.14	2.13
RESISTIVIDAD (KΩ.cm)	**3**	25.20	25.92	25.54	25.52
	7	21.93	28.61	26.14	25.29
	28	34.71	29.53	31.18	28.53
VELOCIDAD ULTRASONIDO (m/s)	**3**	3272	3300	3295	3260
	7	3534	3564	3599	3556
	28	3724	3710	3704	3683
RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN (MPa)	**3**	3.95	3.74	4.66	5.05
	7	5.38	4.46	5.94	5.64
	28	4.92	6.93	7.69	7.63
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	**3**	21.51	20.68	23.06	19.54
	7	23.87	27.83	26.30	24.01
	28	33.86	36.58	30.21	29.06

Para las probetas curadas en agua los resultados de las medias de los ensayos de Densidad son similares a los patrones. Las medias de los ensayos de Resistividad Eléctrica en las probetas se obtuvieron resultados por encima de los valores de los morteros patrones a los 3 y 7 días con morteros ASTM. Los valores de las medias de los ensayos de las ondas de Velocidad de Ultrasonido presentan valores de Velocidades de Ultrasonido muy cercanas o superiores a los morteros patrones. Las medias de los ensayos de Resistividad Eléctrica en las probetas se obtuvieron resultados por encima de los valores de los morteros patrones a los 3 y 7 días con morteros ASTM

Las medias de los resultados de los ensayos de Resistencia a Flexo Tracción de las probetas que se curaron antes de aplicarle la Protección Secundaria son más altos que los morteros patrones en todas las edades ensayadas. Los resultados de las medias de los ensayos de Resistencia a Compresión tienen en general mejores resultados al aplicar 2 manos de protección.

Estos productos dentro de la industria azucarera tienen aplicación en:
En todas las construcciones que requieran de morteros y hormigones estructurales base cemento Portland de menor capilaridad, o sea de mayor impermeabilidad y de mayor resistencia mecánica. Puede generalizarse a obras en base a ferro cemento para la construcción de cisternas u otro tipo de depósitos.

IV CONCLUSIONES

Composiciones poliméricas furánicas. Aplicaciones y resultados

1. Se han desarrollado y aplicado composiciones poliméricas furánicas, para la elaboración de morteros y hormigones anticorrosivos, losas, cemento antiácido y masillas, con la protección de 11563 m^2 de superficie, que cuentan con 10 años de realizadas y en servicio, así como ahorro significativo por concepto de sustitución de importaciones y servicios técnicos.

2. Los morteros y hormigones anticorrosivos tienen dentro de la industria azucarera aplicación en pisos de almacenamiento de azúcar a granel, área de tratamiento de agua, depósitos, pisos de neveras, bases de bomba de guarapo clarificado, cachaza, así como en las áreas expuestas a derrames de mieles, crudos, productos químicos, etc. En la industria de los Derivados en los patios de almacenamiento de bagazo, en los canales de desagüe y residuales, plantas de tratamiento residual, en los reactores de biogas, etc.

En la protección de primer y segundo nivel de morteros y hormigones estructurales:

Protección Primaria

1. Las medias de los resultados de los ensayos de Resistencia a Flexo tracción aumentan según el avance de las edades ensayadas. La dosificación con mejores resultados a los 28 días es la sustitución de cemento por Monómero al 5 %. Con respecto a los morteros patrones: A los 28 días la sustitución con Monómero al 5 % está por encima y el resto por debajo.
2. Los resultados de las medias de los ensayos de Resistencia a Compresión demuestran que la dosificación con mejores resultados a los 28 y 91 días es la sustitución del cemento por Monómero al 5 %.Los morteros con sustitución de resina y monómero de base furano epoxídica tienen mayor Resistividad Eléctrica y menor Absorción Capilar, que los mismos, por lo que mejora su estructura de poros.
3. La dosificación ensayada con mejores resultados en las edades de 3,7, 28 y 91 días, es la sustitución del cemento por monómero de base furano-epoxídica al 5 %.

Protección Secundaria

1. Al aplicar 1 ó 2 capas de resina de base furano epoxídica, en forma de pintura mejoraron las propiedades de Densidad, Resistividad Eléctrica y Resistencia a Flexo Tracción.

   Estos productos para la protección de primer y segundo nivel de morteros y hormigones estructurales, dentro de la industria azucarera tienen aplicación en: todas las obras de construcción que requiera de morteros y hormigones estructurales base cemento Portland de menor capilaridad, o sea de mayor impermeabilidad y de mayor resistencia mecánica. Puede generalizarse a obras en base a ferro cemento para la construcción de cisternas u otro tipo de depósitos.

V REFERENCIAS

- 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 (1997). Protección de Depósitos con composiciones poliméricas furano – epoxídicas. (Cuba). LOGRO MINAZ.
- Gómez, A. y otros (2000). Polímeros para la Construcción. (Cuba). Libro de Resúmenes SLAP 2000, 10-C18, pág. 364.
- Gómez, A. y otros (2002). Estudio de Propiedades Mecánicas en Polímeros Furánicos. Aplicaciones. (Cuba). 17 Conferencia de Química de la Univ. De Oriente, IQ - P23, ISBN: 959-207-083-0.
- 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, 2004.
- 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.

- Guerra, M.; Gómez, A.; et. al. (2005); Estabilidad de las resinas furanoepoxídicas mediante espectrofotometría UV – Vis; Revista ICIDCA, Año 2005 volumen XXXIX
- Barahona, C.(2010), Tecnología de Polímeros y Adhesivos. Universidad de Valencia, España, 2010.
- Dieter Urban, Koichi Tkamura (2002), *Polymer Dispersions and Their Industrial Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2002
- Tipos de Recubrimientos. http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/tipos_rec.htm (Sept./2012)
- Recubrimientos Industriales. http://www.arquitex.com.mx/recubrimientos-industriales/ (Nov,/2012)
- Recubrimientos para tanques de almacenamiento. Inpra Latina, Enero-Febrero 2008 www. Inpralatina.com
- 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 (1994). Resinas furano-epoxídicas y su procedimiento de obtención. (Cuba). Patente de Invención No. 22 355.
- Gómez, A. y otros (2011) "Poliaminas alifáticas modificadas con sacarosa y su procedimiento de obtención". (Cuba). CERTIFICADO DE AUTOR DE INVENCION No. 23700, Junio 2011.

MATERIALES FURÁNICOS. DESARROLLO Y POTENCIALIDADES DENTRO DE LA INDUSTRIA AZUCARERA.

FURANIC MATERIALS. DEVELOPMENT AND POSSIBILITIES IN THE SUGAR INDUSTRY.

Andrés Gómez Estévez, Marianela Cordovés, Irma Ramos

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA, andres.gomez@icidca.edu.cu

RESUMEN

El empleo del bagazo como fuente renovable de polímeros y principios activos útiles en la industria y la agricultura, es una alternativa a favor del medio ambiente que permite prescindir de la petroquímica y elevar el potencial de utilización de la caña y de sus derivados. De 117 t de caña sembrada se generan 100 t de productos: 11 t de azúcar, 3 t miel final, 28 t de bagazo, 3 t de cachaza y el resto es residuos y cenizas. Con el bagazo se producen más de 2 t de furfural, materia prima para obtener polímeros y principios activos. Más de 40 años de experiencias acumuladas de grupos de trabajos dedicados a la síntesis y caracterización de compuestos orgánicos, en colaboración con centros de prestigio nacional e internacional, han permitido desarrollar polímeros furánicos con éxito en aplicaciones que sólo se realizaban con polímeros petroderivados. Sobre estas aplicaciones y su potencialidad dentro de la industria azucarera trata el trabajo, que brinda además un enfoque de diversificación nuevo, con la integración desde el bagazo hasta los materiales poliméricos para el mantenimiento y protección de la propia industria. Se ilustra el trabajo con ejemplos de estos productos y su aporte a la conservación del medio ambiente.

Palabras claves: Materiales furánicos, Aplicaciones, Bagazo, Fuente renovable, Industria Azucarera.

ABSTRACT

The bagasse, as renewable source of polymers and active elements usefulness to the industry and agriculture, is an environmentally friendly alternative that can be used in replacement of a petro chemical source though raising the sugar cane and its derivatives potentialities. From 117 ton of sugar cane it can be obtain 100 ton of different products such as 11 tons of sugar, 3 tons of molasses, 28 tons of bagasse, 3 tons of filter mud, ashes and residues. From bagasse, it is possible to produce 2 tons of furfuraldehide, the main raw material for obtaining furanic polymers. Furanic polymers had been successfully evaluated in many applications where only petroleum derivatives polymers were used. The objective of this paper is to look into these applications, their possibilities, and to present a new diversification approach for the sugar cane industry. Photos of the applications of cited products, as well as their contribution to the environment are included.

Key words: Furanic Materials, Applications, Bagasse, Renovable Source, Sugar industry.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los polímeros, productos farmacéuticos, y agroquímicos provienen de fuentes no renovables como la petroquímica sin embargo, productos similares pueden desarrollarse de fuentes renovables, como los que pueden obtenerse a partir de la química de los furanos, Dunlop (1953).
De la petroquímica se obtiene el benceno, sustancia cíclica de 6 átomos de carbono, aromática, de gran reactividad, producto inflamable, muy tóxico, cancerígeno, con serio daño para la salud por exposición prolongada sobre la piel, por inhalación o por ingestión, además requiere de instrucción especial para su uso según los reportes internacionales de peligrosidad de productos químicos que aparecen tanto en la etiqueta y el pasaporte del producto, como en los catálogos de oferta de productos químicos. De la petroquímica se obtienen las resinas epoxi, poliéster insaturado, fenólicas y otras, para aplicaciones de importancia en mantenimientos y protección de equipos.

El furfural, proveniente de una fuente renovable (ver Figura 1), se obtiene por la hidrólisis de las hemicelulosas contenidas en el bagazo y en su obtención se genera como residuo principal un sólido lignocelulósico, que puede emplearse para producir energía en las calderas del central. El furfural es una sustancia heterocíclica de 4 átomos de carbono y un oxigeno, con el grupo aldehído, que también es aromática, de gran reactividad, tóxica, que puede provocar daño por contacto con la piel, por inhalación prolongada o por ingestión.

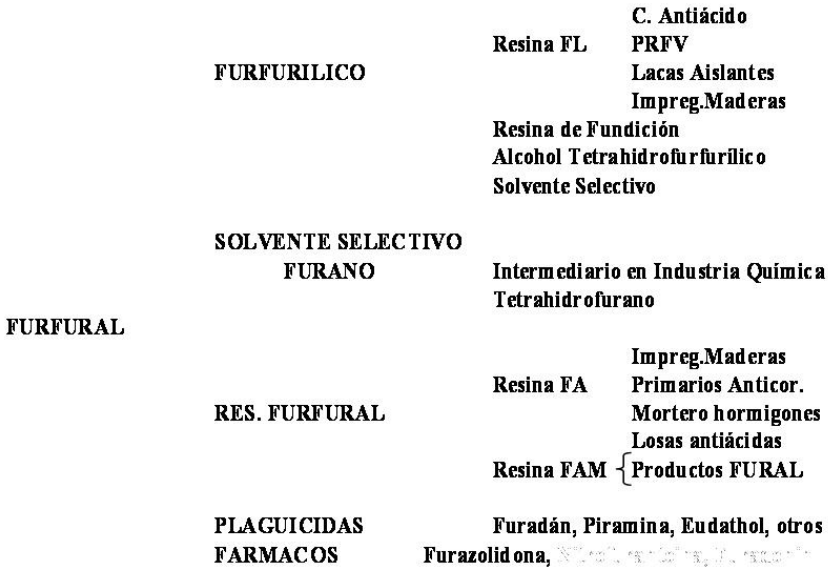
Figura 1. Furfural y esquemas de producción.

Del furfural se obtienen resinas furfural acetona (FA), furanoepoxídicas (FAM) y furílicas (FL), que se utilizan para aplicaciones similares a las de las resinas petroquímicas:

POLIMERO	FUENTE	APLICACIONES
EPOXY	PETROQUÍMICA	Masillas y hormigones plásticos, Plásticos Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV), adhesivos, pinturas y recubrimientos anticorrosivos, soldaduras metálicas en frío
FAM	IND.AZUCARERA	IDEM
POLIESTER	PETROQUÍMICA	PRFV
FL	IND.AZUCARERA	IDEM
FENOLICAS	PETROQUÍMICA	Resinas de fundición, adhesivos, PRFTextiles
FURÍLICAS	IND.AZUCARERA	IDEM

La presencia en la molécula de un anillo reactivo pentagonal con oxígeno y de un sistema de enlaces conjugados, hacen del furfural, una materia prima altamente cotizada por las facilidades de reacción y transformaciones que permite. Las aplicaciones más generalizadas del furfural, Manual de los Derivados (2000), se pueden observar en la Figura 2.

Figura 2. Aplicaciones del furfural



La posibilidad de obtener furfural a partir del bagazo de la caña de azúcar como fuente renovable, ha fundamentado las más de cuatro décadas de experiencias acumuladas de grupos de trabajos dedicados a la síntesis y caracterización de compuestos orgánicos (polímeros y principios activos), en colaboración con centros de prestigio nacional e internacional; estos compuestos, a partir del furfural, han sido reconocidos a través de publicaciones, eventos y patentes.

Los polímeros furánicos han sido evaluados con éxito en aplicaciones que sólo se realizaban con polímeros petroderivados. Una parte importante de las aplicaciones evaluadas se relacionan con los mantenimientos industriales en general y en la protección anticorrosiva en particular.

El Proceso de producción de los productos FURAL (Soldaduras metálicas en frío y Recubrimientos Especiales), desarrollados en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)**,** parte de la obtención de la resina furano-epoxídica (FAM) en un proceso discontinuo, por batch, en una síntesis de dos pasos que se realiza en un reactor provisto de calentamiento, agitación, sistema de enfriamiento, condensador a reflujo y destilación. La tecnología de producción está debidamente protegida y patentada, Gómez (1994). Otro Grupo de composiciones poliméricas y sus aplicaciones que se describen en este trabajo también están protegidas y patentadas por un Colectivo de Autores (1984, 1987, 1988, 1989).
La reacción química de obtención de la FAM no es contaminante ni genera residuales o gases tóxicos, el solvente empleado se recupera en el propio proceso, y es posteriormente utilizado para la limpieza de los equipos, por lo que este proceso no afecta ni contamina el medio ambiente. Al final del proceso de producción de 10 t de FAM quedan 6,12 m^3 de efluentes líquidos de bajo contenido de DQO.

Asimismo, en el proceso de producción de los diferentes productos FURAL, ya sean soldaduras metálicas en frío o los recubrimientos, no se generan residuos líquidos o sólidos contaminantes, por lo que todo el proceso de producción de la Línea es *NO CONTAMINANTE*.

En la actividad de mantenimiento correctivo y preventivo, se logran rehabilitar piezas y equipos que por desgastes, fracturas, pérdidas de dimensiones, etc. son reemplazadas por piezas nuevas, quedando para chatarra la pieza anterior**;** o sea, que por la pérdida, en ocasiones de gramos, que origina un desgaste se requiere de la extracción de recursos minerales y energéticos para producir la pieza nueva que se repone, acción que se evita al emplear las técnicas de recuperación con los productos FURAL, donde se recupera la pieza en uso devolviendo sus propiedades, alargando su vida útil, ahorrando dinero y cooperando a preservar los recursos del Planeta.

Por otra parte, el empleo de los productos FURAL en la actividad de mantenimiento correctivo y preventivo no requiere de talleres especializados, equipos, herramientas especiales o sofisticadas, ni del empleo de fuentes de energía para su aplicación, y elimina o disminuye el proceso de maquinado en la terminación o acabado de la pieza.

La industria azucarera es una gran consumidora de insumos en sus mantenimientos, , en que se reponen componentes, piezas incluso equipos completos, aspectos que incrementan los costos de producción. Una estrategia de mantenimiento que incluya nuevos productos desarrollados a partir de industria de los derivados de la caña de azúcar, puede beneficiar a la propia industria, no sólo por el valor agregado que los mismos puedan tener, sino también por lograr resultados de mayor calidad técnica y económica.

Entre los materiales cuya utilización se ha expandido en los últimos años, se encuentran los polímeros, que han traído múltiples ventajas entre las que se destacan, la disminución considerable de peso en piezas y máquinas, y el desarrollo de técnicas de mantenimiento y recuperación muy económicas. Grupo Científico Técnico de Recuperación de Piezas, CIME (1993).

Por otra parte, los recubrimientos especiales y las soldaduras metálicas en frío son productos que experimentan un crecimiento con respecto al año 2004 en las importaciones y exportaciones mundiales, Cordovés (2011). En la Tabla I y II se muestran con datos del 2004 – 2008 la tendencia de las importaciones y exportaciones en la región para los recubrimientos anticorrosivos. Estos datos fueron calculados por CCI, en base a estadísticas de COMTRADE.

Tabla I. Datos comerciales de importación.

IMPORTACIONES. Datos comerciales				
	Cantidad importada 2008 (t)	**Tasa de crecimiento anual en cantidad 2004-2008 (%)**	**Valor unitario Importación 2008 (USD/t)**	**Tasa de crecimiento anual en valor, 2004-2008 (%)**
Mundo	2 498 098	2	4 952	11
CUBA*	6 016	-2	3 282	12

*Los datos de de CUBA son datos espejo, basados en los de los países socios

Tabla II. Datos comerciales de exportación

EXPORTACIONES. Datos comerciales				
	Cantidad exportada 2008 (t)	**Tasa de crecimiento anual en cantidad 2004-2008 (%)**	**Valor unitario Exportación 2008 (USD/t)**	**Tasa de crecimiento anual en valor, 2004-2008 (%)**
Mundo	2 610 086	2	5 114	10
CUBA*	2	-	8 000	-

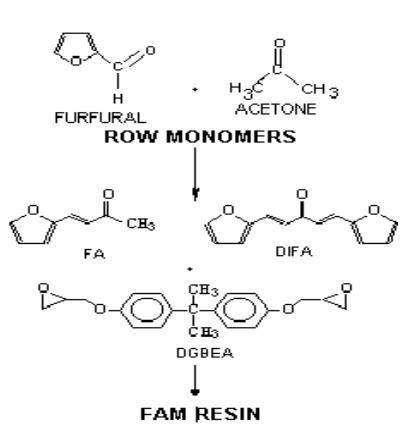
*Los datos de de CUBA son datos espejo, basados en los de los países socios

El objetivo de este trabajo es divulgar las experiencias alcanzadas en el desarrollo de composiciones poliméricas furánicas, empleadas en los mantenimientos como adhesivos estructurales, reacondicionamiento de piezas, recubrimientos anticorrosivos, impregnantes y protectores de madera, aplicaciones realizadas no sólo en la industria azucarera y sus derivados, sino también en otras esferas como el turismo, el transporte, etc. Se pretende brindar un Punto de Vista Nuevo de Diversificación de la Industria Azucarera, que permita ver el desarrollo productivo de estos productos y su integración dentro de la Industria Azucarera desde la caña, con beneficios económicos, medio ambientales y sociales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La obtención de la resina furano epoxídica y las composiciones poliméricas para recubrimientos especiales es de complejidad baja a media. El equipamiento requerido es convencional: reactor, mezcladoras, molinos de bola, dosificador, etc. El proceso completo no precisa de elevada automatización, ni de mano de obra altamente calificada ni numerosa, y se tiene bien definido el Sistema de Control de la Calidad para todo el proceso.

Figura 3. Síntesis y Propiedades de la Resina FAM



PROPIEDAD	FAM	s	cv
Viscosidad (cp)	3804.2	3.810	0.001
Densidad (g/cm3)	1.18	$1.16x10^{-4}$	$0.98x10^{-4}$
Peso seco (%)	73.29	1.992	0.027
Tiempo vida (min)	43	0.121	0.003
pH	6.2	0.100	0.016
Furfural libre (%)	3.7 - 3.8	0.120	0.032
FAc libre (%)	10 -11	0.022	0.002
F_2Ac libre (%)	9 - 12	0.132	0.012
R. Flexión (MPa)	35.3	6.121	0.173
R. Tracción (MPa)	13.2	2.545	0.205
R.Compres. (MPa)	52.6	2.658	0.050
Dureza (HB)	70.25	3.212	0.046

s – Desviación Standard cv – Coeficiente Variación

Las composiciones poliméricas elaboradas con las resinas FAM, pertenecen a la línea de soldaduras metálicas en frío y recubrimientos especiales FURAL, productos encaminados a satisfacer las necesidades del reacondicionamiento y/o recuperación de piezas durante las etapas de mantenimiento preventivo y correctivo.

FURAL-A	SOLDADURA METÁLICA EN FRIO DE ALUMINIO
FURAL-AA	SOLDADURA METÁLICA EN FRÍO DE ALUMINIO DE ALTA TENACIDAD
FURAL-B	SOLDADURA METÁLICA EN FRÍO DE BRONCE
FURAL-H	SOLDADURA METÁLICA EN FRÍO DE HIERRO
FURAL-Bono	MASILLA RESANADORA
FURAL-R	RECUBRIMIENTO ADHESIVO ANTICORROSIVO
FURAL-Ri	RECUBRIMIENTO IMPREGNANTE Y ACONDICIONADOR
FURAL-Ri1001	RECUBRIMIENTO IMPREGNANTE Y ACONDICIONADOR
FURAL-Ra	RECUBRIMIENTO PARA ENCAPSULADO Y AISLANTE ELÉCTRICO
FURAL-Rr	RECUBRIMIENTO PARA IMPERMEABILIZACIÓN, HERMETIZACIÓN Y PROTECCIÓN ANTICORROSIVA
FURAL-Rr1001	RECUBRIMIENTO PARA IMPERMEABILIZACIÓN, HERMETIZACIÓN Y PROTECCIÓN ANTICORROSIVA
PREMAD	IMPREGNANTE Y PROTECTOR DE MADERA DE ALTA RESISTENCIA QUÍMICA Y MECÁNICA
FURSOL	IMPREGNANTE Y PROTECTOR DE MADERA DE ALTA RESISTENCIA AL AGUA, HONGOS E INSECTOS.

La tecnología de recuperación de piezas por resinas (composiciones poliméricas), constituye uno de los métodos más sencillo y económico dentro del proceso por cuanto no requiere de equipamiento especializado, ni de grandes consumos de energía térmica o eléctrica, ni tampoco de personal muy calificado, ya que estos productos pueden ser aplicados en cualquier taller o local con el empleo de herramientas muy simples. *En sus aplicaciones no se generan RESIDUALES*.

Las posibilidades de aplicación de esta tecnología son:

- Como pegamento o adhesivo estructural
- Para la regeneración de partes perdidas
- La reconstrucción de piezas
- Sellado de cuerpos

- Protección anticorrosiva
- Protección antidesgaste

Tecnología de impregnación y protección de maderas
La tecnología de impregnación de madera, en general, consiste en tres etapas fundamentales:
- Preparación de la solución impregnante.
- Impregnación
- Tratamiento térmico.

En la primera etapa se prepara una solución homogénea en un tanque mezclador del catalizador y los otros componentes de la solución impregnante (FURSOL o PREMAD).

La segunda parte consiste en poner en contacto la solución impregnante con la madera en dos alternativas, bajo presión o a presión atmosférica, y así lograr una adecuada penetración en los poros y capilares de la madera.

Los pasos a seguir son los siguientes:
- La madera a tratar se introduce en el autoclave o cuba, el volumen que ocupe la madera no debe exceder las ¾ partes del volumen útil del autoclave o cuba.
- Después de terminada la impregnación se extrae la solución impregnante y la madera impregnada la que se deja escurrir por un periodo de 2-6 horas.
- La tercera etapa consiste en la polimerización de la resina dentro de los capilares y en la superficie de la madera mediante tratamiento térmico adecuado.
- La madera escurrida se coloca en una estufa de tamaño adecuado o cámara térmica donde se somete a un tratamiento de 4 horas a 80-100ºC y posteriormente se extrae la madera ya tratada y lista.
- También se puede exponer al sol cuando no se requiera de un curado rápido de la madera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo y utilización de los polímeros furánicos está sujeto al propio desarrollo de la industria azucarera, ya que sus principales materias primas se obtienen de sus derivados, así como del grado de generalización y demanda que puedan alcanzar. A continuación relacionaremos las aplicaciones que mayores resultados han alcanzado dentro de nuestra economía, con AVALES DE USO dentro de la Industria Farmacéutica, Industria del Níquel, Industria Azucarera, Construcción, Turismo, Industria Básica, Transportes, Pesca, Sidero-Mecánica y otras. Colectivo de autores (1992 al 2009).

Composiciones poliméricas furánicas. Aplicaciones y resultados
- Sistemas de recubrimientos y/o morteros anticorrosivos para aplicar en superficies, o para pegar losas antiácidas.
Se han desarrollado composiciones poliméricas basándose en resinas Furfural - Acetona (FA), para la elaboración de morteros y hormigones anticorrosivos, así como la colocación y sellado de losas antiácidas, en el revestimiento de canales, pisos y paredes, así como cemento de juntas de tuberías de barro vitrificado.

Estos productos dentro de la industria azucarera tienen aplicación en:
Pisos de almacenamiento de azúcar a granel, área de tratamiento de agua, bases de bomba de guarapo clarificado, cachaza, así como en las áreas expuestas a derrames de mieles, crudos, productos químicos, etc. En la industria de los d**e**rivados se aplican en los patios de almacenamiento de bagazo, en los canales de desagüe y residuales, plantas de tratamiento de residuales, en los reactores de biogás, etc. Las propiedades de estas composiciones poliméricas aparecen en la Tabla III.

Tabla III. Propiedades de los recubrimientos y morteros anticorrosivos furánicos

Propiedad	Hormigón	Mortero	Masilla	Cemento
Densidad g/cm^3	2,1-2,4	1,8 - 2,0	1,6 - 2,0	1,8 - 2,0
R.Compresión MPa	50 – 70	70 – 80	100- 120	60 - 80
R.Tracción MPa	4 – 5	6 – 7	10 – 12	6 - 7
R.Flexión MPa	12 – 14	20 – 30	30 – 35	18 - 20
R.Térmica ºC. (Martens)	250-300	250-300	250-300	250-300

- Losas antiácidas y de alta resistencia al ambiente salino.

A partir de resinas FA y FAM se obtienen composiciones para la fabricación de losas, ladrillos y bloques, con las dimensiones y formas que se requieran, pudiendo estar las mismas reforzadas con refuerzos metálicos o fibrosos.

Son útiles para pisos, revestimientos de depósitos de hormigón, conductos, canales etc. Estas losas pueden colocarse con los morteros y cementos antiácidos convencionales, incluido por supuesto los furánicos. Sus propiedades físico-mecánicas se reportan en la Tabla IV.

Tabla IV. Propiedades de las losas antiácidas

Propiedad	Losas
Densidad g/cm^3	1,7 - 2,0
R.Compresión MPa	60 – 90
R.Tracción MPa	5 – 8
R.Flexión MPa	15 – 25
R.Térmica ºC.(Martens)	250-300

- Cementos Antiácidos Furílicos (CAF) de alta resistencia térmica.

Cemento de tres componentes apropiado para la colocación de losas y sellaje en zonas de reacción o depósitos de productos químicos almacenados a temperaturas. Es muy resistente a la temperatura, pierde sólo el 2,8 % de su peso a 400 ºC, mientras que sus similares de importación, ESSAR BLACK, RESARCID-F y otros, pierden más del 10 % de sus pesos. Pueden aplicarse en la colocación de losas y ladrillos antiácidos, ladrillos refractarios para el área de calderas, etc. Sus propiedades físico-mecánicas aparecen en la Tabla V.

Tabla V. Propiedades del cemento furílico CAF

Densidad g/cm^3	1,6 - 2,0
R. Compresión MPa	48
R. Flexión MPa	28
R. Térmica ºC (Martens)	< 400
Adherencia al hormigón Mpa	2,5

- Impregnantes de concreto de base furano- epoxídica

Son productos de dos componentes, flexibles y de alta resistencia química y térmica, que tienen la finalidad de acondicionar al sustrato para la mejor adhesión del recubrimiento a aplicársele. Deben cumplir con la función de ser altamente estables y no reaccionar con el recubrimiento a emplear, pueden aplicarse a brocha o a pistola. Las propiedades aparecen en la Tabla VI.

Tabla VI. Propiedades del impregnante de concreto FURAL-Ri

Propiedad	FURAL-Ri
Distensibilidad, mm	70
Dureza, %	40
Adherencia, %	100
Porosidad, v	1200
Secado, h	24
Pot life, h	1,0
Absorción de agua, % (24 h)	0,0
Absorción de agua, % (168 h)	0,0
Rendimiento, g/m^2	200 - 400

- Impregnantes de tablero de madera artificial y maderas de base furano- epoxídica

Son productos de dos componentes, flexibles y de alta resistencia química y térmica, que tienen la finalidad de proteger y acondicionar a la madera o tablero para la mejor resistencia a la humedad y al agua, también para favorecer la adhesión del barniz o pintura a aplicársele. Son estables y no reaccionan con el recubrimiento a emplear, pueden aplicarse a brocha o a pistola. Las propiedades aparecen en la Tabla VII.

Tabla VII. Propiedades del impregnante de *madera artificial y maderas de base furano- epoxídica*

Propiedades	FURAL-Ri 1001	FAM – Rr 1001
Relación de mezclado en peso (resina/endurecedor)	5:1	5:1
Relación de mezclado en volumen. (resina/ endurecedor)	4:1	4:1
Temperatura de aplicación (ºC)	15 - 40	15 - 40
Tiempo de fraguado (h)	24	24
Tiempo útil de aplicación (min)	25 – 50	25 – 50
Tiempo de almacenamiento a temp. amb.(años)	2	2
Máxima temperatura que resiste (ºC)	150	150
Mínima temperatura que resiste (ºC)	- 20	- 20
Densidad (g/cm^3)	1.11 – 1.13	1.14 - 1.16
Viscosidad (cPs)	100 - 200	200 - 600
Adherencia (MPa)	45 - 50	45 - 50
Rendimiento kg/m^2	0.6 – 0.8	0.7 – 1.0
Laboriosidad	Excelente	Excelente

Para ilustrar su efecto en los tableros impregnados en comparación con la norma y un tablero testigo, se muestran los datos en la Tabla VIII y en la Figura 4.

Tabla VIII. Propiedades comparativas del tablero impregnado, la norma y un tablero testigo.

Propiedades	Norma	$T_{Testigo}$	$T_{Impregnado}$
Densidad (kg/m^3)	650 ± 50	710	790
Resist. a la Flexión (N/mm^2)	13	17	26
Modulo a la Flexión (N/mm^2)	1600		
R. Tracción Perpendicular (N/mm^2)	0.35	0.45	0.8
Dilatación en 24 horas (%)	18	20	3
Absorción en 24 horas (%)	No rep.	57	5
Consumo recubrimiento (kg/m^2)	No rep.		1.0
Variación de dimensiones después de recub.	No rep.		0

Fig.4 Tableros impregnados

- Impregnantes de madera de base alcohol furfurílico y furfural

El uso de FURSOL para la impregnación de madera, introduce un nuevo material de construcción que posee la ventaja de:

- Tener una alta resistencia a los agentes biológicos y ambientales.
- Mejora notablemente su resistencia mecánica.
- Resistente a la mayoría de los agentes químicos de ahí que se pueda recomendar su uso en la industria química, naviera y minera.
- Confiere estabilidad dimensional
- Impermeabilidad al agua
- El producto final que se obtiene es una madera de color negro, de alta densidad y elevadas propiedades físico-mecánicas.

El uso de PREMAD, sistema furfural, para la impregnación de madera posee la ventaja de:

- Tener una alta resistencia a los agentes biológicos y ambientales.
- Mejora su resistencia mecánica.
- Confiere estabilidad dimensional
- Impermeabilidad al agua
- El producto final que se obtiene es una madera de color negro, de alta densidad y buenas propiedades físico-mecánicas.

- Laminados de Plástico Reforzado con Fibras de Vidrio (PRFV), a partir de resinas de Alcohol Furfurílico (FL) y furanoepoxídica (FURAL-R)

Laminados confeccionados manualmente (Hand Lay Up), con contenidos de fibras del 25 al 30 %, que pueden emplearse recubriendo superficies y para fabricar elementos o piezas determinadas. En la industria azucarera sirven para fabricar tuberías de jugos, canales de desagüe y residuales, depósitos de productos químicos, conductos de gases y humos, así como para la construcción de paneles, registros y cajas eléctricas, etc. Sus propiedades se presentan en la Tabla IX.

Tabla IX. Propiedades de los laminados plásticos reforzados.

Densidad g/cm^3	1,3 - 1,4
R. Tracción MPa	130 - 140
R. Flexión MPa	100 - 120
R. Térmica ºC (Martens)	< 300

- Recubrimientos anticorrosivos de uno y dos componentes

Estos recubrimientos protegen superficies de metal, hormigón y maderas y pueden ser combinados entre ellos o con otros recubrimientos comerciales, como pinturas de base caucho clorado, esmaltes sintéticos, acabados epoxídicos, etc. Pueden ser aplicados con brocha o pistola sobre la base de un impregnante o directamente sobre la superficie a proteger. Tienen aplicación en la protección anticorrosiva de estructuras metálicas, superficies de equipos, estructuras de hormigón e incluso para la protección de maderas, sus propiedades se presentan en la Tabla X.

Tabla X. Propiedades de los recubrimientos anticorrosivos

PROPIEDAD \ TIPO DE RECUBRIMIENTO					
	DOS COMPONENTES		UN COMPONENTE		
	FAED	FURAL-R	CF-500	FA-VII	FA-ASFALTO
Densidad g/cm^3	1,14	1,16	2,1	1,46	1,01
Viscosidad BZ-4 min. (a 25 ^oC.)	4,0	1,0	1,2	0,6	1,2
Sólidos %	65	75	77	72	65
Secado h	30	24	18	10	6

En la Tabla XI se incluyen las propiedades de recubrimientos aislantes eléctricos y de adhesivos así como otras propiedades de los recubrimientos FURAL.

Tabla XI. Propiedades de los recubrimientos FURAL

Propiedad	**FURAL-R Adhesivo**	**-Ri Impreg.**	**-Rr Protec**	**Ra Aislante**
Relación de mezclado MATRIZ/ENDURECEDOR (en peso)	5:1	5:1	5:1	5:1
(en volumen)	4:1	4:1	4:1	4:1
Temperatura de aplicación (ºC)	15-40	15-40	15-40	15-40
Tiempo de fraguado (horas)	24	4-8	24	24
Tiempo útil de aplicación una vez mezclado (minutos)	25-40	25-50	25-50	25-50
Tiempo útil de almacenamiento a la sombra, 10-40ºC (años)	3	2	2	3
Máxima temperatura que resiste (ºC)	150	150	150	150
Mínima temperatura que resiste (ºC)	-20	-20	-20	-20
Adherencia (Mpa)	45-50	40-50	40-50	40-50
Resistencia a la compresión (Mpa)	-	-	60-90	-
Resistencia a la flexión (Mpa)	-	-	15-25	-
Factor de disipasión para 60 – 1000 Hz de frecuencia	-	-	-	10^{-3}- 10^{-2}
Resistencia dieléctrica (KV/mm)	-	-	-	120-180
Resistividad (ohm/m)	-	-	-	10^{19}-10^{12}

- Composiciones poliméricas para el reacondicionamiento de piezas

Tanto en la construcción de piezas como en la recuperación, las matrices poliméricas son usadas fundamentalmente como base de materiales compuestos, mezclándose con diferentes tipos de rellenos y aditivos que son los que contribuyen a que dichas matrices obtengan las propiedades necesarias. Los rellenos pueden ser fibras o polvos. Los aditivos son por lo general, compuestos líquidos o no, que pasan a formar parte de la matriz, como pueden ser plastificantes, retardadores o aceleradores de curado, espesantes, dispersantes, gelificantes y otros.

Las fibras pueden ser naturales o sintéticas. Las más utilizadas para las composiciones de mantenimiento son las sintéticas, entre las que se destacan las de vidrio, carbón, grafito, ´´kevlar´´, etc. Los polvos pueden ser metálicos, cerámicos, minerales y sintéticos, utilizándose en diferentes granulometrías, siendo los más usados los polvos metálicos de aluminio, bronce y hierro (fundiciones de hierro), así como aleaciones de éstos, cerámicos como carburos y óxidos metálicos, minerales como el hierro mineral, el basalto y otros y sintéticos como por ejemplo polímeros en polvo o partículas pequeñas, entre los que es muy utilizado el

PTFE (debido fundamentalmente a sus propiedades antifriccionantes). También se utilizan polvos de grafito y de bisulfuro de molibdeno para disminuir el coeficiente de fricción de las mezclas.

Las propiedades de los adhesivos estructurales formulados como soldaduras metálicas en frío FURAL, se exponen en la Tabla XII.

Tabla XII. Propiedades de las soldaduras metálicas en frío FURAL

Composición Polimérica	K_{IC}	R.Tracción	R.Flexión	R.Compresión	Adherencia	Estabilidad
	MPa.m	MPa	MPa	MPa	MPa	Térmica ºC
FURAL-A	0,6	27	22	26	13	150
FURAL-AA	1,9	32	45	38	13	150
FURAL-B	0,3	17	41	38	10	150
FURAL-H	0,3	7	19	34	12	150

Nota: La Adherencia reportada es su resistencia al cizallamiento

Como complemento de la información técnica brindada, se acompañan las figuras que se corresponden con las aplicaciones.

Figura 5. ***Aplicaciones para: Rajaduras, fracturas, restauración de partes pérdidas, desgastes, etc., en piezas tipo cuerpo.***

Figura 6. ***Aplicaciones para: Tapas, cuerpos de tanques metálicos, tuberías de redes industriales de agua u otros productos, tuberías de riego.***

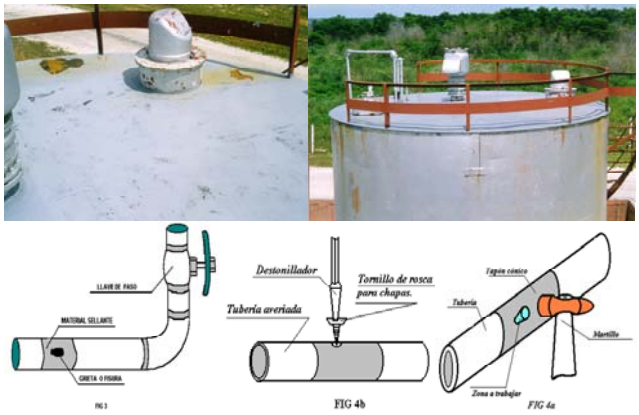


Figura 7. ***Aplicaciones para: Bancazo de la Virgen y Virgen del tren de molida.***

Figura 8. ***Aplicaciones para: Impelentes y cuerpos de bombas de vacío.***

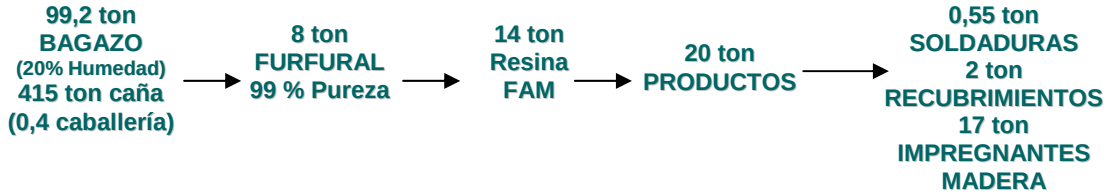
Figura 9. ***Aplicaciones para: Recubrimientos anticorrosivos en forma de morteros y/o revestimientos. Cisternas de neutralización, de enfriamiento.***

Figura 10. ***Aplicaciones para: Protección de maderas de los sistemas de refrigeración, palets, etc.***

Figura 11. ***Aplicaciones para: Preservantes de madera.***

La posibilidad de integración productiva dentro de la INDUSTRIA AZUCARERA, o sea, desde la caña hasta el producto final, ver Figura 12, permite elevar el valor de uso de productos y de los servicios generados por los mismos a terceros, además de alcanzar beneficios, técnicos, económicos, medio ambientales y sociales.

Figura 12. ***Integración productiva dentro de la Industria Azucarera***



Otros desarrollos ya están en estudio para ampliar los productos, mejorar otros e implementar tecnologías de aplicación novedosas y acorde al desarrollo de la ciencia y la técnica.

CONCLUSIONES

- El bagazo, coproducto de la Industria Azucarera, resulta una fuente renovable para el desarrollo de productos que compiten con similares obtenidos de la petroquímica.
- Se han desarrollado composiciones poliméricas a partir del furfural.
- La reacción química de obtención de la FAM, matriz de las composiciones poliméricas FURAL, no es contaminante ni genera residuales o gases tóxicos, se recupera en el propio proceso el solvente empleado, que es posteriormente empleado para la limpieza de los equipos, por lo que este proceso no afecta o contamina el medio ambiente. Al final quedan para una producción de 10 t de FAM, 6,12 m^3 /año de efluentes líquidos de bajo contenido de DQO.
- Los recubrimientos especiales y las soldaduras metálicas en frío son productos que experimentan un crecimiento con respecto al año 2004 en las importaciones y exportaciones mundiales, con una tasa de crecimiento anual en valor entre 10 y 12%, por lo que además de sustituir importaciones de productos similares puede constituirse en una fuente de exportación de productos y de servicios de aplicación de los mismos.
- El proceso de producción de los diferentes productos FURAL, ya sean soldaduras metálicas en frío o los recubrimientos, no genera residuos líquidos o sólidos contaminantes, por lo que todo el proceso de producción de la Línea y sus aplicaciones *NO SON CONTAMINANTES*.
- Fueron mostrados en el trabajo las características técnicas de las composiciones poliméricas furánicas, así como ejemplos gráficos de sus aplicaciones.
- El empleo de los productos FURAL en la actividad de mantenimiento correctivo y preventivo, utiliza técnicas actualizadas y eficientes que no requieren de fuentes de energía para su aplicación, elimina o disminuye el proceso de maquinado en la terminación o acabado de la pieza y no requiere de talleres especializados o equipos y herramientas especiales o sofisticadas.
- Las piezas recuperadas con los productos FURAL recupera sus propiedades, alargando su vida útil, ahorrando dinero y cooperando a preservar los recursos del planeta.
- La posibilidad de integración productiva dentro de la INDUSTRIA AZUCARERA, o sea, desde la caña hasta el producto final, permite elevar el valor de uso de productos y de los servicios generados por los mismos a terceros, además de alcanzar beneficios técnicos, económicos, medio ambientales y sociales. El desarrollo de estos productos constituye una vía más para la DIVERSIFICACION DE LA INDUSTRIA AZUCARERA.

REFERENCIAS

- Dunlop, AP, (1953); The Furans; Reinhold Publishers, N. York.
- Colectivo de autores (2000); Manual de los Derivados; de la Caña de Azúcar. 3ª.ed. La Habana: Imprenta MINAZ, p. 3-17, 153 - 179
- Grupo Científico Técnico de Recuperación de Piezas, CIME (1993), MANUAL DE RECUPERACION DE PIEZAS, Edit. CIENTIFICO-TECNICA, Cuba.
- Catálogos empresas productoras: Loctite, Lotum, Unitor, Mecatec (Instituto Eutectic+Castolin) y FURAL
- Gómez, A.; Castillo, I.; Rodríguez, A.; Bermello, A.; Cabrera, M.; Valle, M. (1994); Resinas furano-epoxídicas y su procedimiento de obtención. CO8L 63/00; CO8G 8/06. Cuba, patente de invención. Certificado No. 22355. 1994. 12-06.

- Gómez, A.; Osa, O. de la ; González, I.; González, A.; García, R.; Misael, C.; Cartaya, A.; Tabío, M.(1984); Síntesis de resinas furánicas para diferentes procesos de fundición. CO8G 8/02, 8/06, 8/08. Cuba, patente de invención. Certificado No. 21 3777. 1984-12-17. ICIDCA No. 2, 2006 8.
- Gómez, A.; Álvarez, A.; Anaya, M.; Castro, I.(1987) Composición polimérica antiácida. CO4B 41/23; CO9K 5/06; CO8L 71/06. Cuba, patente de invención. Certificado No. 21755. 1987-08-03.
- Gómez, A.; Castro, I.; Berovides, I.; Delgado, M.(1988); Utilización de resina de alcohol furfurílico como material autoextinguible y resistente al fuego. CO9K 21/14; CO9D 5/16; 5/18. Cuba, patente de invención. Certificado No. 21797. 1988-01-14.
- Gómez, A.; Alvarez, A.; González, M; Berovides, I.(1989); Composiciones poliméricas a base de resinas furfural acetonas. CO4B 24/06; CO8K 5/42; CO8L 61/02. Cuba, patente de invención. Certificado No.929/89. 1989-10-30.
- Anaya, M., Alvarez, A., Novoa, J., González, M., Mora M. (1984); Modificación de maderas con alcohol furfurílico; Revista ICIDCA, Vol XVIII No.1.
- Colectivo de Autores (1992 al 2009), Trabajos de aplicación de composiciones poliméricas furánicas, expuestos en los Forum de Ciencia y Técnica, Cuba.
- Cordovés M.; Gómez, A.; Rojas H. (2011) y otros. Informe sobre las regulaciones que enmarcan las actividades comerciales de los productos desarrollados. Caracterización sobre la competencia, sondeo de la demanda y satisfacción del mercado. Proyecto código 215. Informe interno ICIDCA.

ESTRATEGIA PARA AMPLIAR EL ALCANCE DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTION DEL ICIDCA

STRATEGY TO ENLARGE THE SCOPE OF INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM OF ICIDCA

Grisel M. Ortega Arias-Carbajal, Aracelia Hernández, Gloria Villamil, Fernando Fernández, Eduardo Casanova, Idania Blanco, Maricela Vega, María del Carmen Vasallo.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Email: grisel.ortega@icidca.edu.cu.

Resumen

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) en la actualidad se encuentra inmerso en dar respuesta a las tareas solicitadas por el Grupo AZCUBA, al cual está subordinado; ampliando sus capacidades con la integración del Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ) y la Unión de Investigación -Producción de la Celulosa del Bagazo Cuba-9, incrementándose su papel para brindar productos y servicios especializados a la industria azucarera y de los derivados.

El ICIDCA cuenta con un sistema de calidad de acuerdo a la NC- ISO 9001:08 y un sistema de inocuidad alimentaria según NC- ISO 22000:05, así como con un sistema integrado de gestión calidad-inocuidad (NC - ISO 9001: 08 y NC- ISO 22000:05), certificados, con un alcance específico para la producción de ron "Vigía"

En este trabajo se presenta una estrategia en acciones de gestión de la calidad, para ampliar el alcance del sistema integrado de gestión del ICIDCA, a otras producciones.

El nuevo alcance que se propone para el sistema de gestión, permitirá garantizar una mejor planificación, ejecución y control de las acciones encaminadas a lograr la calidad, en la producción del estimulante Fitomas, con aplicación en la agricultura, además del Ron Vigía. La implementación eficaz de este alcance permitirá incrementar la satisfacción de los clientes, la adecuación a los cambios del entorno; elevará el nivel de excelencia, favoreciéndose así la posición competitiva y fortaleciendo además la imagen institucional, con una mayor habilidad para la creación de valor.

Palabras claves: sistema de gestión, sistema integrado de gestión.

Abstract

At the present time the Cuban Research Institute of the Sugar Cane By- products (ICIDCA) is working in giving answer to the tasks requested by AZCUBA Group, to which is subordinated; increasing their capacities, with the integration of the Cuban Research Institute of Sugar Cane Technology (ICINAZ) and the Research –Production Union of Bagasse Cellulose Cuba-9, increasing their task to offer products and specialized services to sugar and derivatives industry.

The ICIDCA has a system of quality according to the NC - ISO 9001:08 and an food safe system according to NC - ISO 22000:05, and an integrated management quality-food safe system (NC - ISO 9001: 08 and NC - ISO 22000:05), certificates, with a specific scope for the production of rum "Vigia" trade mark.

In this paper a strategy in actions of management of the quality is presented, to enlarge the scope, of the integrated management system of ICIDCA, to other productions.

The new scope proposed for the management system, will allow to guarantee a better planning, execution and control of the actions planned to achieve the quality, in the productions of Fitomas stimulating, with application in agriculture, besides the Vigia Rum . The effective implementation of this scope will allow to increase the satisfaction of the clients, the adaptation to the changes of the environment; it will elevate the excellence level, favoring this way the competitive position and also strengthening the institutional image with a bigger ability for the creation of value.

Key words: management system, integrated management system.

Introducción

En un mundo donde día tras día se incrementa la competitividad entre las empresas, la efectividad y eficiencia en el accionar cobra fundamental importancia, máxime antes los graves problemas ecológicos que requieren un mejor uso de todos los recursos.

Las empresas en la búsqueda de la competitividad tienen la necesidad de lograr productos y servicios a un menor costo, con el mejor nivel de calidad, por lo que constituye un reto lograr adaptarlas al cambio y a los procesos de mejora continua, AEC (2000), Crespo (2005), Góngora y Santana (2001).

Un sistema de gestión de la calidad con un buen funcionamiento, constituye un factor esencial para el desempeño de una organización, según reportes de González (2008) y Lefcovich (2013), lográndose con esto impactos de aporte económico, científico y social.

Ya es una barrera comercial, no contar con sistemas de gestión certificados, ya no basta con "hacer creer" que la empresa trabaja bien, hay que mostrar evidencias. Las empresas que no cumplen con esto pierden opciones de comercializar sus productos o sus servicios, ya que hay otro competidor que si cumple. Es por lo tanto un imperativo de mercado lograr implementar un sistema de gestión en una organización y su posterior certificación.

Estas nuevas formas de pensar, hacer y actuar en las organizaciones, traen como consecuencia nuevas metas, acciones, culturas, transformación de condiciones de trabajo y por supuesto el adiestramiento necesario para afrontar tal reto.

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) subordinado actualmente al Grupo AZCUBA, está inmerso en dar respuesta a las nuevas tareas solicitadas por dicho grupo, ampliando sus capacidades, con la integración del Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ) y la Unión de Investigación Producción de la Celulosa del Bagazo Cuba-9, en su nueva estructura, e incrementándose su papel para brindar productos y servicios especializados, a la industria azucarera y de los derivados.

En el 2005 se establece una estrategia para obtener mejores resultados en el desempeño del instituto y paulatinamente las acciones se han ido incrementado con vistas a implementar un sistema de gestión de la calidad, lográndose en el 2011, un sistema de calidad de acuerdo a la NC- ISO 9001:08, un sistema de inocuidad alimentaria según NC- ISO 22000, (2005) y un sistema integrado (SIG) calidad-inocuidad alimentaria NC - ISO 9001, (2008) y NC- ISO 22000, (2005), certificados, con alcance específico a producción del ron " Vigía", producido en el área bodegas Vigía.

El producto Vigía con sus dos líneas de bebidas Gran Añejo y Gran Reserva 18 años, constituyen rones Premium con un sabor genuino de ron cubano, con un bouquet y presencia únicos para gustos exigentes y ambos están certificados con la Marca Cubana de Conformidad de acuerdo a la norma NC- 113, (2009).

El ICIDCA entre otras producciones, cuenta con diferentes productos de alto valor agregado, entre los que se encuentra además del Ron Vigía, el estimulante Fitomas, éste con aplicación en la agricultura; constituye un producto anti estrés, ayuda a superar las afectaciones por déficit nutricional, sequía, exceso de humedad, vientos fuertes, ataque de plagas en cultivos, fitotoxicidad por agroquímicos y otros. Tanto el ron Vigía como el Fitomas se comercializan.

Teniendo en cuenta los cambios de estructura en el instituto, las actividades de investigación- desarrollo y servicios científico- técnico que se desarrollan en la etapa actual, así como las nuevas orientaciones de la Oficina Nacional de Normalización, referidas a la certificación de sistemas de gestión, que deben estar implantados en toda la organización; se ha decidido por la alta dirección del instituto, ampliar el alcance del sistema integrado de gestión.

En este trabajo se presenta una estrategia que contempla acciones de gestión de la calidad, encaminadas a ampliar el alcance del sistema integrado de gestión del ICIDCA, a la producción del estimulante Fitomas, conjuntamente con la del ron Vigía, con vistas a su implementación.

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en las siguientes etapas:

- Tormenta de ideas: Se seleccionó personal altamente capacitado en la especialidad gestión de la calidad para llevar a cabo una tormenta de ideas teniendo en cuenta la proyección actual del ICIDCA, la misión y visión, las líneas de trabajo en investigación-desarrollo, producciones, servicios científico-técnicos, el estado de su comercialización y la definición por la alta dirección de ampliar el alcance del sistema integrado de gestión.

- Diagnóstico: Teniendo como base la integración del ICIDCA con las dos instituciones ICINAZ y Cuba-9 y la nueva estructura que abarca nueve Direcciones (Tecnología Azucarera, Derivados, Capital Humano, Economía, Gestión Administrativa, Bioproductos, Gestión del Conocimiento, UEB- Quivicán Bioprocesos, UEB- Habana-Producción), un Departamento de Comercialización – Negocios así como Sedes territoriales en Villa Clara y Holguín, se realizó un diagnóstico sobre el

estado de la documentación relacionada con la calidad en la organización abarcando todas las Direcciones del Instituto. Para esto fueron entrevistados en el trascurso de esta actividad, los responsables de calidad de cada Dirección así como otro personal relacionado, cuando fue necesario. Para esto se empleó una lista de chequeo confeccionada por auditores líderes de la calidad, especialistas del instituto, de acuerdo a los requisitos establecidos en la norma NC - ISO 9001, (2008).

- Planificación de tareas: Se establecieron las tareas a llevar a cabo para ampliar el alcance del SIG.

Resultados y Discusión

El ICIDCA tiene como misión: investigar, desarrollar, innovar y transferir tecnologías, brindar servicios científicos–técnicos y capacitación especializada, producir y comercializar productos de alto valor agregado en el campo de la agroindustria azucarera.

La **visión** es la siguiente: contar con un instituto de investigación–desarrollo e innovación tecnológica, con alta efectividad y reconocimiento nacional e internacional en la diversificación agroindustrial azucarera y sus investigaciones en otros sectores y su capacidad para asimilar y transferir tecnologías sostenibles y compatibles con el medio ambiente.

Para ampliar el alcance del SIG del ICIDCA, es necesario preparar la organización para el cambio, teniendo en cuenta las nuevas características que presenta después del proceso de fusión de centros, para esto se estudió el estado actual del instituto, a través de un diagnóstico, en el cual se tuvo en cuenta los cinco grandes pilares de la norma NC- ISO 9001 (NC - ISO 9001, (2008)), como se muestra en la tabla I.

Tabla I: Direcciones incluidas en el diagnóstico realizado en el ICIDCA

Requisitos Norma NC-ISO 9001: 08	**Direcciones del ICIDCA**
4. Sistema de Gestión de la calidad 5. Responsabilidad de la dirección 6. Gestión de los recursos 7. Realización del producto 8. Medición, análisis y mejora	Gestión Administrativa
	Gestión del Conocimiento
	Tecnología Azucarera
	Derivados
	Bioproductos
	Capital Humano
	UEB Quivicán- Cuba 10 Bioprocesos
	UEB- Habana Producción
	Departamento Comercial y Negocios.

Los resultados obtenidos en el diagnóstico, realizado de acuerdo a los requisitos de la NC- ISO 9001:8, se describen a continuación.

4. Sistema de gestión de la calidad

- Existe en el instituto un sistema de gestión calidad de acuerdo a la NC-ISO 9001:08, un sistema de inocuidad alimentaria (NC- 22 000:05 (2005) y un sistema integrado calidad-inocuidad, certificados, según NC-ISO 9001:08 (2008) y NC- 22 000:05 (2005), con un alcance para producción de ron Vigía, en el área de producción bodegas Vigía, de la UEB- Habana-Producción.
- Los procesos se encuentran identificados así como definidas sus interacciones en la Dirección en UEB- Habana -Producción – Producción bodegas Vigía, en UEB Quivicán- Cuba 10 Bioprocesos y en la Dirección Bioproductos.). Además éstas direcciones cuentan con la documentación de calidad requerida según la NC-ISO 9001:08 (2008).
- Existen indicadores de desempeño desplegados por las Direcciones y a nivel de centro.
- Existe una política a nivel de ICIDCA, referida a garantizar la calidad y la inocuidad del Ron Vigía producido en bodegas Vigía de la UEB- Habana-Producción, la cual se aplica con seguridad y eficacia a lo largo de dicho proceso productivo. Esta debe ser revisada y extendida a toda la organización.
- Existen documentos regulatorios externos e internos en todas las direcciones. Se cuenta con documentación reglamentaria para una consultora en gestión de la calidad.

5. Responsabilidad de la dirección

- Existe una declaración de la alta dirección respecto a la implantación del SGC-inocuidad en bodegas Vigía de la UEB- Habana-Producción así como en las Direcciones UEB Quivicán- Cuba 10 Bioprocesos, Bioproductos), no siendo así a nivel de organización.
- Están definidos los canales para la comunicación con el personal. La comunicación entre las direcciones es adecuada.
- Se evidencia un consejo de calidad a nivel de instituto donde se discuten los aspectos y problemas de calidad de cada una de las direcciones, se revisa y controla el cumplimiento de los indicadores de desempeño. Están nombrados los responsables de calidad en cada dirección y a nivel de centro un representante de la dirección. No se encuentra designado un documentador del sistema de gestión a nivel de centro.

6. Gestión de los recursos

- La necesidad de recursos para desarrollar e implementar un sistema de gestión se evidencia en las direcciones que presentan implementados sistema de gestión de la calidad (UEB- Habana - Producción – Producción bodegas Vigía, en UEB Quivicán- Cuba 10 Bioprocesos y en la Dirección Bioproductos).
- Se identifican las necesidades de capacitación y adiestramiento a nivel de instituto, pero la eficacia se evalúa sólo en algunas direcciones.
- Se han establecido prioridades para el mejoramiento de la infraestructura del centro.
- Se aplica la promoción del personal de acuerdo a su desempeño.
- Existe un programa de motivación del personal en cuanto al mejoramiento de la calidad, no obstante debe adecuarse a todo el instituto.

7. Realización del Producto

- La satisfacción de los clientes se evalúa sólo en UEB- Habana Producción-bodegas Vigía.
- Existen canales de comunicación apropiados con los clientes en UEB- Habana Producción, bodegas Vigía, en UEB- Quivicán Bioprocesos y en Bioproductos.
- Existe documentación para el diseño y desarrollo de los proyectos de investigación a nivel de centro, que debe ser revisada y adecuada en función de los requisitos de la norma NC- ISO 9001:08 (2008).
- La organización planifica y controla el diseño, desarrollo y cumplimiento de los proyectos de investigación por etapas, asignando responsables de tareas. Debe realizarse la validación del mismo de acuerdo a los requisitos de la norma NC- ISO 9001:08 (2008).
- La cartera de proveedores y la evaluación de los mismos está definido en la Dirección UEB- Habana Producción y en UEB Quivicán- Cuba 10 Bioprocesos.
- La organización cuenta con la información adecuada para describir todos los productos y servicios que brinda el ICIDCA.
- Se cumple con las disposiciones legales establecidas para el aseguramiento metrológico.
- Los dispositivos de seguimiento y medición, presentan sellos de calibración y/o verificación vigentes.

8. Medición, análisis y mejora

- La realización de encuestas para evaluar la satisfacción de los clientes se lleva a cabo sólo en la dirección UEB- Habana Producción, UEB Quivicán- Cuba 10 Bioprocesos.
- Existe un procedimiento para la realización de auditorías internas por direcciones, en UEB- Habana Producción-Producción -bodegas Vigía, UEB Quivicán- Cuba 10 Bioprocesos y en Bioproductos.
- Se cuenta con 15 auditores internos, varios auditores líderes y consultores en sistema de gestión de la calidad.
- Los productos no conformes están definidos por direcciones.
- La organización tiene la meta de mejorar su desempeño pero no se cuenta con todas las evidencias para asegurar la mejora continua a nivel general, se realiza por direcciones.
- Se cuenta con procedimiento documentado para la detección, registro de no conformidades, investigación de las causas y la evaluación de la eficacia, en la dirección UEB- Habana Producción, UEB Quivicán- Cuba 10 Bioprocesos y en Bioproductos, no de forma general.

Para ampliar el alcance del SIG en el ICIDCA, se planificaron las tareas, que se muestran en la tabla II. Las mismas fueron presentadas al Consejo de Calidad y al Consejo de Dirección, siendo aprobadas por estos órganos. Será necesario además asignar las responsabilidades y estimar los recursos que se requerirán en cada caso.

Tabla II: Tareas planificadas para ampliar el alcance del SIG en el ICIDCA

Tareas planificadas para ampliar el alcance del SIG	Fecha de ejecución
1. Designar un grupo gestor dentro del Consejo de Calidad	Junio 2013
2. Seleccionar personal para impartir capacitación en Gestión de la Calidad	Junio 2013
3. Establecer y ejecutar programa de capacitación: seminarios para el Consejo de Dirección Jefes de Procesos y cursos específicos para todo el personal involucrado	Junio- Diciembre 2013
4. Seleccionar el Documentador del Sistema	Junio 2013
5. Implantar el Sistema de gestión en el ICIDCA con el nuevo alcance	Enero- Marzo 2014
6. Realizar auditoría interna al SG del ICIDCA (Grupo de auditores internos)	Marzo 2014
7. Revisar el SG del ICIDCA por parte de la alta dirección	Abril 2014
8. Solicitar auditoría externa a ONN	Mayo 2014

La identificación de los procesos tiene la finalidad de definir o precisar cuáles son los procesos que determinan la razón de ser de una organización según Pérez (2003) y Pérez (2003a). Para el ICIDCA se ha confeccionado un mapa de procesos (figura 1), teniendo como base la revisión del mapa de procesos confeccionado para el sistema integrado de gestión implantado con alcance a producción de Ron Vigía así como la inclusión de procesos relativos al nuevo alcance que se propone. El mapa de procesos comienza con los clientes, los cuales tienen expectativas con relación a la organización y termina con los clientes, pues estos esperan satisfacer sus necesidades una vez que reciban la oferta que brinda la misma.

Se han identificado 11 procesos, de los cuales se consideran, dos como estratégicos, cuatro claves y cinco de apoyo, éstos se muestran con sus interacciones en la figura 1. Los mismos fueron presentados y aprobados en el Consejo de Calidad y en el Consejo de Dirección.

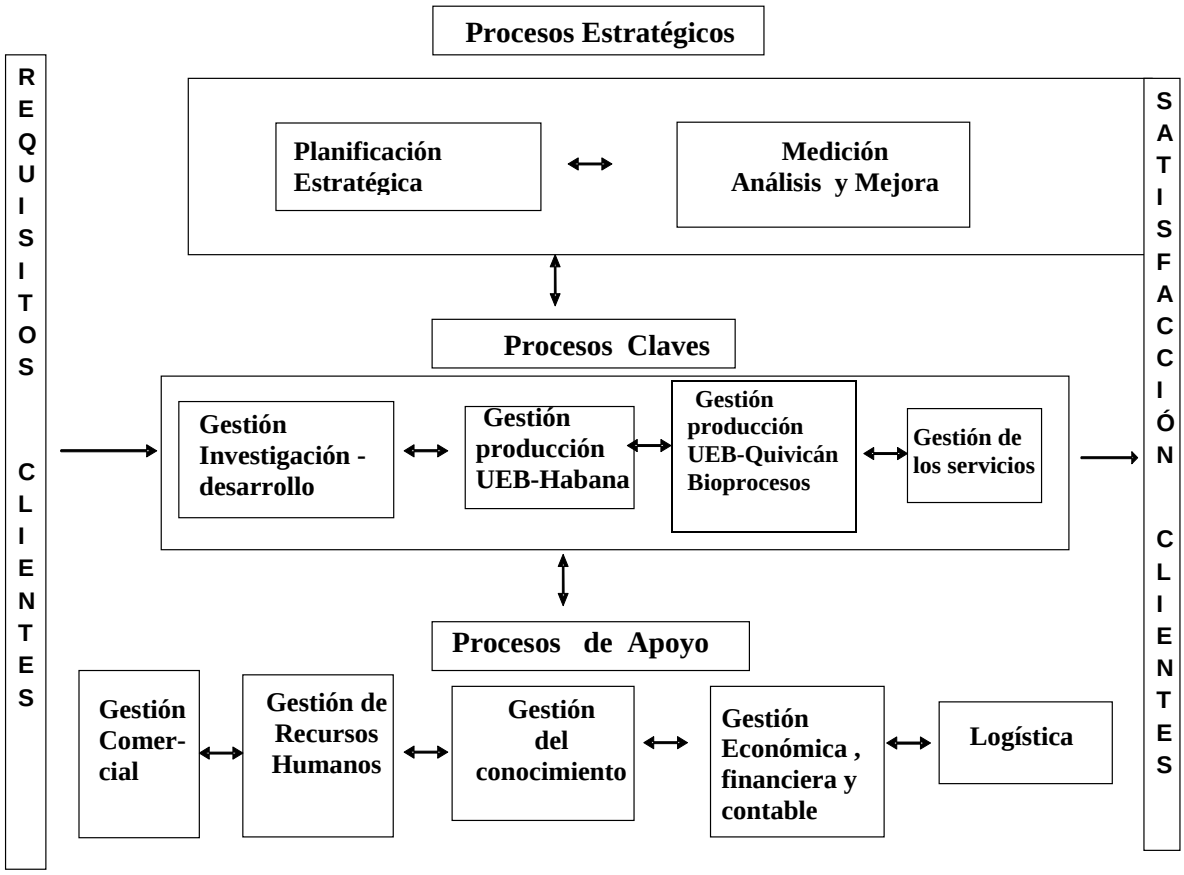


Figura 1: Mapa de Procesos del SIG para el ICIDCA

Para cada proceso se encuentra definido el respectivo jefe y se confeccionará una ficha, describiendo los indicadores que se deben tener en cuenta para evaluar la eficacia.

En la tabla III se muestran los subprocesos identificados para cada proceso del SIG del ICIDCA.

Tabla III: Subprocesos identificados en el SIG del ICIDCA

Procesos	Subproceso
Estratégicos	
Planificación Estratégica	▪ Gestión Económica ▪ Asesoría Jurídica ▪ Riesgos
Medición , análisis y Mejora	▪ Aseguramiento de la calidad
Claves	
Gestión Investigación y Desarrollo	▪ Azúcar ▪ Derivados ▪ Bioproductos ▪ Sedes Territoriales
Producción UEB- Habana	▪ Producción Ron ▪ Producción estimulante Fitomas ▪ Producciones a pequeña escala (Plaguicida Tomaticid, biofertilizante Bioenraiz; y resina Fural)
Producción UEB- Quivican. Bioprocesos.	▪ Producción Fertilizante Nitrofix ▪ Productos químicos para industria azucarera (Quimizuk)
Gestión de los servicios	Consultorías y/o asesorías ▪ Servicios Calidad ▪ Servicios Tecnológicos (Azúcar, Alcohol, Levadura, Ron, Alimento animal) ▪ Medio Ambiente Inspección ▪ Laboratorios analíticos y empresas ▪ Sedes Territoriales ▪ Capacitación ▪ Servicios analíticos
Apoyo	
Gestión Comercial	▪ Marketing ▪ Negocios
Gestión de los Recursos Humanos	▪ Capacitación ▪ Organización, Seguridad y salud del trabajo ▪ Atención a cuadros
Gestión del conocimiento	▪ Ciencia y Técnica ▪ Evaluación económica de proyectos ▪ Seguridad informática
Gestión Económica, financiera y contable	▪ Contabilidad ▪ Caja ▪ Control interno y contraloría
Logística	▪ Transporte ▪ Mantenimiento ▪ Comedor ▪ Protección Física ▪ Compras de Reactivos, materiales, misceláneas ▪ Compras de Equipamiento

Estructura Documental

El proceso de documentación del sistema de gestión, permite que el trabajo se organice apropiadamente para lograr el estándar definido en cada proceso según reportes de Góngora y Santana (2001), Pérez (2003).

La documentación es el soporte de un sistema de gestión, pues en ésta se plasman no sólo las formas de operar de la organización sino toda la información que permite el desarrollo de todos los procesos y la toma de decisiones, Pérez (2003), Pérez, (2003a), Rodríguez (2010).

Para establecer la estructura documental del sistema integrado de gestión del ICIDCA con el nuevo alcance, se tuvo como base los resultados del diagnóstico así como la documentación ya elaborada y la determinación de las necesidades de la documentación que debía existir, para poder garantizar que los procesos se lleven a cabo bajo y en condiciones controladas. Se estudiaron las regulaciones específicas del Grupo Empresarial AZCUBA para determinar los documentos que deben responder al cumplimiento de los requisitos legales así como las regulaciones del CITMA.

El manual es un documento en el cual se explica y resume el sistema de gestión de la organización mediante el cumplimento de los requisitos de la NC- ISO 9001, (2008) a través de todas las actividades en todos los procesos.

Se cuenta con un Manual de calidad -inocuidad que se encuentra en proceso de revisión y cambio.
Con vistas a identificar la documentación requerida a elaborar en cada proceso del sistema, se ha involucrado a los responsables de calidad de cada una de las direcciones, contando con el apoyo de la alta dirección.

La estructura documental del sistema integrado de gestión con el nuevo alcance, estará en correspondencia con el requisito 4.2 de la Norma NC ISO 9001, (2008) así la documentación específica a la inocuidad alimentaria de acuerdo a la norma NC- 22 000:05 (2005) y estará compuesta por:

- Política de calidad-inocuidad
- Objetivos de calidad-inocuidad
  Tanto la política como los objetivos se encuentran en proceso de revisión y modificación teniendo en cuenta la ampliación del alcance del sistema.
- Procedimientos obligatorios según la norma NC ISO 9001, (2008)
- Procedimientos específicos de cada proceso.
- Procedimientos específicos de inocuidad alimentaria de acuerdo a la norma NC- 22 000:05, (2005)
- Reglamentos del ICIDCA, Grupo AZCUBA y CITMA
- Registros.

En la tabla IV se muestra un cronograma de acciones planificadas para establecer la estructura documental del SIG según el nuevo alcance, lo cual fue aprobado en el Consejo de Calidad así como en el Consejo de Dirección del ICIDCA.

Tabla IV: Cronograma de acciones planificadas para establecer la estructura documental del SIG con el nuevo alcance

Acciones planificadas para establecer la estructura documental del SIG con el nuevo alcance	Fecha de ejecución
1. Discusión y aprobación del nuevo alcance del SIG	Junio 2013
2. Revisión, modificación y aprobación de la Política de calidad-inocuidad para el ICIDCA	Junio 2013
3. Revisión de los objetivos de calidad existentes en el ICIDCA y los correspondientes a calidad-inocuidad de bodegas Vigía de la UEB- Producción Habana, actualización y aprobación.	Junio 2013
4. Discusión y aprobación de los procesos, mapa de procesos y jefes de procesos.	Junio 2013
5. Elaboración de procedimientos y registros obligatorios, según norma NC- ISO 90001:08, por el Grupo gestor del Consejo de Calidad.	Julio-Octubre 2013
6. Circular por las áreas todos los Procedimientos Obligatorios	Octubre 2013
7. Definición y elaboración de toda la documentación de calidad requerida en los procesos del ICIDCA. (Fichas de procesos, procedimientos e instrucciones. Registros)	Noviembre 2013
8. Revisión y modificación del Manual de calidad-inocuidad de bodegas Vigía y su adecuación al ICIDCA, por el Grupo gestor del Consejo de Calidad	Noviembre- Diciembre 2013

El sistema integrado de gestión del ICIDCA con su nuevo alcance, estará implementado cuando se ponga en práctica lo establecido en los documentos. La recopilación de la evidencia documentada de lo anterior se ejecutará a través de auditorías internas que cubran todos los procesos del sistema.

El sistema deberá mantenerse con rigor y para esto es indispensable las auditorías internas periódicas y la revisión por la dirección, el seguimiento de las no conformidades, acciones correctivas y preventivas y el seguimiento del proceso de mejora continua.

Conclusiones

El sistema integrado de gestión del ICIDCA al contar con un alcance más amplio garantizará una mejor planificación, ejecución y control de las acciones encaminadas a lograr la calidad, en las producciones de Ron Vigía y del estimulante Fitomas, de aplicación en la agricultura.

La implementación eficaz de este sistema permitirá incrementar la satisfacción de los clientes, la adecuación a los cambios del entorno, la búsqueda de oportunidades de mejora, elevará el nivel de excelencia, favoreciéndose así la posición competitiva y fortaleciendo además la imagen institucional, con una mayor habilidad para la creación de valor.

Referencias

AEC. (2000), Centro Nacional de Información de la calidad. Implantación de un sistema de la calidad según la norma UNE-EN-ISO-9002.

Crespo, G.O R. (2005), Gestión de la Calidad. http: // www.gestiopolis.com/administracion-estrategia-calidad-definicion-evolucion-historia.htm. Consultado marzo 2012.

Góngora, Y y Santana, Y. (2001), Metodología para la implantación de un sistema documental ISO 9000. Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial. Cuba

González, C. (2008), Conceptos generales de calidad total, http: // www. mografias .com. Consultado marzo 2012.

Lefcovich, M. (2013), Gestión de calidad para la excelencia – gce, http://www.gestiopolis1.com/recursos2/documentos/archivodocs/ager/gescalexce.zip.

NC - ISO 9001. (2008), Norma Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.

NC- 113. (2009), Ron, Especificaciones

NC- ISO 22000. (2005), Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos-Requisitos para cualquier organización de la cadena alimentaría

Pérez, Z. (2003), Procedimiento metodológico para la gestión de la calidad http://www.monografias.com/trabajos16/procedimiento-gestion-calidad/procedimiento-gestion-calidad.zip Consultado, febrero 2013.

Pérez, Z. (2003a), Propuesta metodológica para gestionar la documentación de calidad http://www.gestiopolis1.com/recursos/documentos/archivodocs/degerencia/gerno2/metgescalidad.zip. Consultado febrero 2013.

Rodríguez, H. (2010). La implementación de un sistema de gestión de calidad versus un sistema de gestión documental. Gestión de Contenidos en Ciencia de la Información http://ecibjaveriana.wordpress.com/.

LA CALIDAD DEL AGUA DESTILADA EN LA DETERMINACIÓN DE CENIZAS CONDUCTIMÉTRICAS EN AZÚCARES CRUDOS.

DISTILLED WATER QUALITY IN THE CONDUCTIMETRIC ASH DETERMINATION IN RAW SUGAR.

Roberto J. Rodríguez Mambuca, Julián Rodríguez López, Armando Perdomo Morales

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). ,
Carretera de Boyeros a la CUJAE. K m 2 ½. Boyeros. La Habana. Cuba
e-mail: roberto.rmambuca@icinaz.minaz.cu.

RESUMEN.

Se llevaron a cabo experimentos de determinaciones en paralelo de muestras de azúcar crudo usando el método de ceniza conductimétrica del ICUMSA 2007, con agua de conductividad de 2 µ Siemens/cm y una réplica utilizando agua destilada en el intervalo de 2 a 10 µ Siemens/cm, para evaluar la posibilidad de sustituir el agua de conductividad exigida por la técnica analítica por agua destilada común en estos análisis.
Se evaluó estadísticamente el conjunto de 58 muestras pareadas y este análisis concluyó que no había diferencias significativas entre los resultados con el empleo de agua destilada normal y agua de baja conductividad.
La utilización de agua destilada normal (5-10 µ Siemens/cm) economizaría divisas por ahorro de energía eléctrica (si se utilizan bidestiladores) o ahorro de reactivos-resinas intercambiadores y contaminación del medio ambiente si se emplean desionizadores.

Palabras Claves: Azúcar crudo, ceniza conductimétrica, ICUMSA, agua de conductividad.

ABSTRACT.

A set of experiments were carried out doing parallel determinations of raw sugar samples by 2007-ICUMSA conductimétric ash method, using 2 µSiemens/cm conductivity water and a replica with distilled water within the range of 2 to 10 µSiemens/cm, to evaluate the possibility of substitution of conductivity water required by the analytical technique with common distilled water.
The whole set comprised 58 paired samples which were statistically evaluated and this led to the conclusion that there were no significant differences between results using ordinary distilled water and low conductivity one.
The use of normal distilled water (5-10 µSiemens/cm) will economize foreign currency by savings in electrical energy (if bidistillators are applied) or by savings in reagents and ion-exchange resins, as well as a reduced environmental impact, if deionizers are utilized.

Key words: raw sugar, ICUMSA, Conductimetric ash, distilled water, conductivity water

INTRODUCCIÓN

La ceniza se puede definir como el residuo mineral que queda de una sustancia después de haberla sometido a combustión total. Los resultados satisfactorios y la facilidad operatoria de los métodos conductimétricos, para la determinación de cenizas han hecho que algunos autores David (1978) y Chen (1993), hayan reemplazado el lento proceso de la ceniza gravimétrica por la conductimétrica en las determinaciones rutinarias en azúcares refinos, crudos, aguas residuales, mieles y otros productos de la industria azucarera.
El análisis de los productos en esta industria por métodos conductimétricos para la determinación de ceniza se basa en la baja conductividad del agua destilada y la condición de no-electrolito de la sacarosa que por tanto tampoco conduce la electricidad. Así, las sales minerales que constituyen la ceniza son prácticamente las responsables del valor de conductividad obtenido, con la excepción de la sílice que tampoco es conductora. El valor de estas mediciones conductimétricas ha sido reconocido por la industria azucarera y se han informado numerosos trabajos sobre el tema.

La medición de la conductividad da una medida de la concentración de los iones presentes y ofrece de este modo, una indicación directa del total de los minerales presentes o el contenido de ceniza del producto. El conocimiento del contenido de cenizas en los azúcares y mieles finales, tiene incidencia en el proceso industrial, ya que estas tienen carácter melasigénico. En los años 40 del siglo pasado, Browne (1948), proponía la utilización de aguas de una conductividad de 1.5 a 2.0 µSiemens/cm. Para la determinación de ceniza conductimétrica, la metodología del ICUMSA, (2007), recomienda aguas con conductividad ≤ 2µSiemens/cm y a la vez menciona que el agua destilada ordinaria puede tener una conductividad de hasta 10 µS/cm, valor que fue utilizado hasta que la norma cubana cambió NC-ISO 3696:2004 y dicho valor pasó a ser de 5 µSiemens/cm. Esta norma relaciona tres calidades de agua. En el país, en la determinación de ceniza se emplea el método ICUMSA (2007).

Las posibilidad de obtener la denominada agua de conductividad (conductividad ≤2 µSiemens/cm) para la determinación de la ceniza conductimétrica en azúcar crudo es compleja en la mayoría de los laboratorios azucareros (especialmente en los ingenios azucareros) que emplean un destilador de agua común. Una posible elección es utilizar bidestiladores de agua (caros) o desionizadores con el correspondiente uso de resinas de intercambio iónico y productos químicos para la regeneración de dichas resinas que son agresivos al medioambiente.

Otra alternativa es estudiar el efecto del empleo de diferentes calidades de agua destilada y analizar estadísticamente los resultados de las determinaciones de la ceniza comparada con el uso de agua de conductividad con la misma muestra de azúcar en ambas determinaciones. Producto de la dureza de nuestra fuentes de agua, se llevaron a cabo ensayos con agua destilada en un rango de entre 2 y 10 µSiemens/cm, lo que en caso de ser viable permite la utilización de destiladores comunes, y así trabajar con aguas en el entorno de 5 µSiemens/cm.

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la calidad del agua a valores ≤ 2 µSiemens/cm y su comparación con aguas en el rango desde ≥ 2 µSiemens/cm hasta ≤ 10 µSiemens/cm en la determinación de ceniza. Adicionalmente, se ofrecen las ventajas económicas que reporta la utilización de agua destilada en su determinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Leycal (Laboratorio de ensayo y calibración de alimentos) recibe de las empresas azucareras que se encuentran produciendo azúcar, al menos, tres muestras, las cuales en el periodo analizado ascendieron a 144, seleccionándose aleatoriamente 58, lo que representa aproximadamente el 40% del total.
La técnica empleada para la determinación de ceniza en azúcar crudo fue la que recomienda el libro de métodos ICUMSA (2007), en la que se ofrece una descripción detallada de la misma. El método conductimétrico utilizado para la determinación de ceniza es sencillo, rápido y rinde buenos resultados.

Se prepara una solución del azúcar a analizar con una concentración de 5 g/100 ml, la cual se enfría por debajo de 20 °C, y se transfiere a la celda de lectura del conductímetro, se espera que la temperatura llegue a los 20 °C para leer la conductividad de la solución problema. A la conductividad leída, se le resta la conductividad del agua destilada con la cual se preparó la solución y dicho valor se convierte a conductividad específica en µSiemens/cm multiplicando por la constante de la celda, K. La conductividad específica se convierte a % de ceniza mediante la aplicación de la fórmula correspondiente.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se muestra el análisis estadístico realizado a los resultados analíticos de las 58 muestras comparadas con las dos calidades de agua destilada empleada.

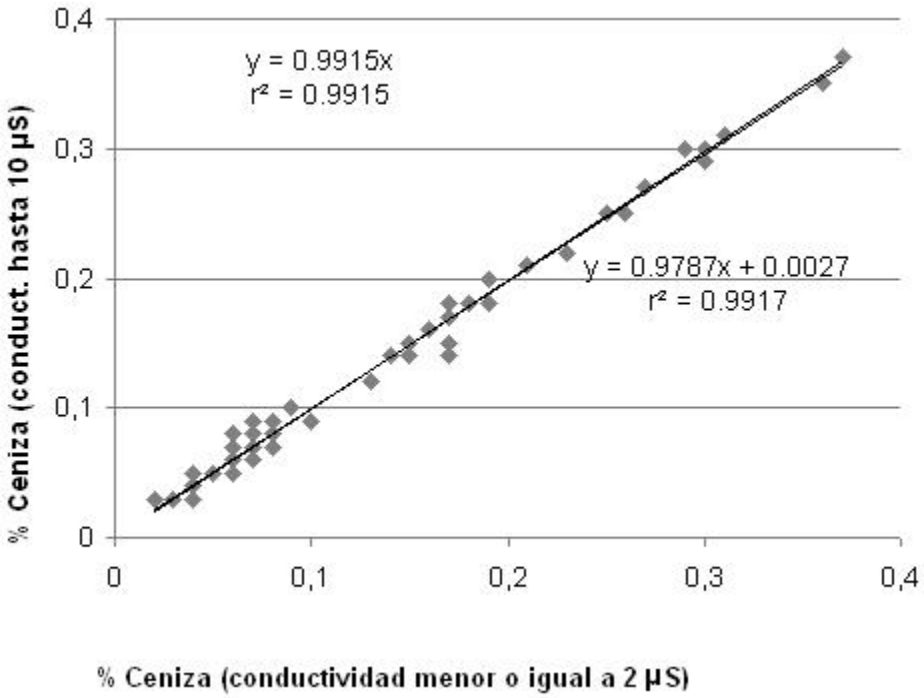


Figura 1. Correlación alcanzada durante la comparación con diferentes calidades de agua destilada.

Se calculó la regresión de y (≤ 10 µSiemens) versus y (≤ 2 µSiemens), teniendo en cuenta la exclusión del término independiente o su inclusión, las ecuaciones aparecen en el gráfico, se seleccionó la que incluye el término independiente porque tiene un coeficiente de determinación estadísticamente más alto.
En la tabla 1 aparece una serie de parámetros calculados a partir de dicha regresión:

Tabla I Resultados a partir de la regresión y (≤ 10 µSiemens) versus y (≤ 2 µSiemens)

Coeficiente de la variable independiente (x)	b =	0,97869
Término independiente	a =	0,00265
Coeficiente de correlación	r =	0,99585
Coeficiente de determinación	r^2 =	0,99172
	x_{media} =	0,14069
	y_{media} =	0,14034
Todo el error en la **y**	S_0 =	0,00925
Número de muestras	n =	58

En la tabla se puede apreciar en ambas variables que los valores medios coinciden. Además si se considera que todo el error esté en la **y**, su desviación típica S_0 no excede como valor 0.01 % por lo que la incertidumbre en una medición (asumiendo una distribución normal de los datos, no debe exceder de 0.02 % (dos desviaciones típicas) para un factor de cobertura de 2, con un 95% de confianza.
Según la tabla A.30a (6) Percentiles de la distribución de r cuando ρ = 0, para una probabilidad del 99.95% y para 60 pares de valores, cuando el valor de r calculado excede de 0.414, se afirma que hay correlación,
La dispersión de los datos se puede observar más claramente mediante la tabla 2.

Tabla II. Porciento acumulativo de la dispersión respecto al valor ≤ 2µSiemens/cm

Número de muestras	Dispersión	% acumulado	% acumulado. total
29	0	50	50,00
25	± 0,01	43,1	93,10
3	± 0,02	5,2	98,30
1	± 0,03	1.7	100,00

Por lo expresado en esta tabla se puede decir que el 98.3 % de los valores analizados tienen una diferencia ≤ 0.02 % de ceniza con respecto al valor de referencia, con lo que se corrobora que los datos analizados se pueden representar por una distribución normal y esta diferencia a su vez es menor que la repetibilidad del método (0.03 %).
Adicionalmente, se realizó una prueba de t pareada comparando los resultados obtenidos utilizando agua destilada con las dos conductividades especificadas con los resultados que se muestran en la tabla 3.

Tabla III. Prueba de t pareada de los resultados analíticos de las 58 muestras

Parámetro	Variable 1	Variable 2
Media	0,14034	0,14069
Varianza	0,00921	0,00954
Observaciones	58	58
Coeficiente de correlación de Pearson	0,99585	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	57	
Estadístico t	-0,29255	
P(T<=t) una cola	0,38546	
Valor crítico de t (una cola)	1,67203	
P(T<=t) dos colas	0,77093	
Valor crítico de t (dos colas)	2,00266	

Del análisis de la tabla, dado que la t calculada es inferior al valor crítico de la t de la tabla para dos colas, se acepta la hipótesis de que no hay diferencias significativas entre el uso del agua destilada con conductividad inferior a 2 µSiemens/cm y con agua destilada con conductividades >2 y 10 µSiemens/cm.
Un diagnóstico de los laboratorios existentes en la actualidad reveló que sería necesaria una inversión para la adquisición de no menos de 60 equipos desionizadores de agua para dotar los distintos laboratorios, (provinciales y los de las UEB) de este servicio. Estos equipos están valorados en el mercado internacional en € 550 cada uno sin tener en cuenta el suministro de reactivos para una operación sin contratiempos.

Conclusiones

1. La prueba de t pareada mostró que no hay diferencias significativas en la determinación de cenizas conductimétricas en azúcar crudo utilizando agua destilada con una conductividad hasta de 10 µSiemens/cm. comparada con la misma muestra realizada con agua de conductividad ≤2 µSiemens/cm.
2. Los valores medios de la ceniza conductimétrica por ambos métodos de todas las muestras, difieren en la cuarta cifra decimal (0.1403 y 0.1407).
3. El 98,3 % de los resultados poseen diferencias analíticas menores que la repetibilidad del método.
4. S_0, el límite de confianza inverso para la regresión, no excede de 0.009 %, por lo que la incertidumbre en la medición con factor de cobertura de 2, no excede de 0.02 %.
5. El coeficiente de correlación r para el conjunto de las 58 comparaciones fue de 0.99585 , teniendo en cuenta además que el coeficiente r puede variar solamente entre -1 y +1, se considera que hay una buena correlación entre ambos métodos, o sea que ambos métodos dan los mismos resultados analíticos.

RECOMENDACIÓN
Se puede utilizar agua destilada hasta 10 µSiemens/cm. de conductividad para la determinación de ceniza conductimétrica en azúcares crudos en todos los laboratorios de la industria azucarera.

Referencias:

David, E., Perdomo A. (1978) Introducción al Control Técnico de la Industria Azucarera. Instituto Superior de Capacitación Azucarera. Minaz, La Habana Cuba, pags 109-110,.
Chen, J.C.P. and, Cheng-Chi Chou. (1993). Cane Sugar Handbook, 12th Edition. John Wiley and Sons, New York , pp. 344.
Browne, C.A., Zerban, F.W. (1948) Physical and Chemical. Methods of Sugar Analysis. 3rd Edition. John Wiley and Sons, New York p 1016,.
NC-ISO 3696:2004. Agua para uso en análisis de laboratorio.
ICUMSA, Methods Book. (2011) Method GS1/3/4/7/8-13 (1994) The determination of conductivity ash in raw sugar, brown sugar, juice, syrup and molasses. Official.
Dixon, Massey. (1974) Introducción al Análisis Estadístico. E. Instituto Cubano del Libro, p 464.

LA CAÑA DE AZUCAR COMO FUENTE DE KESTOSAS

SUGAR CANE AS A SOURCE OF KESTOSES

Dr. Ramos Suárez Eduardo Lorenzo, Ing. Ravelo Bravo Susana, ICIDCA; Ing. Javier, INICA.

lorenzoe27@yahoo.com

Palabras claves: kestosas, caña, variedades, HYDROMAG, AIS.

RESUMEN:

En este segundo artículo sobre la formación de Kestosas en los jugos de las variedades de caña, seleccionadas por su tendencia a formar oligosacáridos en sus jugos inmediatamente después del corte, se explora la posibilidad de emplearlas para la producción de nuevos edulcorantes con propiedades prebióticas.

Se presentan los últimos resultados obtenidos durante el estudio de un número de variedades de caña que poseen la capacidad luego del corte de transformar los azúcares normalmente presentes en sus jugos en una mezcla de oligosacáridos con propiedades prebióticas[1]. En particular los tres isómeros de las kestosas.

Durante los estudios se exploró, usando siropes preparados con diferentes mezclas de monosacáridos, la formación de trisacáridos. La mayor concentración de Kestosas se logró empleando un sirope de uno de los monosacárido que forman la sacarosa.

Palabras claves: kestosas, caña, variedades, HYDROMAG, AIS.

[1] La fermentación de los azúcares prebióticos provoca beneficios para la salud como un incremento en la biomasa fecal y, consecuentemente, incrementa el peso del excremento y/o su frecuencia. La fermentación en el colon por bifidobacterias produce Acidos Grasos de Cadena Corta (AGCC), principalmente acetatos, propionatos y butiratos, gas de hidrogeno y dióxido de carbono y masa celular bacterial. La producción de AGCC conduce a un decremento del pH en el colon que produce un ambiente favorable para las bacterias beneficiosas y desfavorables para las bacterias malignas, como las coniformes. En adición, el pH bajo intestinal facilita la absorción de minerales como calcio, magnesio y zinc. El pH intestinal bajo puede también ayudar a disminuir el riesgo de cáncer en el colon.

ABSTRACT:

This second paper is about the Kestose formation in cane varieties that had been selected due they tendency to form oligosaccharides in their juices immediately after cutting, so it is studied the possibility of use them to the production of sweetener with prebiotics properties.

That is to say, our last obtained results during the studied of varieties that have the capacity after cutting of transform the sugars normally present in their juices in a mix of prebiotics oligosaccharides, is to produce the tree Kestoses isomers. During the studies was explored using mix of different monosaccharides the formation of trisaccharides. The higher concentration of Ketoses was obtained using the monosaccharide present in Sucrose.

Key words: Kestoses, cane, varieties, HYDROMAG, SAS.

INTRODUCCION

Se han detectado en la caña varios oligosacáridos además de la sacarosa que en primera aproximación resultan impurezas Eggleston (2008) durante el proceso de producción de este disacárido, como son la Lactosacarosa Tomoyuki (1999) y las tres Kestosas Borroto (2003), azúcares que resultan de interés por sus propiedades prebióticas. Es decir que de controlarse la formación de oligosacáridos empleando las enzimas de estas variedades se podrían obtener mezclas de azúcares que poseerían propiedades beneficiosas para la salud del hombre.

Los fructooligosacáridos (FOS) y la Lactosacarosa son azúcares naturales prebióticos de sabor dulce, con las ventajas extra de poseer bajo poder calórico y de no ser cariogénicos. La ingestión de azucares prebióticos estimula selectivamente el crecimiento de Bífido-bacterias en el tracto intestinal de los humanos y los animales con importantes beneficios asociados a su salud.

MATERIALES Y METODOS

Los estudios se llevaron a cabo usando cañas frescas de algunas variedades que muestran una alta tendencia a autodegradarse luego del corte. Las cañas se cortaron manualmente en los campos de la provincia Mayabeque, las que fueron desfibradas y prensadas inmediatamente.

La separación de los diferentes azúcares se llevaron a cabo usando una columna llena con hidroxiapatita esféricas con un tamaño de partículas de 50 a 60 um, Ravelo (2005). Este medio se

dispersó en una solución hidroalcohólica al 85% y se empleó para preparar una columna semi-preparativa de 2.5 x 12 cm. Con una capacidad máxima de 30 mg de oligosacáridos.

Para determinar la concentración de oligosacáridos en las muestras se empleo la columna antes descrita y la metodología reportada Ravelo (2005), Ramos (2000).

La separación y cuantificación de los oligosacáridos presentes en los jugos se realizó usando un gradiente alcohólico lineal entre 90 y 30 % en un volumen total de 500 cm^3 usando una velocidad de flujo de 4 cm^3/min.

La determinación de la concentración de oligosacáridos se realizó empleando el método calorimétrico basado en el uso del reactivo de antrona-sulfúrico.

Durante las pruebas que se condujeron para determinar la capacidad del sistema enzimático de la caña de transformar los azúcares presentes en sus jugos (los monosacáridos e incluso la sacarosa) en la mezcla de oligosacáridos que se ha observado en sus jugos después del corte, se usaron columnas (25 x 2.5 cm. y 45 x 5 cm.) rellenas con bagazo, material que fue previamente tratado de manera de que adsorbieran las enzimas.

A través de la columna se bombeo, usando una bomba peristáltica, y manteniendo un ciclo cerrado por diferentes períodos de tiempo (1 a 6 días), siropes de diferente azúcares (Sacarosa, Glucosa, Galactose, Fructosa) que poseían además diferentes pH (de 4 a 7) y temperaturas (regulada entre 40 y 70 ^{o} C usando un termostato).

RESULTADOS Y DISCUSION

La caña de azúcar asombró al hombre por su propiedad de acumular un edulcorante en sus jugos, que no solo le permitió endulzar sus alimentos, sino que le brindó una gran fuente de energía. No obstante, hoy conocemos que la caña en sus jugos es capaz de formar otros azúcares que ofrecen beneficios para su salud, ver nota al pie, los que podrían obtenerse en una escala suficiente grande para facilitar su consumo, usando debidamente las enzimas de la propia caña.

Entre los oligosacáridos que pueden formar la caña se han detectado la 1-kestosa y sus otros dos isómeros, así como la lactosacarosa. Estos cuatro oligosacáridos poseen propiedades prebióticas. Otros azúcares que aparecen en sus jugos luego del corte son la trehalosa y el monosacárido D-Xilosa que no son prebióticos. No obstante, hemos desarrollado inhibidores de las enzimas suficientemente poderosas que permiten manipular la naturaleza de los azúcares que se formen en una mezcla con propiedades prebióticas luego de seleccionarse variedades de caña apropiadas. Hoy se cuenta con los inhibidores IFOPOL, que se pueden usar efectivamente para inhibir la formación de oligosacáridos y

polisacáridos en los jugos de caña, a niveles de concentración que no rebasan los 10 ppm. Los que ya se preparan con especificidad para las diferentes enzimas de la caña.

A continuación se muestran 10 tablas que se corresponden con las 10 variedades escogidas para el estudio. Las 10 columnas de bagazo utilizadas retenían cada una las enzimas de una de las 10 variedades de caña estudiadas, por las que se corrieron siropes al 50 % de los azúcares señalados. Como se puede apreciar en los 10 casos el mejor rendimiento de Kestosas se logra usando los siropes de Glucosa o Fructosa.

ESTUDIO DE LA FORMACION DE KESTOSAS POR LAS VARIEDADES DE CAÑA

Tabla 1

VARIEDAD A
21 meses, Soca

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA	
	ISOMEROS-KESTOSA	1-KESTOSA
Sacarosa	1	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	3	1
Fructosa	3	3
Glucosa	5	2

Tabla 2

VARIEDAD B
21 meses, Soca

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA
	1-KESTOSA
Sacarosa	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	1
Fructosa	3
Glucosa	2

Tabla 3

VARIEDAD C
16 meses, primer retoño

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA	
	ISOMEROS-KESTOSA	1-KESTOSA
Sacarosa	1	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	1	1
Fructosa	2	5
Glucosa	2	4

Tabla 4

VARIEDAD D
16 meses, retoño

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA	
	ISOMEROS-KESTOSA	1-KESTOSA
Sacarosa	1	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	1	2
Fructosa	4	3
Glucosa	3	2

Tabla 5

VARIEDAD E
21 meses, primer retoño

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA
	1-KESTOSA
Sacarosa	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	1
Fructosa	2
Glucosa	2

Tabla 6
VARIEDAD F

12 meses, caña planta

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA
	1- KESTOSA
Sacarosa	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	1
Fructosa	3
Glucosa	3

Tabla 7

VARIEDAD G
12 meses, caña planta

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA
	1-KESTOSA
Sacarosa	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	1
Fructosa	3
Glucosa	3

Tabla 8

VARIEDAD H
12 meses, caña planta

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA	
	ISOMEROS-KESTOSA	1-KESTOSA
Sacarosa	1	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	1	1
Fructosa	2	2
Glucosa	3	3

Tabla 9

VARIEDAD I
12 meses, caña planta

SIROPES, 50 %	AUMENTO RELATIVO A SACAROSA	
	ISOMEROS-KESTOSA	1-KESTOSA
Sacarosa	1	1
Fructosa-Glucosa, 1:1	1	1
Fructosa	2	2
Glucosa	2	2

CONCLUSIONES

1. **Todas las variedades estudiadas forman la 1-Kestosa lo que da idea de que este isómero es el más frecuente en las variedades de caña.**
2. **Los rendimientos mayores de las Kestosas se obtienen usando uno de los dos monosacáridos que forman la sacarosa.**
3. **La mezcla de Glucosa y Fructosa generalmente se comporta de la misma forma que la sacarosa en cuanto a rendimiento.**

REFERENCIAS

1. **Tomoyuki, S. (1999), Keisuke Matsumoto, Ryuichiro Tanaka International Dairy Journal. 9, 69-80.**
2. **Borroto Carlos (2003), Producción de fructooligosacáridos (FOS) a partir de sacarosa utilizando fructosyltransferasa bacteriana Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB). Código del proyecto de negocio: BIO/CIGB/2003-6.**
3. **Ravelo S. Ramos E. L. (2005), "HYDROMAG, un soporte cromatográfico diseñado para la separación de monosacáridos y oligosacáridos". ATAC, 66, 2, 20-24.**
4. **Ramos E. L., Ravelo S., ICINAZ; Muñoz E., Sierra G., Instituto FINLAY; Pérez C., Facultad de Química, UH (2000), "LOS OLIGOSACARIDOS Y LA EFICIENCIA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA." Parte III "Aislamiento y caracterización de los oligosacáridos de la Ja60-5". CubaAzúcar, julio-Sep. p. 52-55.**

5. **Eggleston G., et.al. (2008), "A review of sugar cane deterioration in the United States and South Africa" Proc S Afr. Sugar Technol. Ass 81,72-85.**

Alcohol y bebidas

DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA MEJORA CONTINUA DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO DE CALIDAD E INOCUIDAD IMPLANTADO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN BODEGAS VIGÍA

DESIGN OF A PROCEDURE FOR THE CONTINUOUS IMPROVEMENT OF THE INTEGRATED SYSTEM OF QUALITY MANAGEMENT AND IMPLANTED SAFETY IN THE AREA OF PRODUCTION BODEGAS VIGÍA

Maricela Vega Batista, Idania Blanco Carvajal

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba
E-mail: maricela.vega@icidca.edu.cu

Resumen

El proceso de globalización está poniendo un precio cada día más alto sobre la obligación moral y legal de proveer a clientes y consumidores productos de calidad, inocuos y legales. De manera que la necesidad de proteger la imagen, o sea, la sobrevivencia de las compañías que producen y/o distribuyen alimentos para humanos se hace más imperante.

Considerando entonces la importancia de que los Sistemas de Gestión Integrados de Calidad e Inocuidad constituyen la forma en que una organización dirige y controla todas las actividades que están asociadas a la obtención de productos de calidad e inocuos, en este trabajo se diseña un procedimiento para la mejora continua del Sistema de Gestión Integrado (SGI) implantado en Bodegas Vigía, con vista a lograr introducir una racionalidad en los procesos que se desarrollan en la organización y adquirir una imagen de confianza para las partes interesadas. El procedimiento propuesto se basa en la familia de normas ISO 9000:2008 para la calidad y la ISO 22000: 2005 para la inocuidad.

Para la obtención de información fueron utilizadas técnicas tales como: diagrama causa-efecto, diagrama de pareto, métodos estadísticos, Software MINITAB-15 para la elaboración de gráficos y procesamiento estadístico de la información, entrevistas, tablas, esquemas, cuadros, análisis de la documentación, observación directa, entre otros.

Palabras clave: sistema integrado, calidad, inocuidad, sanidad, bebidas.

Summary

The globalization process is putting a price every higher day on the moral and legal obligation of providing clients and consumers products of quality, innocuous and legal. So that the necessity to protect the image, that is to say, the survival of the companies that produce and/or distribute foods for human it becomes more prevailing.

Considering the importance then that the Integrated Systems of Administration of Quality and Safety constitute the form in that an organization directs and it controls all the activities that are associated to the obtaining of products of quality and innocuous, in this work it is designed a procedure for the continuous improvement of the Integrated System of Management (ISM) implanted in Bodegas Vigía, with view to be able to introduce a rationality in the processes that are developed in the organization and to acquire an image of trust for the interested parts. The proposed procedure is based on the family of norms ISO 9000:2008 for the quality and the ISO 22000: 2005 for the Safety.

For the obtaining of information they were used technical such as: diagram cause-effect, Pareto chart, statistical methods, Software MINITAB-15 for the elaboration of graphics and statistical prosecution of the information, interviews, charts, outlines, squares, analysis of the documentation, direct observation and others.

Keywords: system integrated, quality, safety, health, spirits.

Introducción

En la actualidad cualquier empresa debe enfrentarse a un entorno empresarial muy convulso. El proceso de globalización está poniendo un precio cada día más alto sobre la obligación moral y legal de proveer a clientes y consumidores productos de calidad, inocuos y legales. De manera que la necesidad de proteger la imagen, o sea, la sobrevivencia de las compañías que producen y/o distribuyen alimentos para humanos se hace más imperante, Crespo (2005)

En el escenario internacional, la tendencia hacia los Sistemas de Gestión Integrados (SGI), es tratada cada vez más con mayores fuerzas en la literatura, debido a que gestionar por separado cada sistema es igual a decir mayores costos, esfuerzos y recursos. Se imponen entonces, para los profesionales y para las organizaciones, nuevas exigencias y competencias, Azcanio (2006).

Cuba no se encuentra exenta de los cambios que están ocurriendo a nivel mundial. A partir de las actuales condiciones y del escenario internacional previsible, la política se dirige a enfrentar problemas de la economía y para ello se han definido una serie de lineamientos en cada una de las esferas que conforman la política económica y social, entre los que se encuentran el 208, 209, 211 y 212 del capítulo VII relacionado con la Política Agroindustrial en los que se hace referencia a la aplicación de los sistemas de gestión de calidad de los alimentos, así como el aumento de las producciones y la recuperación de las plantas de derivados y subproductos de la industria azucarera, acorde a la temática de estudio en este trabajo.

Desde los primeros años de la década del 80, el Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ), actualmente Grupo Empresarial Azucarero (AZCUBA), inició la construcción de pequeñas roneras, donde la calidad de los rones que se producían no era la requerida. En estos momentos este organismo ha diseñado una estrategia para involucrar, de manera paulatina, a todas sus roneras en el proceso de certificación de un sistema de gestión, fundamentalmente por la norma NC/ISO 22000:2005, que constituye una herramienta eficaz para lograr alimentos inocuos, en aras de garantizar que los rones puedan ser comercializados tanto dentro como fuera del país, ya que la Resolución 231:04 del MINCEX, establece el control del cumplimiento de los requisitos técnicos para los productos de exportación. Siendo en el caso de alimentos y bebidas, la inspección obligatoria que incluye análisis de calidad a todos los embarques. La frecuencia de dichas inspecciones podría ser reducida en función de la implantación de los Sistemas de Análisis de Riesgos y de los Puntos Críticos de Control (HACCP) en las diferentes empresas productoras.

Dentro de las empresas inmersas en el cambio de su enfoque organizacional a través de la gestión de sus procesos de manera integrada, se encuentra el Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). A los investigadores que allí laboran se les ha dado la tarea de llevar los rones de AZCUBA a la calidad de competencia en el mercado interno y externo y el control sistemático. Para ello, se creó en el 2003 el Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) y dentro de este, el área de producción denominada "Bodegas Vigía", que surge con el objetivo de contribuir, mantener y mejorar el auténtico sabor del ron cubano, producido a partir de la caña de azúcar. La misma se encuentra certificada por un Sistema de Gestión Integrado de Calidad e Inocuidad que le permite gestionar todos los procesos que intervienen en la producción de sus rones e incide en el aumento de la satisfacción de los clientes superando sus expectativas, aumentando la confianza en el consumo de un producto inocuo, así como una mayor competitividad en el mercado, entre otros aspectos. Dicho sistema evidencia oportunidades de mejora en cuanto a los resultados de los procesos en general, a partir de los resultados obtenidos en las auditorías y del propio funcionamiento del SGI. Por lo que se hace necesario mejorar aún más el Sistema de Gestión de la empresa en cuestión, hasta colocarlo a la altura de otras empresas de clase mundial.

Para la obtención de información fueron utilizadas técnicas tales como: diagrama causa-efecto, Software MINITAB-15 para la elaboración de gráficos y procesamiento estadístico de la información, entrevistas, tablas, esquemas, cuadros, análisis de la documentación y observación directa, entre otros.

1. Diseño del procedimiento para la mejora continua del Sistema de Gestión de la Calidad e Inocuidad implantado en Bodegas Vigía

Luego de realizar el análisis bibliográfico del tema de la investigación científica, se procede al establecimiento de un procedimiento para la mejora continua del Sistema de Gestión Integrado, en lo adelante (SGI), partiendo del uso de herramientas como la observación, entrevistas, análisis de documentos, inducción-deducción, enfoque sistémico y trabajo en grupo.

El procedimiento, de gran utilidad para el análisis y mejora de cualquier sistema de gestión, se apoya en cada una de sus fases en la metodología del ciclo Deming que actúa como guía para normalizar y optimizar los trabajos, además de llevar a cabo la mejora continua de los procesos y lograr de una forma sistemática y estructurada la resolución de problemas. Es por ello que constituye una potencial guía para organizaciones que pretendan adoptar y mantener el enfoque de la integración de diferentes sistemas de gestión, no obstante puede ser perfeccionado, ya que es un procedimiento dinámico capaz de permitir la mejora y adaptación a los cambios actuales dependiendo de las características propias de las entidades donde se establezca.

1.1 Diseño del procedimiento

El procedimiento a aplicar en la entidad implica: cambiar el enfoque organizacional para conquistar un mercado que resulta cada día más competitivo, que le ayude a mantener la certificación siendo la misma un reconocimiento documentado de la conformidad del SGI que proporciona una valiosa herramienta de gestión para asegurar y elevar el nivel de satisfacción de las necesidades de los grupos interesados en la organización.
A raíz de lo beneficioso que sería para cualquier entidad la mejora continua del Sistema de Gestión implantado, se brinda el diseño del siguiente procedimiento que consta de tres etapas y estas a su vez, contienen tareas a realizar para dar cumplimiento a las mismas.

Etapa I: Diagnóstico de la situación actual en la empresa

Dentro de esta etapa se caracteriza la entidad objeto de estudio, se realiza un examen detallado de aquellos aspectos que resulten de notable interés y que puedan favorecer o frenar la mejora del SGI dentro de la organización.

Tarea-1 Caracterización de la Empresa

Mediante la realización de esta tarea se presenta una idea general del funcionamiento interno de la organización, basándose en elementos tales como la misión, visión, objeto social, principales clientes y proveedores, así como la política y los objetivos integrados definidos para su SGI.

Tarea-2 Diagnosticar la situación actual en la Empresa

El objetivo de esta tarea es efectuar un diagnóstico interno del verdadero estado en que se encuentra la entidad. Se pretende conocer los errores, irregularidades y desviaciones ya que constituyen aspectos de relevancia a la hora de mantener el SGI.

Se realizará una revisión de la documentación general del Sistema que incluye el Manual, los Procedimientos, los Registros, así como del funcionamiento de los procesos definidos en la entidad, aplicando técnicas como la observación, tormenta de ideas y entrevistas al personal involucrado además, se tendrán en cuenta los resultados de las auditorías realizadas para, a través del uso de los diagramas de causa-efecto y Pareto fundamentar dicho diagnóstico.

Etapa II: Revisión de la documentación del SGI y realización de auditorías internas

En esta etapa se trabaja en la revisión de la documentación del SGI que juega un papel esencial en la mejora y mantenimiento de dicho sistema. Para la recopilación de información se utilizarán técnicas como observación, entrevistas y tormenta de ideas.
Posteriormente a las revisiones se realizarán auditorías internas. Tanto las revisiones como las auditorías internas permitirán a la entidad adquirir una idea de cómo funciona lo que está establecido en la documentación respecto a lo que realmente se hace.

Tarea-1 Elaborar Programa de Revisiones

Mediante la adecuada ejecución de esta tarea se pretende organizar formalmente las revisiones que se realizarán a los procesos y comunicarlas a los trabajadores. Resulta oportuno confeccionar dicho programa que oficialice la fecha de las revisiones y los procesos involucrados, para garantizar la disponibilidad de información y personal necesaria.
El programa de revisiones al SGI debe contener la fecha de la revisión y el proceso a ser revisado. El programa debe ser confeccionado por el Representante del SGI, quien es el máximo responsable de dar cumplimiento al mismo y aprobado por el Representante de la Dirección en la entidad.

Tarea-2 Realizar revisiones según el Programa

Después de quedar definido y aprobado el programa de revisiones se debe proceder a su aplicación, para ratificar si la documentación evidencia realmente el trabajo que se realiza sistemáticamente en las áreas. Para lograr lo antes propuesto, es preciso entrevistarse con el personal de la entidad.

De las revisiones se obtienen las deficiencias o consideraciones necesarias en el diseño de los procesos aprobados con anterioridad y se logra además la familiarización del personal involucrado con la documentación que debe manejar.

Posterior a cada revisión efectuada se elaborará un informe final de revisión, donde se define el proceso revisado y los señalamientos realizados al mismo.

Tarea- 3 Analizar resultados de las revisiones

Corresponde este momento a la evaluación de las deficiencias precedentes, lo que permite establecer las causas de las incoherencias que se puedan presentar y corregir las encontradas. Con el uso del Diagrama Causa-Efecto como herramienta se hace un análisis de los cambios, señalamientos y observaciones obtenidas en la Tarea-2 de esta Etapa en cuestión.

Tarea-4 Efectuar Auditorías Internas

El proceso de auditoría interna es la actividad vital para el mejoramiento de la gestión integrada. La aplicación de auditorías por parte de la organización es un paso inviolable exigido por las normas para implantar un SGI, pues es un instrumento crítico que permite evaluar si el sistema se ajusta a los requisitos establecidos en las mismas, teniendo en cuenta los siguientes criterios: el cumplimiento del conjunto de políticas, procedimientos o requisitos utilizados como referencia; la eficacia del sistema e identificar oportunidades de mejora, por lo que se considera una herramienta de gestión para la propia empresa, ISO-19011 (2002).

La auditoría será desarrollada por el personal que posea la competencia necesaria para realizar dicha actividad. Estas auditorías tienen un carácter independiente pues se realizan de forma tal que los auditores no tengan responsabilidad directa con la parte inspeccionada y tiene como función principal valorar el nivel de conformidad o no conformidad de los elementos que componen el SGI y la eficacia de las acciones correctivas. Dichas auditorías son reflejadas a partir de un Programa Anual de Auditorías previamente establecido por la organización. Este Programa Anual de Auditorías debe complementarse con el Plan de Auditoría y la Matriz del Plan de Auditorías.

Una vez finalizada la auditoría el equipo auditor efectúa la reunión de clausura para informar al auditado y a todo el personal involucrado los hallazgos y las conclusiones de la auditoría, de forma tal que se garantice la clara comprensión y reconocimiento por el auditado de los resultados de la misma.

El informe se prepara bajo la dirección del auditor líder, quien es el responsable de su exactitud y perfección y se elabora por el equipo auditor. Se anexará el listado de los participantes tanto en la reunión de apertura como la de clausura.

El informe final conjuntamente con los documentos y registros de la auditoría pasan al Representante del SGI para que lo ponga en consideración de la Dirección General y pase de manera permanente a ser archivado.

Las No Conformidades detectadas se plasman en Registros de No Conformidades junto a las Acciones Correctivas y Preventivas.

Tarea-5 Analizar resultados de las Auditorías Internas

Para el cumplimiento de esta tarea se hace un análisis de los resultados de las auditorías mediante el seguimiento de las Acciones Correctivas, para comprobar el grado de implementación y el efecto logrado por las acciones correctivas, preventivas y/o de mejora tomadas como resultado del proceso de auditoría.

Es fundamental actuar sobre las desviaciones encontradas, garantizándose por parte del responsable o representante del SGI las acciones de mejora para dar respuesta a las mismas.

Tarea-6 Analizar indicadores de proceso

El Representante del SGI debe evaluar sistemáticamente los indicadores de eficacia de los procesos, de manera que pueda analizar el comportamiento de los mismos, realizando comparaciones con valores obtenidos en períodos anteriores y determinar las posibles causas que provocan desviaciones o anomalías. Estos indicadores se revisan y evalúan haciendo uso del formato de Seguimiento de Indicadores.

Es preciso señalar que cada proceso debe tener al menos un indicador, estos son chequeados por el Representante del SGI.

Para evaluar el desempeño de los procesos a partir del seguimiento de sus indicadores, se realiza un análisis de tendencia, haciendo una comparación entre el nivel de desempeño esperado y el nivel de desempeño obtenido, ISO-9001 (2008).

Tarea-7 Programa de Mejora

La mejora continua es un proceso de reforzamiento del SGI, que se orienta a alcanzar mejoras en el desempeño de los diferentes procesos definidos por la organización, acorde a la política integrada aprobada, es necesario entonces elaborar el Programa de Mejora a partir de los planes de acciones para llevar a cabo los Objetivos de Calidad de la empresa.

Etapa III: Modificar y Mejorar

Una vez que se llevan a cabo de forma adecuada las etapas anteriormente descritas en el procedimiento corresponde transitar al proceso de mejoramiento continuo.

En esta última etapa se persigue ajustar y corregir la documentación del SGI y eliminar las No Conformidades detectadas a partir de las revisiones y auditorías internas realizadas. De igual modo se mejorará el Sistema de Gestión a través de las Acciones Correctivas y Preventivas, el cumplimiento del Programa de Mejora y Revisiones por parte de la Dirección.

Tarea- 1 Modificar la documentación de acuerdo a los resultados de las revisiones

En este período se realizan las correcciones a toda la documentación que presentó señalamientos durante la realización de las revisiones. Toda modificación efectuada en un documento será revisada y aprobada por las mismas personas que llevaron a cabo el documento original y dicha modificación se reflejará en el registro de modificación o cancelación de los documentos controlados.

Una vez aprobado el nuevo documento será distribuido a las personas implicadas, actualizándose el listado de control de distribución. Se retirarán de las áreas los documentos que ya no estén vigentes, siendo

identificado como “cancelado” el documento original y archivado por el Responsable del Sistema de Gestión Integrado o personal asignado. De igual forma se procederá a la actualización de la documentación en soporte electrónico.

Tarea-2 Elaborar Planes de Acciones Correctivas y Preventivas de acuerdo a los resultados de las auditorías internas

En este paso se establecerán las Acciones Correctivas y Preventivas precisando actividades para eliminar y prevenir las causas que provocan la ocurrencia de las No Conformidades y observaciones detectadas en las auditorías internas efectuadas en el transcurso de la investigación.

El Representante del SGI debe archivar todos los registros de no conformidades y observaciones detectadas y asegurarse de que reciban el tratamiento adecuado.

Tarea-3 Desarrollar la revisión por parte de la Dirección

Las revisiones por parte de la Alta Dirección de la entidad se realizan con el propósito de evaluar la continuidad del SGI, pudiendo llegar a profundas modificaciones en diferentes elementos del mismo, así como efectuar algunas modificaciones tanto en la política como en los objetivos integrados, González (2003).

El proceso de revisión debe asegurar que se analicen y evalúen todos los elementos de entradas definidos y que se evidencie el análisis de los elementos de salidas y la toma de acciones de mejora.

Para asegurar un buen análisis de los datos y revisión por la dirección, se deben tener en cuenta:

- Las evaluaciones de oportunidades de mejora
- Resultados de auditorías internas
- Retroalimentación de la satisfacción de las expectativas del cliente
- Las no conformidades registradas y el estado de las acciones preventivas y correctivas.
- El grado de cumplimiento de objetivos y metas
- Recomendaciones para la mejora
-

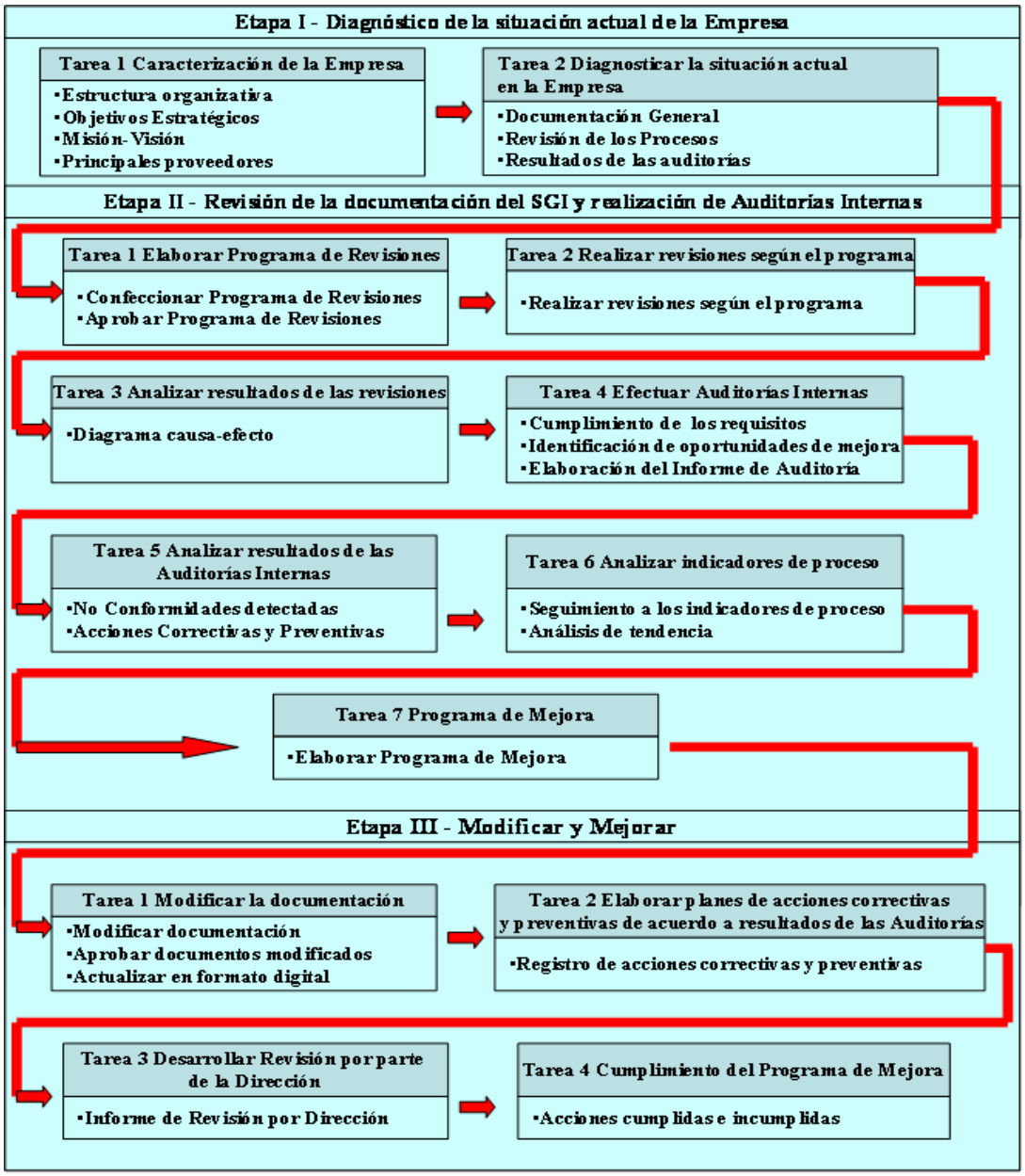
Luego de cada revisión se elabora el Informe de Revisión por la Dirección donde se relacionan los aspectos analizados y las desviaciones detectadas.

Tarea-4 Cumplimiento del Programa de Mejora

El adecuado desarrollo de esta tarea permite mejorar la eficacia del SGI, ya que se garantiza el cumplimiento de los objetivos integrados que se trazó la entidad con anterioridad a través de la consecución de las actividades previstas como parte de este programa. Se comparará la cantidad de acciones cumplidas en tiempo y las que no se han concretado.

A continuación en la figura 1 se muestra cada etapa del procedimiento diseñado con sus respectivas tareas:

Figura 1. Procedimiento para la mejora continua en Bodegas Vigía



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El procedimiento diseñado consta de 3 etapas y cada una de ellas con varias tareas a cumplir, lo que permitirá mejorar la eficacia del SGI a las entidades que se encuentren volcadas en el proceso de mantenimiento de dichos sistemas, asimismo contribuirá a perfeccionar el desempeño de los procesos y minimizar los impactos negativos que se deriven de errores en las actividades.

Referencias

1. AECOC. (2005). "Conceptos generales sobre trazabilidad", from http://www.aecoc.es/web/codificacion.nsf/0/925B62071AAB5C1256F2E00506B2E?Opendocument (revisado julio,2010).
2. Azcanio, G. (2006). "Tendencias de la Gestión Empresarial relacionadas con los Procesos ", from http://www.gestiopolis.com/canales7/ger/gestion-empresarial-relacionada-conprocesos.htm. (revisado agosto, 2010).
3. Codex Alimentarius. (2002). Codex Alimentarius Higiene de los Alimentos textos Básicos. Roma.
4. Crespo, G. (2005). "Gestión de la calidad ", from http://www.gestiopolis.com/administracion-estrategia/calidad-definicion-evolucion-historica.htm (revisado agosto, 2010).
5. Delgado, G.; Ortega, G. (2007) Estrategia para la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.
6. González, A. (2003). Material de la Maestría de Calidad Total. C. ISPJAE.
7. ISO-19011. (2002). Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de calidad y/o ambiental.
8. ISO-9001. (2008). Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
9. Jurán, J. (2000). Manual de la calidad. 5ta ed, M.G. Hill.Vol. II.pp 2.5-2.9
10. NC-136. (2007). Sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control(HACCP) y directrices para su aplicación.
11. NC-113. (2009). Ron- Especificaciones.
12. Peña, G. (2009). Conferencia sobre Certificación de Calidad.

EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD. PROCESO DE CERTIFICACIÓN DE LOS RONES DE AZCUBA

CONFORMITY ASSESSMENT.CERTIFICATION PROCESS OF THE RUMS OF AZCUBA

Vasallo Sordo, MC[1], Blanco Carbajal, I [1], Vega Batista, M.[1], Linares Reyes, A[1] , Lorenzo Izquierdo, M [1], Faillaci, SM[2,3]; Giordano Jesús E [3]

. [1] CERALBE –Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ceralbe@icidca.edu.cu
[2] Instituto Superior de Estudios Ambientales. UNCórdoba, Avda. Vélez Sarsfield 1611 – Ciudad Universitaria –Córdoba – Argentina, silvinafaillaci@gmail.com
[3] Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Cs. Exactas; Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, jesus.e.giordano@gmail.com

Resumen

La tradición en el cultivo de la caña de azúcar, cuenta con características y calidad que emanan de las condiciones geográficas y que en su conjunto proporcionan atributos organolépticos (es decir, que pueden ser percibidos a través de los sentidos) a los productos que derivan de ella

Hoy más que nunca, la sociedad siente preocupaciones por los productos que compran en la medida que son diseñados, producidos, distribuidos y utilizados y los mercados insisten en diferenciar los productos, atendiendo a nuevos valores asociados al consumo.

La industria del ron en AZCUBA, viene dando pasos firmes en lograr que sus productos sean reconocidos y para ello las empresas están trabajando en documentar, implementar y mantener sistemas de gestión de calidad que aseguren la conformidad de sus productos, que conjuntamente con el ensayo de tipo del producto a certificar, que deben ser realizados en laboratorios que cumplan los requisitos de competencia establecidos en la norma NC-ISO/IEC 17025:06 (2006), constituyen las dos evaluaciones cuyos resultados satisfactorios le permiten a dicho producto obtener la Marca Cubana de Conformidad.

El objetivo de este trabajo, es que sirva de guía y orientación a aquellos productores que aún no han logrado la certificación de sus productos.

Palabras claves: certificación, calidad, producto, gestión

Summary

The tradition of the sugar cane agriculture, has features and quality that come from the geographical conditions. This provide organoleptic attributes to the products that derive from it (it means that, they can be perceived through the senses).

Today more than ever, society feels concerns for the products they buy, the way they are designed, produced, distributed and used and the markets insist on differentiate products, responding to new values associated with the consumption.

The rum industry in AZCUBA comes giving clear steps to ensure that their products are recognized, and for this reason the companies are working on documenting, implementing and maintaining quality management systems to ensure the conformity of their products. This step, together with the type test of the product to be certified, that must be carried out in laboratories that meet the requirements of competition established in the standard NC-ISO/IEC 17025:06, constitute the two assessments whose satisfactory results that allows a product to get the Cuban Mark of Conformity.

The objective of this work is to serve as a guide and help to those producers that have not yet achieved the certification of their products.

Key words: certification, quality, products, managemen

Introducción

El proceso de certificación de productos por la Marca Cubana de Conformidad, está regido por documentos internacionales establecidos por la Organización Internacional de Normalización (ISO), las cuales han sido adoptados en Cuba como Normas Cubanas, estableciéndose en los mismos los requisitos que deben ser cumplimentados en el mencionado proceso (ONN, 2003).

La certificación, es el procedimiento mediante el cual una tercera parte diferente e independiente del productor y el comprador, asegura por escrito que un producto, un proceso o un servicio, cumple los requisitos especificados, convirtiéndose en la actividad más valiosa en las transacciones comerciales nacionales e internacionales. Es un elemento insustituible para generar confianza en las relaciones cliente-proveedor **(**NC ISO/IEC GUIA 67,2005**).**

Un sistema de certificación es aquel que tiene sus propias reglas, procedimientos y forma de administración para llevar a cabo una certificación de conformidad. Dicho sistema, debe de ser objetivo, fiable, aceptado por todas las partes interesadas, eficaz, operativo, y estar administrado de manera imparcial y honesta. Su objetivo primario y esencial, es proporcionar los criterios que aseguren al comprador que el producto que adquiere satisface los requisitos pactados

La Oficina Nacional de Normalización, como Órgano de Certificación de la República de Cuba, cumpliendo lo establecido internacionalmente y con vistas a dar mayor credibilidad y transparencia al proceso de certificación de productos por el esquema 5 de la ISO, establece que los ensayos de los requisitos de calidad exigidos en la norma por la cual se evalúa la conformidad del producto, deben ser realizados en laboratorios que cumplan los requisitos de competencia establecidos en la norma NC-ISO/IEC17025.

El objetivo de este trabajo, es que sirva de guía y orientación a aquellos productores de ron que aún no han logrado la certificación de sus productos.

Materiales y Métodos

Para lograr certificar los productos, las organizaciones deben de cumplir determinados requisitos

1 Sistema de gestión de la calidad
Bodegas Vigía comenzó por documentar, implementar y mantener un sistema de gestión de la calidad para poder asegurar la conformidad del producto, en especial, con la NC 113:09 (NC 113, 2009,ISO 9001,2008)
En nuestro caso, no fue necesario optar por contratos externos que afectaran la conformidad del producto con los requisitos,

2 Control de los documentos
Se estableció un procedimiento escrito para el control de los documentos los cuales fueron revisados y aprobados por el personal autorizado.
La existencia de una lista de control de los documentos del control de la calidad es fundamental, al igual que los documentos, los cuales fueron conservados de forma que fueran fácilmente localizados y se evitara su deterioro o pérdida.

3 Responsabilidad de la dirección
Como aspecto de suma importancia fue necesario definir las responsabilidades y la autoridad de todo el personal que dirige, realiza y verifica cualquier trabajo con incidencia en la calidad del producto a certificar y, sobre todo, en aquellos casos en que se precisan facultades y autoridad.
También se identificaron las necesidades de recursos para la producción y para el control del proceso y el producto, lo cual se evidenció mediante los registros

4 Realización del Producto
La organización mantuvo la infraestructura necesaria para lograr la conformidad con los requisitos del producto, así como los servicios de apoyo y el ambiente de trabajo

5. Control de la producción
Se aplicaron las normas, procedimientos e instrucciones de trabajo y se aplicaron técnicas estadísticas para la liberación de los lotes, los cuales son trazables desde las materias hasta el producto final para verificar su conformidad, contando con los ensayos de un laboratorio acreditado por la NC ISO/IEC 17 025:06

6. Preservación del producto
Los productos son preservados en el almacén de productos terminados, el cual está preparado para su preservación hasta la recogida del cliente

Por último, se llenó el Modelo de Solicitud y el Cuestionario de Evaluación preliminar como requisito indispensable para comenzar el proceso de certificación del producto para optar por la Marca Cubana de conformidad. El proceso de certificación de la conformidad de los productos comprende 6 etapas: solicitud, preparación para la evaluación, evaluación, informe de la evaluación, decisión sobre la certificación y supervisión

Resultados

Los productos para los cuales se solicitó la certificación, sus marcas comerciales, las normas de referencia vinculadas, así como el compromiso de cumplir con los requisitos del proceso se identificaron adecuadamente.

El proceso de obtención de la conformidad de los productos Vigía gran Añejo y Vigía gran reserva 18 años, fue llevado a cabo en conjunto con la evaluación in situ para la certificación de Bodegas Vigía por las normas NC ISO 22 000:05, lo cual es un requisito para el proceso de certificación por ser un alimento (ISO,

2005), la NC ISO 9001:08 y su integración., que satisface el cumplimiento de ambas normas. Esta estrategia, facilitó el proceso de certificación de estos rones.

Para el diseño documental y a pesar de que cada norma lleva su documentación particular, se elaboró un único Manual que se le llamó Manual de Calidad e Inocuidad y se propuso una Política que estuviera acorde a los objetivos y la misión del centro.
También se procedió a elaborar el Manual de Procedimientos Operativos Estadarizados (POES) contando con 18 POES, enfocados a ambas normas.

Los conocimientos adquiridos, además de la evaluación tradicional, fueron verificados a través de su aplicación, asegurando un uso eficaz de los mismos dentro de la organización

Se pudo evidenciar, que al establecer los requisitos del sistema de gestión de la calidad que, conjuntamente con el ensayo de tipo del producto a certificar, constituyen las dos evaluaciones más importantes, los resultados satisfactorios permitieron a estos productos, obtener la Marca Cubana de Conformidad por estar conformes con la NC 113:09 ¨ Ron Especificaciones ¨(
El proceso de certificación se basó en la Guía 67. Esta Guía tiene por finalidad facilitar la comprensión de las múltiples posibilidades que existen en el contexto de la certificación de productos, y de esa manera ayudar a aquellos que desean desarrollar la certificación de productos para un fin particular y a aquellos que tienen la responsabilidad de evaluar dichos sistemas.

La certificación de los rones Vigía, dio un impulso multiplicador en el resto de los productores pertenecientes a nuestro grupo empresarial, encontrándose muchos de ellos en proceso, siendo los más avanzados los rones producidos en las roneras de Melanio Hernández, Heriberto Duquesne y Amancio Rodríguez como se muestra en la Tabla I.

Tabla I: Avances en los procesos e certificación de productos y sistemas de algunas roneras de AZCUBA

Fábrica de ron	Sistema Calidad	Sistema inocuidad	Certificación Sistema	Certificación Producto
Melanio H.	Si	Si	En Proceso solicitud	En Proceso Solicitud
Heriberto D.	No	Si	Implantación	Implantación
Amancio R.	No	Si	Implantación	Implantación
Bodegas Vigía	Si	Si	Si	Si

Conclusiones

Se diseñó e implantó un sistema integrado de gestión que preparó las bases para certificar productos, como una mejor forma de incrementar los atributos de los rones producidos por AZCUBA obteniéndose la Marca Cubana de Conformidad para dos rones de AZCUBA: Vigía Gran Añejo y Vigía Gran Reserva 18 años.
Además, se evidenció que se puede llevar los procesos de certificación de sistema y de producto en conjunto como estrategia para lograr ambos objetivos.

Bibliografía

- NC-ISO/IEC 17025:06 (2006), Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayos y Calibración

- ISO 22 000:2005, (2005), Sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos. Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria.
- ISO 9001:08,(2008) Quality Management Systems
- ONN, (2003) Requisitos Relatvos al Control de la Calidad para la Certificación de Productos
- NC ISO/IEC GUIA 67: 05(2005) Evaluación de la Conformidad. Elementos Fundamentales de
    - la Cartificación de Productos
- NC 113:09 (2009) Ron. Especificaciones

SOLERA 2.0: SISTEMA PARA LA GESTIÓN Y CONTROL DE BODEGAS DE AÑEJAMIENTO

SOLERA 2.0: SOFTWARE FOR MANAGING AND CONTROLLING AGEING CELLARS

Autores/Authors: Arnaldo Díaz Molina[*], Idania Blanco Carvajal[*], Mayra Capote Arritola[*].

arnaldo.diaz@icidca.edu.cu, idania.blanco@icidca.edu.cu
http://www.icidca.cu/productos/solera.htm

*Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca # 804 y Carretera Central, Apartado 4026, La Habana, Cuba.

RESUMEN

SOLERA es un sistema para la gestión de información en las bodegas de añejamiento de una fábrica de ron. Su configuración dinámica le permite adaptarse a cualquier tipo de fábrica, independientemente de su organización y/o productos almacenados. Posibilita el registro de bodegas, tipos de depósitos, depósitos, caldos almacenados, características dimensionales e identificadoras de cada tonel, clasificación de extracciones, y los movimientos de agregación y extracción de bebidas. Genera en cada caso gran parte de la información necesaria. Registra los procesos de llenado y vaciado de varios toneles de forma automática, así como su traslado en caso de ser necesario. Calcula automáticamente el añejamiento de cada tonel. Calcula la cantidad de litros almacenados por tonel a partir de su medición en centímetros, aunque permite describir la cantidad de litros directamente. Permite registrar las bajas producidas en cada bodega. Ofrece reportes configurables que sirven para realizar análisis estadísticos y/o controlar eficientemente las actividades realizadas en cada bodega. Garantiza la seguridad e integridad de la información almacenada y es un sistema auditable, por lo que se ajusta a las exigencias de las direcciones actuales. Tanto el software como la documentación están disponibles en español e inglés y se ofrece con su instalación la aplicación, manual del usuario, ayuda local, y el adiestramiento de especialistas en la descripción de los datos y el manejo de todas las herramientas del software. Está instalado en el Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) perteneciente al ICIDCA, y en otras roneras de Cuba.

Palabras clave: solera, toneles, añejamiento, bebidas alcohólicas, software.

SUMMARY

SOLERA is a system useful for the information management in ageing cellars of a rum factory. Its dynamics configuration allows adjusting it to any kind of rum factory, no matter its organization and/or stored products. It allows registering the ageing cellars, deposits types, deposits, stored wines, dimensional and identifying characteristics of each barrel, extractions classification, and the aggregation and extraction beverages movements. It generates the majority needed information in each case. It registers the filling and emptying processes of several barrels automatically, as well as its transfer if it is necessary. It calculates automatically all barrels age, and its volume in liters through centimeters measurements, though users can

define the liters volume directly. It allows registering all discards done in each ageing cellar. It offers configurable reports for statistical analysis and/or controlling efficiently all the activities done in each ageing cellar. It guarantees the integrity and security of stored data, and constitutes an auditable system, being this an important functionality for nowadays factories directions. Either the software as the documentation are offered in English and Spanish. Along with its installation, the application, user manual and offline help are included. The specialists entertainment for describing data and using the system tools could be included if the customer asks for the service. It is installed in the Reference Center on Alcohols and Beverages (CERALBE) located in ICIDCA, besides other Cuban rum factories.

Keywords: solera, barrels, ageing, alcoholic beverages, software.

INTRODUCCIÓN

Según (Bravo 1985), el ron es una bebida alcohólica de alta graduación, cuya producción presenta una serie de etapas condicionadas por factores que pueden influir decisivamente en su calidad. Plantea además que uno de los factores que cabe destacar es el sistema de añejamiento o envejecimiento, que concidiona su sabor y color característicos.

En trabajos publicados por (Casares 1949) y por (Giménez y otros 1997), se describe que el añejamiento 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.

En una fábrica de producción de rones una de las áreas más importantes es la solera, por lo que se debe tener un control estricto sobre 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), cuenta con una solera en el área experimental de producción Bodegas Vigía. Según (Capote 2008), la misma llevaba el control de su solera de forma manual al contar con una pequeña producción, pues sólo disponía de 60 toneles. Al incrementarse los niveles productivos y con ello aumentar la cantidad de toneles surgieron problemas en el mantenimiento confiable de la información y por ello se hizo necesario contar con una herramienta automatizada que llevara el control de cada tonel y garantizara la seguridad de la información procesada. Por otro lado, se determinó que otras roneras del país también llevaban este control de forma manual y presentaban las mismas dificultades, por lo que se requería que el sistema desarrollado fuera capaz de adaptarse al modelo de cualquier fábrica de ron.

Para dar solución a este problema se diseñó e implementó el sistema ***Solera 1.0***, que es un precedente del sistema SOLERA 2.0. El mismo permitía realizar un tratamiento de la información fácil, rápido y seguro, y garantizaba todos los requisitos funcionales expuestos por los especialistas. Sin embargo, sólo se podía instalar en aquellas entidades con similares características al CERALBE, lo cual constituye una seria limitación considerando que cada ronera dispone de su propia organización. Otros problemas relacionados con la tecnología fueron surgiendo, lo cual dificultó en gran medida su generalización e indujo la necesidad de actualizar el software tecnológicamente. Surge así el sistema SOLERA 2.0, que basado en las experiencias acumuladas aporta nuevas herramientas para facilitar el trabajo del especialista y elimina las limitaciones de la versión anterior.

Para el cumplimiento de esta investigación se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Identificación de los procesos desarrollados en las roneras durante las etapas de añejamiento y extracción de bebidas.
- Identificación de las actividades que se pueden automatizar y las dificultades existentes que imponen la necesidad de desarrollar una solución informática.
- Realización de búsquedas bibliográficas en diferentes temáticas asociadas al tema (soleras, añejamiento o envejecimiento de bebidas, terminología utilizada, etc).
- Estudio del estado del arte para identificar los sistemas similares existentes en Cuba y el mundo.
- Estudio de las posibles herramientas de desarrollo y selección de las adecuadas para la implementación del sistema ***Solera***, atendiendo a los requisitos expuestos por los especialistas del sector.
- Diseño e implementación de las herramientas del sistema SOLERA 2.0.
- Instalación del primer prototipo del sistema en el CERALBE para cumplir con una rigurosa etapa de validación. Probar las herramientas del software con datos reales.
- Instalación de la versión definitiva del sistema en el CERALBE y otras roneras de Cuba.
- Entrenamiento de especialistas en el empleo del sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema ***Solera*** ha sido instalado en el CERALBE y en cuatro roneras localizadas en las provincias Mayabeque, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Holguín, respectivamente. Desde su instalación se ofrecen el software, un manual del usuario y un fichero de ayuda que puede consultarse desde cualquier herramienta de la aplicación. Se cuenta además con un plegable promocional, pues se ha convertido en un producto comerciable para el ICIDCA.

Según opiniones de los usuarios sobre el empleo cotidiano de la aplicación y atendiendo a los avales entregados por los mismos, los resultados obtenidos les reportan a las entidades beneficios como una mayor eficiencia en el trabajo diario de los especialistas, ahorro de tiempo en la gestión y análisis de la información, control exacto de los parámetros de almacenamiento de cada tonel de la solera, registro de todo el historial de bajas y movimientos realizados, cuantificación de los gastos por concepto de extracciones, cuantificación de la cantidad de litros por producto, ubicación de cada tonel según el producto seleccionado, mayor seguridad e integridad de la información almacenada.

Con la introducción de esta herramienta informática los especialistas del sector cuentan con toda la información necesaria para realizar nuevas formulaciones y planes de producción. Este último aspecto, junto con la cuantificación de los gastos por concepto de extracción de bebidas, implica un impacto económico muy beneficioso para las roneras, lo cual ha sido avalado por estas entidades.

Este sistema ha generado nuevos ingresos para el ICIDCA y se prevé su instalación en otras roneras cubanas, lo que aumentará estos ingresos por concepto de venta. Por su utilidad y adaptabilidad a cualquier tipo de ronera puede convertirse en un producto exportable. En este sentido se han recibido varias solicitudes.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Tabla I: Principales características del sistema SOLERA 2.0

Característica	Descripción del sistema
Adaptabilidad a los requisitos de cualquier tipo de ronera	Presenta herramientas totalmente configurables. En este sentido permite la inclusión de información primaria relacionada con: Bodegas, Tipos de depósitos, Tamaño de los toneles, Clasificación de extracciones, Productos almacenados, Toneles, Bajas y Movimientos. Cada reporte puede personalizarse con la configuración de los parámetros de búsqueda y la selección de los campos a mostrar. El diseño del software está pensado para cualquier tipo de solera, independientemente de su tamaño, organización y/o productos almacenados; aspecto este fundamental para lograr la generalización del sistema en Cuba y facilitar su instalación en roneras extranjeras.
Plataforma de desarrollo e instalación	Fue desarrollado en el lenguaje de programación C++ y la base de datos diseñada en el gestor de bases de datos Microsoft SQL Server. Presenta un asistente de instalación muy fácil de utilizar que guía al usuario por todos los pasos necesarios para instalar el programa.
Arquitectura	Funciona de manera distribuida utilizando una arquitectura cliente-servidor, donde el servidor aloja la base de datos central y en cada cliente se encuentra instalado el software. No existen límites en cuanto a la cantidad de solicitudes concurrentes que se puedan realizar en un momento dado. La capacidad de almacenamiento está restringida únicamente por la cantidad de espacio disponible en el servidor de bases de datos. Gracias a esta configuración ningún usuario puede acceder directamente a la base de datos, sino que tiene que utilizar el sistema a través de su interfaz de usuario, favoreciendo la seguridad de la información. Otras ventajas son explicadas más adelante.
Generación automática de datos	Propone en la mayoría de los casos valores por defecto que aceleran la edición de los datos de entrada. Calcula de forma automática la edad de los toneles, su altura en centímetros y la cantidad de litros después de cada movimiento, por lo que la información de cada tonel se actualiza constantemente de forma transparente para los usuarios. Esta característica es muy beneficiosa para los especialistas, pues implica un gran ahorro de tiempo y elimina errores inherentes a los cálculos manuales.
Operaciones avanzadas sobre varios toneles simultáneamente	Permite registrar el llenado y vaciado de uno o varios toneles simultáneamente. En este sentido el usuario no tiene que preocuparse por el tamaño de los toneles, la cantidad de litros almacenados o su añejamiento, pues el sistema concibe todos estos parámetros y los calcula automáticamente, indicando además la altura en centímetros antes y después de cada movimiento. Permite el traslado de uno o varios toneles hacia otra ubicación

	de la solera. Con estas opciones el sistema se ajusta fácilmente a las roneras que disponen de un gran número de toneles y presentan amplios planes de producción y ventas, en las que se pueden ejecutar cientos de movimientos diarios.
Compatibilidad con otros sistemas y formatos	Presenta opciones para exportar los listados de información de cada reporte hacia Microsoft Excel, lo que facilita la realización de cualquier tipo de análisis estadístico sobre los datos. Permite además la exportación hacia Adobe Acrobat PDF.
Seguridad del sistema	El acceso al sistema se realiza mediante la solicitud de cuenta de usuario con contraseña. Toda la información relacionada con los usuarios se almacena de forma encriptada en la base de datos. Se implementaron niveles de seguridad según la autoridad que posea cada usuario en el manejo de la información. Todas las actividades realizadas por los usuarios se registran en un sistema de trazas, donde se almacenan por cada acción generada los campos de fecha, hora, descripción y herramienta en donde se ejecutó.
Seguridad e integridad de la información	Cada cierto tiempo (configurado por el administrador de la base de datos) se realiza una copia de seguridad de toda la información almacenada. El sistema, por su parte, ofrece la posibilidad de ejecutar esta acción cuando el usuario lo estime conveniente, o bien de restaurar la última copia de seguridad en caso de surgir algún problema. Otras opciones como la compactación y reparación de la base de datos se realizan semanalmente sin que el usuario intervenga en ello.
Requisitos de hardware y software	Se puede ejecutar en cualquier computadora convencional que disponga de al menos 256 MB de memoria RAM y 500 MB de espacio de almacenamiento disponible. No necesita otros requisitos especiales de hardware. Funciona en cualquier versión del sistema operativo Windows a partir de Windows 2000, incluyendo la última actualización de Windows 7.

ARQUITECTURA

El sistema funciona bajo una arquitectura cliente-servidor. Esto significa que los datos están alojados en una base de datos central con toda la seguridad requerida, y en cada estación de trabajo (las computadoras de los usuarios) se instala el software SOLERA 2.0, que se encarga de establecer la comunicación con el servidor central. El establecimiento de la comunicación software-datos es configurable, por lo que esta aplicación es fácilmente adaptable a cualquier distribución en red. En la figura 1 se muestra un esquema de este tipo de comunicación.

Las ventajas de la configuración cliente-servidor son muchas, pero las más notables se enfocan en torno a la seguridad y disponibilidad de la información. Por ejemplo, si una estación de trabajo deja de funcionar por cualquier motivo, las otras tendrán acceso a la información, pues los datos están almacenados en un servidor

central. Por otro lado, un servidor es generalmente una máquina con una arquitectura de hardware robusta, que además de poseer una capacidad mucho mayor de procesamiento, rara vez se daña.

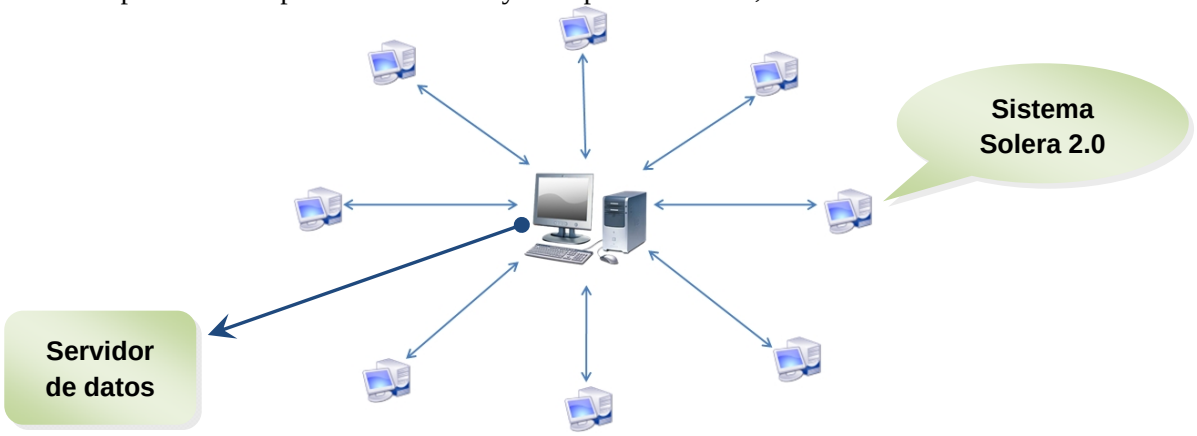


Figura 1: Ejemplo de arquitectura cliente-servidor

Existen variantes más sofisticadas con innumerables prestaciones, pero en principio, el funcionamiento es este. En cualquier caso, sin embargo, existen algunas características poco positivas que deben tomarse en consideración. En primer lugar, la información no está en la máquina del usuario y la transferencia de datos se realiza mediante una red que el sistema no verifica, por lo que pueden existir virus ocultos que dañen la información. Por otro lado, si el servidor central falla por algún motivo y no existe un respaldo de seguridad, la información no estará disponible para ninguna estación de trabajo hasta que se restablezca el servicio.

No obstante a estas consideraciones, es conveniente aclarar que estos aspectos rara vez afectan el funcionamiento de un sistema en particular. Es innegable que este tipo de comunicación hace del sistema SOLERA 2.0 un software mucho más robusto con un amplio alcance para los usuarios. Nótese que un especialista podrá realizar consultas de información desde su estación de trabajo con total independencia de las otras estaciones, algo que no sería posible con una configuración local.

HERRAMIENTAS PRINCIPALES

Desde la ventana principal el usuario tiene acceso a todas las opciones del sistema. Cada operación está agrupada en diferentes clasificaciones de menús según su objetivo dentro del sistema. Se han proporcionado además botones de acción rápida para el acceso a las herramientas más utilizadas. Esta interfaz valida que sólo los usuarios autorizados accedan a cada herramienta. Como se muestra en la figura 2, la barra de botones superior está enfocada en las opciones relacionadas con las actividades de la solera, mientras que la barra inferior se enfoca en las operaciones de seguridad e integridad de la información, incluyendo la documentación de ayuda.

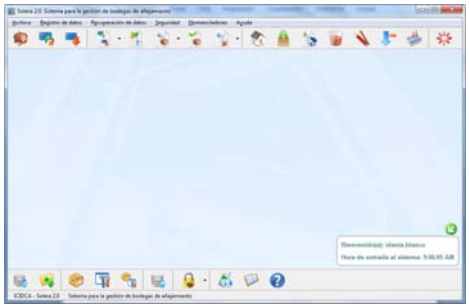


Figura 2: Interfaz principal del sistema

Codificadores de datos: *Almacenan la información primaria del sistema*. Su objetivo es personalizar el funcionamiento del software para que sea adaptable a cualquier tipo de solera independientemente de su tamaño, organización, cantidad de toneles y/o productos almacenados. Se ofrecen un total de 7 codificadores o nomencladores, como se les nombra en algunas bibliografías:

- Listado de bodegas.
- Listado de tipos de depósticos. Ej: Rack, Pila Gallega, Parle, etc.
- Listado de depósitos.
- Listado de productos. Incluye los precios en divisa y su equivalente en moneda nacional de cada producto.
- Tamaño de los toneles.
- Listado de tipos de extracciones.
- Datos generales de la entidad.

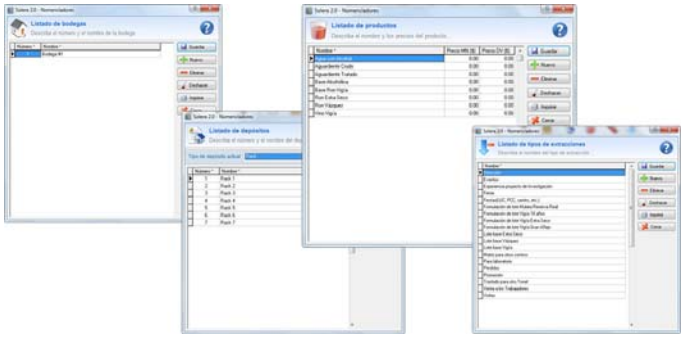


Figura 3: Algunos codificadores del sistema

Sólo con la descripción de estos 7 codificadores el sistema ajusta sus herramientas para que sean útiles en cualquier tipo de ronera, garantizando en este proceso todas las validaciones necesarias para evitar la inserción de datos erróneos y asegurar la consistencia de los datos almacenados.

Registro de toneles: *Almacena la información de cada tonel de la entidad*. Con esta herramienta el especialista puede describir los datos de cada uno de sus toneles para luego consultarlos por cualquiera de sus campos. Esta herramienta genera automáticamente el añejamiento de cada tonel tomando para ello la fecha actual del servidor central y los datos del último movimiento realizado. Genera además por cada tonel, a medida que se le realizan los movimientos, la altura actual en centímetros y la cantidad de litros almacenados.

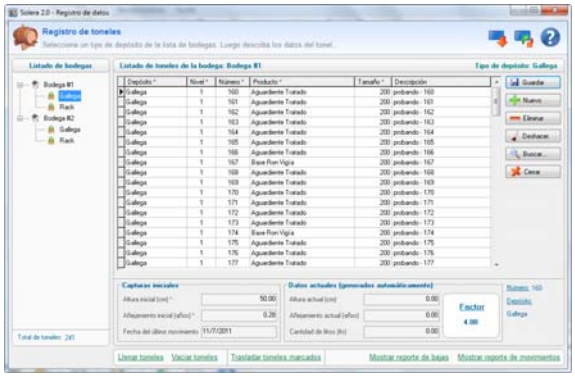


Figura 4: Herramienta para el registro de toneles

Cuando se selecciona un tonel aparecen dos opciones, una para darle de baja o reactivarlo, y otra para ejecutarle un movimiento. En el caso de darle de baja a un tonel (figura 5.a) sólo hay que describir la fecha y la causa de la baja, encargándose el sistema del trabajo restante para eliminar virtualmente (se oculta pero no se elimina realmente) el tonel. En el caso de un nuevo movimiento (figura 5.b) se especifica la altura en centímetros del tonel, el número del lote, el número del vale, el añejamiento de lo añadido en el caso de una agregación o el tipo de extracción en el caso de una extracción, y la causa del movimiento. Si se describe algún dato que no coincide con los rangos concebibles para el tonel seleccionado el sistema no permite realizar el movimiento. En caso de realizar el movimiento el software calcula al añejamiento actual del tonel, su altura en centímetros y la cantidad de litros resultante.

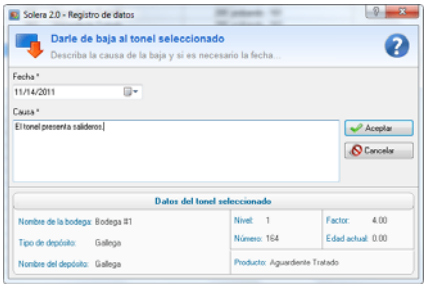


Figura 5.a: Darle de baja a un tonel

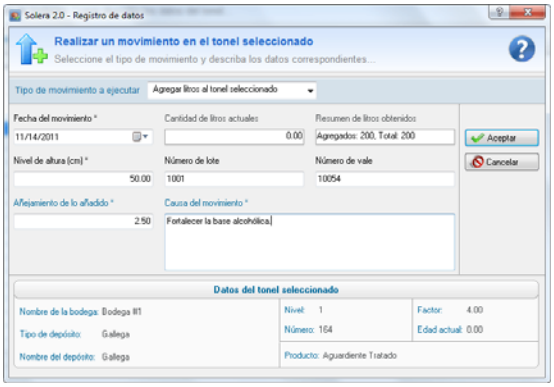


Figura 5.b: Nuevo movimiento para agregar litros

<u>Registro de movimientos:</u> *Almacena la información de cada movimiento realizado*. En este sentido registra la identificación del tonel, el tipo de movimiento y la información significativa del tonel antes y después del movimiento, ejemplo: cantidad de litros y añejamiento. Presenta opciones para filtrar los resultados, permitiendo seleccionar una bodega, un tipo de depósito y un rango de fechas.

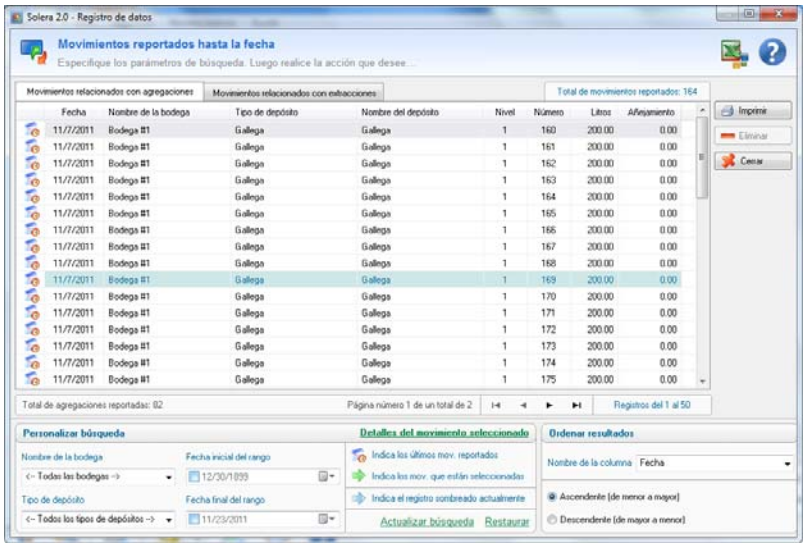


Figura 6: Movimientos registrados

Esta herramienta permite observar el historial de movimientos realizados, pero no ofrece la posibilidad de agregar un nuevo movimiento, ya que esta operación se realiza desde el registro de toneles. Los movimientos aparecen separados en agregaciones y extracciones y pueden ser exportados hacia Microsoft Excel, Adobe PDF o imprimirse.

Registro de bajas: *Mantiene un historial con todas las bajas realizadas*. Con esta herramienta los especialistas pueden arribar a conclusiones sobre los efectos que están causando determinadas bajas, y si tienen relación con la ubicación de los toneles. El listado de bajas puede exportarse hacia Microsoft Excel, Adobe PDF o imprimirse.

Reportes: El sistema ofrece todos los reportes necesarios para analizar eficientemente el funcionamiento de la solera. Los mismos han sido diseñados a partir de las experiencias acumuladas por los especialistas y se agrupan en tres clasificaciones, los relacionados con los movimientos, los relacionados con la información de los toneles y los relacionados con los productos almacenados. En algunos casos se combinan estas clasificaciones para dar solución a los requisitos de los usuarios. Algunos reportes son:

- Bajas por tonel: Muestra el historial de bajas realizadas por cada tonel.
- Movimientos por tonel y periodo: Muestra los movimientos realizados a cada tonel en un periodo de tiempo determinado.
- Reporte de agregaciones: Muestra el historial de agregaciones realizadas por bodega, producto y periodo.
- Reporte de extracciones: Muestra el historial de extracciones realizadas por bodega, producto y periodo.
- Valoración de extracciones por periodo: Calcula el gasto incurrido por la entidad por concepto de extracción de bebidas.
- Toneles por rango de edad: Muestra los toneles con un añejamiento determinado.
- Toneles llenos: Muestra los toneles que son considerados como llenos atendiendo al nivel de holgura en centímetros especificado.
- Toneles vacíos: Muestra los toneles que son considerados como vacíos atendiendo al nivel de holgura en centímetros especificado.
- Situación de los toneles para formular: Muestra los parámetros fundamentales de cada tonel, incluyendo el porciento de llenado, para realizar nuevas formulaciones. Se pueden analizar todos los toneles o aquellos con un determinado añejamiento y/o producto almacenado.
- Cantidad de litros por producto: Calcula la cantidad de litros almacenados por cada tipo de producto.
- Ubicación de los toneles por producto: Muestra la ubicación de los toneles que almacenen un producto determinado.
- Listado de toneles por depósito: Muestra los toneles situados en un depósito determinado.
- Listado de toneles por depósito y producto: Muestra los toneles situados en un depósito determinado que tengan almacenado el producto especificado.
- Listado de toneles por producto, litros y añejamiento: Muestra los toneles atendiendo al producto almacenado, a la cantidad de litros y a su añejamiento.

Todas las herramientas para la obtención de información disponen de una paleta de configuración que permite personalizar los parámetros de búsqueda. Otras opciones son la de exportar el listado hacia Microsoft Excel y la generación de una plantilla de impresión, desde la cual se puede imprimir el documento generado o exportarlo hacia Adobe PDF.

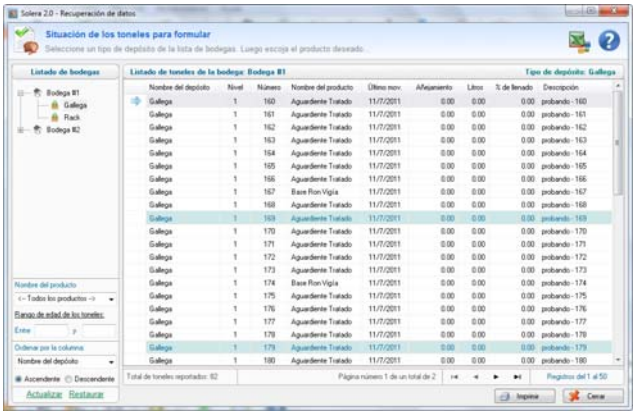


Figura 7.a: Reporte configurable

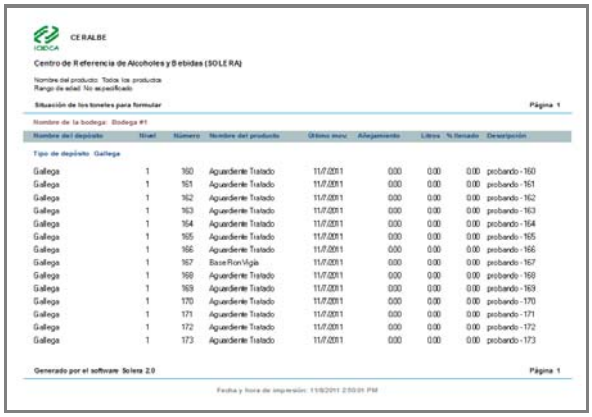
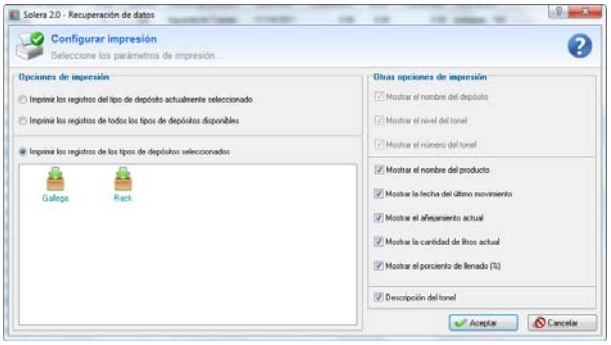


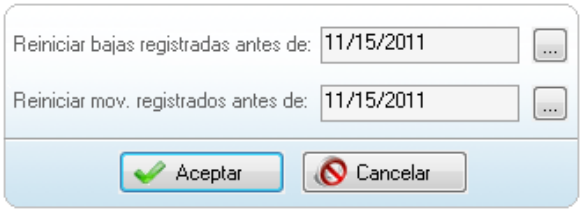
Figura 7.b: Hoja de impresión generada



En cada caso, el especialista puede personalizar la plantilla de impresión seleccionando los campos que desea mostrar, aunque existen algunos que por su importancia es obligatorio imprimir, este es el caso de los campos que identifican a un tonel determinado.

Figura 8: Configurar la plantilla de impresión.

Transferencia y consulta de datos antiguos: Es común que los especialistas evalúen solamente la información más actualizada, dejando los reportes anteriores para análisis estadísticos o partes relacionados con alguna inspección. El sistema ***Solera*** ofrece una alternativa para garantizar esta práctica. Cuando se desea marcar a un grupo de registros como "no actuales", se especifican las fechas a partir de las cuales se desean mantener los registros (movimientos y bajas) en la base de datos central. Luego aparecen una serie de confirmaciones y cuando se termina el proceso, se habrá generado un fichero de extensión ***.sla*** en la propia estación de trabajo con la información no deseada. A partir de ese momento los registros antiguos desaparecen de la base de datos central, pero no se pierden, para consultarlos basta con abrir el archivo mencionado y el sistema se adapta para establecer una conexión local, ofreciendo entonces todos los reportes mencionados anteriormente.



Una vez concluida la consulta de datos antiguos el usuario puede restablecer la conexión remota original, obteniendo entonces los registros más actualizados.

Figura 9: Ventana para la transferencia de datos antiguos.

No es necesario tener abierta la aplicación para ejecutar los archivos con extensión ***.sla***, pues el instalador del sistema ajusta los registros de Windows para que cuando se ejecute uno de estos archivos desde el explorador, se abra el software ***Solera*** con la conexión adecuada.

Seguridad: Como se expuso en la Tabla I, el sistema SOLERA 2.0 dispone de varios esquemas de seguridad. Desde el punto de vista del usuario se exige para poder acceder a la información la descripción de una cuenta de usuario con contraseña. Una vez autenticado, el sistema determina cuales herramientas puede activar en dependencia del nivel de autoridad del especialista autenticado. Estos niveles son, en orden de mayor a menor autoridad: (Administrador general, Administrador, Usuario avanzado y Usuario restringido). Mientras que un administrador general puede ejecutar cualquier acción, un usuario restringido puede sólo consultar información sin posibilidad alguna de editarla o exportarla. Estos niveles se explican detalladamente en la documentación de ayuda del software.

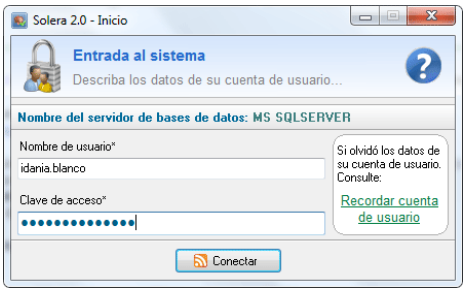


Figura 10.a: Autenticación de usuario

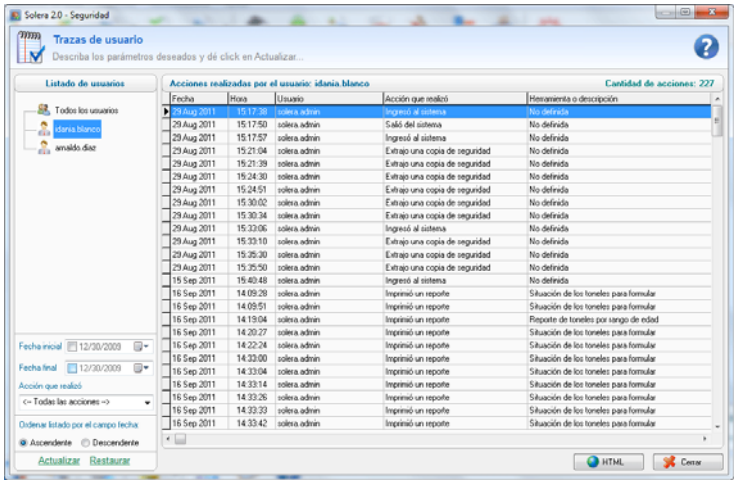


Figura 10.b: Registro de trazas de usuario

Como se observa en la figura 10.b, cada acción realizada por cada usuario es registrada en un sistema de trazas que se ejecuta paralelamente a la aplicación. En cada traza se almacena la identificación del usuario, fecha y hora en que fue ejecutada, la acción realizada y la herramienta que se puso de manifiesto. Este proceso potencia la seguridad del sistema y permite llegar a conclusiones sobre las actividades realizadas por cada especialista. El tiempo máximo que se almacenan estos registros es de un año de antigüedad.

Documentación y ayuda: Con la instalación del software se brinda un manual del usuario y un fichero de ayuda que puede consultarse desde cualquier herramienta. Se ofrecen los datos generales del ICIDCA y la información de contacto necesaria para localizar a los autores. Con estas opciones, el usuario puede aclarar cualquier duda sin necesidad de que los desarrolladores del software se dirijan a su entidad.

BENEFICIOS APORTADOS

Los resultados de este sistema le reportan a las roneras los siguientes beneficios:

- Mayor eficiencia en el trabajo diario de los especialistas.
- Ahorro de tiempo en la gestión y análisis de la información.
- Control exacto de la altura en centímetros, cantidad de litros almacenados y añejamiento de cada tonel de la solera.
- Control de las bajas ejecutadas en las bodegas de añejamiento.
- Almacenamiento de todo el historial de movimientos realizados.

- Cuantificación de los gastos por concepto de extracciones, mostrando los gastos incurridos en divisa y su equivalente en moneda nacional.
- Cuantificación de la cantidad de litros por producto, así como la ubicación exacta de cada tonel según el producto seleccionado.
- Mayor seguridad e integridad de la información almacenada.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de las condiciones actuales en las roneras cubanas se pudieron identificar los problemas existentes para gestionar y controlar las actividades en las soleras.

Constituye una necesidad para las roneras de Cuba la instalación de un sistema como el ***Solera***, lo cual ha sido avalado por especialistas del sector.

Se ha creado una herramienta informática capaz de administrar toda la información de las roneras durante las etapas de añejamiento y extracción de bebidas. El resultado consituye una variante muy ventajosa para los especialistas del sector, y puede implantarse en cualquier tipo de ronera, independientemente de su tamaño, organización y/o productos almacenados.

Se cuenta con una herramienta totalmente cubana, cuyo costo es mucho menor que los sistemas similares existentes en el mundo. El entrenamiento de los especialistas, así como el mantenimiento post venta del software es garantizado por el ICIDCA.

El sistema ***Solera*** garantiza todos los aspectos de seguridad exigidos por las inspecciones realizadas a las roneras.

Con el análisis de los costos estimados del software, así como de los beneficios tangibles e intangibles que se pueden alcanzar, se ha determinado que el desarrollo del sistema ha sido factible desde el punto de vista económico.

Se registró el sistema ***Solera*** en el Centro Nacional de Derechos de Autor CENDA y en el MIC.

Es un producto comerciable. Por sus características puede instalarse tanto en roneras cubanas como extranjeras.

RECOMENDACIONES

Aprovechar las experiencias acumuladas con la instalación del software para su generalización en todas las roneras cubanas.

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.

Medio ambiente

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE VINAZAS DE DESTILERÍAS EN REACTORES UASB

POWER GENERATION FROM ANAEROBIC TRATMENT OF DISTILLERIES VINASSES IN UASB REACTORS

Yaniris Lorenzo Acosta, Fidel Domenech López, Mariela Gallardo Capote, Lixis Rojas Sariol, Felipe Eng Sánchez, Juana Chanfón y Roxana Fernández.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
yaniris.lorenzo@icidca.edu.cu

Resumen

Los procesos de digestión anaeróbicos son muy utilizados para el tratamiento de residuales, por lo que presentamos sus ventajas y desventajas, así como el tratamiento del efluente más agresivo del sector sucroalcoholero (vinazas de destilerías) en reactores anaerobios UASB (reactores de cama de lodo de flujo ascendente); que por un lado trata biológicamente el residual y se produce un biocombustible, como vía para atenuar dos grandes problemas: la contaminación de aguas y la insuficiencia de energía. De esta manera los objetivos del trabajo son: Brindar una panorámica sobre las ventajas y aplicabilidad del tratamiento anaeróbico de vinazas de destilerías en reactores UASB para la producción de Biogás, con fines energéticos, y demostrar la viabilidad económica de la tecnología de producción de biogás para su conversión en energía eléctrica. Para demostrar la viabilidad técnico-económica se presenta un caso de estudio donde se tratan 800 m^3/d de vinazas y se producen 13.070 m^3 de biogás/d, para una generación diaria de electricidad de 22.220 kWh y 4,70 t/d de lodo fertilizante. La factibilidad económica se evalúa utilizando el software "COMFAR III EXPERT" aplicando a la venta de los certificados de reducción de emisiones (CERs), según protocolo de Kioto. Los resultados evidencian la factibilidad con un VAN al 10% de 4.325.947,14 USD, una TIR del 22,57 y un período de recuperación de 5,77 años; siendo las materias primas las que más inciden en los costos unitarios de 0,39 Moneda Total/m^3 de biogás.

Palabras claves: Tratamiento de vinazas de destilerías, digestión anaerobia, biogás, reactores UASB.

Summary

Anaerobic digestion processes are widely used for wastewater treatment, so we show their advantages and disadvantages, as well as the treatment of the most aggressive effluents from sugar and alcohol sector (distillery vinasses) in anaerobic UASB reactor (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket), which treats the residual biologically in one side, and produces biofuel, as a way to overcome two major problems: water pollution and energy failure. In this way, the work objectives are: To provide an overview of the advantages and applicability of anaerobic treatment of distilleries vinasses in UASB reactors for biogas production with energy purposes, and to demonstrate the economic viability of the

biogas production technology to convert it into electrical power. The paper performs a study case in order to demonstrate the economic viability where 800 m^3/d of vinasses are treated and 13 070 m^3 of biogas/d are produced, for a daily electricity generation of 22.220 kW and 4,70 t/d of fertilizer sludge. The economic feasibility is evaluated using the economic analysis software "COMFAR III EXPERT" applied to the sales of certified emission reductions (CERs) according to Kyoto Protocol. The results show the feasibility with an NPV to 10% of $ 4 325 947,14, an IRR of 22,57 and a recovery period of 5,77 years, being the costs of raw materials the most affecting on the unit costs of 0,39 Total Currency/m^3 of biogas

Keywords: Distillery vinasse treatment, anaerobic digestion, biogas, UASB reactors.

Introducción

Hoy día la humanidad, permanece castigada por la aguda insuficiencia de fuentes de energía y el deterioro acelerado del medio ambiente. El gran reto es resolver estas amenazas al mismo tiempo, sin comprometer las próximas generaciones. Para ello se hace necesario encontrar fuentes alternativas de combustibles ecológicamente atractivas, lo cual requiere del diseño de una tecnología apropiada económica y tecnológicamente.

Las vías microbiológicas de producción de energía (biogás) a partir de sustratos biológicamente degradables, por digestión anaerobia, representan una excelente alternativa para la sustitución de combustibles fósiles no renovables que se utilizan en la actualidad, a la vez que ofrece soluciones eficientes que dan respuesta a la contaminación de las aguas residuales *Lettinga (1991) y Wesley (2000)*. 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. De esta forma el tratamiento de vinazas de destilería por digestión anaerobia para la producción de biogás, es una alternativa prometedora para el tratamiento del residual más agresivo del sector sucroalcoholero *Lettinga (1991), Wesley (2000) y Lorenzo (2008).*

Los reactores más empleados a escala industrial para el tratamiento de efluentes líquidos por digestión anaerobia son los Reactores Anaerobio de Cama de Lodo de Flujo Ascendente, o Up Flow Anaerobic Sludge Blanket conocido por sus siglas en inglés como (reactor UASB), los cuales fueron desarrollados en Holanda en los años 70´ por *Lettinga (1991)* y sus colaboradores. La aplicabilidad de estos reactores se basa en la posibilidad de tratar efluentes líquidos de muy alta carga orgánica a bajos tiempos de retención (bajos tiempos de tratamiento) y eficiencia de hasta 90% con bajos costos de construcción, producción y mantenimiento, *Pérez (2000), Menéndez (2007) y Lorenzo (2008)*, por lo que fueron muy utilizado desde los años 80´ en países tropicales para el tratamiento del residual más agresivo de la industria sucroalcoholera: las vinazas o mostos de destilerías; siendo Brasil el país pionero en aplicarlo *Wesley (2000), Weiland (2010) y (Terry (2012)* .

De esta manera el trabajo tiene como **objetivos:**

- Brindar una panorámica sobre las ventajas y aplicabilidad del tratamiento anaeróbico del residual más agresivo de la industria sucroalcoholera en reactores UASB para la producción de Biogás, con fines energéticos.
- Demostrar la viabilidad económica de la tecnología de producción de biogás para su conversión en energía eléctrica.

Materiales y Métodos

Para demostrar la factibilidad de la tecnología de digestión anaerobia empleando vinazas de destilerías tratadas en reactores UASB, el trabajo hace un análisis del estado del arte de esta tecnología, teniendo en cuenta los reportes nacionales e internacionales del tema. La viabilidad económica se presenta haciendo uso del software económico COMFAR III EXPERT tomando las premisas y los datos económicos de la planta de Biogás del complejo agroindustrial de Heriberto Duquesne, Villa Clara, Cuba, como caso de estudio.

Tratamiento anaeróbico de vinazas de destilería en reactores UASB para la producción de biogás.

El reactor más empleado para los tratamientos anaeróbicos de residuales biodegradables de alta carga orgánica es el Reactores Anaerobio de Cama de Lodo de Flujo Ascendente, o Up Flow Anaerobic Sludge Blanket conocido por sus siglas en inglés como (reactor UASB).

Las razones principales de la aplicabilidad de los reactores UASB son: *Lettinga, (1991), Wesley (2000) y Terry (2012).*

- ✓ La capacidad de remover con alta eficiencia la demanda química de oxígeno, incluso en aguas con altas concentraciones de materia orgánica.
- ✓ 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.
- ✓ pueden trabajara a bajos tiempo de retención hidráulico (Tabla I).
- ✓ por ser sencillos y poseer en la parte superior un separador de gases y sólidos.
- ✓ por tener relativamente bajos costos de inversión y operación y mantenimiento, comparado con otros reactores.

Tabla I. Plantas de tratamiento anaerobio con reactores UASB a diferentes cargas orgánicas *Lorenzo (2008)*

Compañías	Tipo de producto	Vol. reactor m^3/d	Flujo m^3/d	DBO mg/l	DQO mg/l	T ºC	Carga Orgánica Volumétrica $kgDQO/m^3/d$	TRH (h)	Eficiencia DBO %	Eficiencia DQO %
Venco (NL)	Licores	50	36	-	18	30 - 35	13,0	33	-	90
Bavaria (H)	Cervecería	1400	6000	1000	1 600	20 - 24	6,8	5,6	90	80
Usina (BRA)	Destilería	120	60	-	35	35	15,0	48	-	80
Usina Sao Joao (BRA)	Destilería	1500	750	-	30	35	15,0	48	-	80
Ontarctica (BRA)	Cervecería	1200	3100	1900	3 000	30 - 35	8,0	9	80	75
Polar C.A. (VEN)	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. Se evidencia también, que el empleo de estos reactores para el tratamiento de los efluentes de destilerías son óptimos, y se justifica por los grandes volúmenes de residuales generados por día (según capacidad de producción de cada destilería) y las altas concentraciones del residual en forma de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Estos tipos de residuales pueden ser tratados a altas cargas orgánicas y tiempos cortos de retención con altos valores de remoción de la contaminación desde 75 a 90% *Lorenzo (2008) Terry (2012).*

La desventaja principal de estos reactores es que las aguas residuales no deben contener altos valores de sulfatos ni sólidos suspendidos, pues de esta forma disminuye el rendimiento de biogás por inhibición de

la bacterias metanogénicas y para el caso de aguas residuales con altos contenido de sólidos pueden ocurren fenómenos de lavado en el reactor y acidificación del medio. Estos reactores además, necesitan de un lodo granular y en caso de no contar con ellos a partir de otras plantas de tratamientos, se deberá adaptar el mismo; por consiguiente el tiempo de puesta en marcha de la planta se alargaría aproximadamente de 6 a 8 meses *Obaya et. al (2005), Lorenzo (2008).*Además el proceso puede ser inhibido por la presencia de altos niveles de potasio, altos niveles de metales u altos niveles de compuestos fenólicos en el residual a tratar, así como altas concentraciones de DQO por encima de 100 g/l lo que puede ser resuelto diluyendo la vinaza hasta aproximadamente 50 g/l de DQO *Terry (2012).*

Autores como *Lettinga (1991), Wesley (2000), Terry (2012)* hacen referencia a la factibilidad técnica del tratamiento de las vinazas de destilería (residual de alta carga orgánica) en reactores UASB; siendo Brasil el país latinoamericano pionero en implementar a escala industrial esta tecnología desde 1981 en la destilería Central Jacques Richer, la que contaba con un digestor de 330 m^3 *Wesley (2000).*

En Cuba investigadores como *Pérez et. al (2000)* y *Bermúdez (2003),* han trabajado en el tratamiento de vinazas de destilería en reactores UASB a escala de banco y a escala de laboratorio en ensayos discontinuos, respectivamente, obteniendo alta remoción de la materia orgánica (alrededor del 80%). *Obaya et. al (2005)* y *Lorenzo (2008)* del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de azúcar (ICIDCA), también demostraron la factibilidad tecnológica de la producción de biogás en reactores UASB a partir del tratamiento de las vinazas de destilerías cubanas.

La tecnología de tratamiento de vinazas de destilería aplicada por el ICIDCA, a nivel industrial, está basada en digestores con cama de lodos de flujo ascendente (UASB), la que fue probada a escala de laboratorio y puesta en marcha a escala industrial en el laboratorio de aguas del ICIDCA y en la empresa azucarera Heriberto Duquesne, respectivamente. La planta industrial está diseñada para tratar 800 m^3 de vinaza en tres reactores de biogás de 1300 m^3 cada uno para producir alrededor de 16000 m^3 biogás/d *Obaya et. al (2005)* y alrededor de 3 t de lodo fertilizante/d. Actualmente después de varios cambios tecnológicos de su concepción original *Lorenzo (2008),* la planta ha podido trabajar continuamente, demostrándose la innovación tecnológica de estos cambios operacionales y constructivos. El biogás producido en esta planta es conducido hasta la caldera del ingenio azucarero (anexo a la planta) para la generación de vapor como sustituto de fuel oil y a partir de la zafra 2011-2012 otra parte del biogás se ha utilizado para la cocción de alimentos de 500 familias de la población aledaña al complejo fabril y para el abastecimiento del comedor obrero de la empresa.

Las experiencias a escala de laboratorio, piloto e industrial de esta tecnología, demuestran la factibilidad técnica de producción de Biogás a partir de residuales de la industria sucroalcoholera cubana, en especial las vinazas de destilería, las cuales poseen altas cargas orgánicas e impactan al medio, si no son tratadas adecuadamente.

Otras de las potencialidades y aplicabilidad de las tecnologías de producción de biogás a partir del tratamiento de efluentes, es que se son consideradas a nivel internacional, como la mejor alternativa de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), pues poseen un alto potencial de reducción de gases de efecto invernadero (GEI), ya que estos efluentes de alta carga orgánica, al descomponerse, emiten grandes cantidades de metano (CH_4) y otros gases nocivos que son "secuestrados" en el biogás que será utilizado con fines energéticos. Se considera también que la tecnología de producción de biogás en reactores UASB es la más prometedora y factible de estas tecnologías para aplicar a los proyectos MDL, pues el tratamiento de los efluentes y la generación de biogás como biocombustible, se produce en grandes volúmenes con relación a la cantidad de residual a tratar y en tiempos muy cortos (de 1 a 3 días) *Cubaenergía (2010).* De esta forma los proyectos de producción de biogás a partir de vinazas de destilerías pueden ser apoyados económicamente, mediante los acuerdos de ventas de bonos de CO_2, a partir de la reducción de las emisiones del proyecto, acuerdo conveniado en el protocolo de Kioto;

ayudando de esta forma a los países desarrollados a cumplir parte de sus compromisos de reducción de emisiones, mediante la compra de los bonos de CO_2, equivalentes a los certificados de reducción de emisiones (CERs), así como también a contribuir con el desarrollo sostenible del país encargado del proyecto *Cubaenergía (2010).*

Factibilidad técnico-económica de la producción de biogás a partir del tratamiento anaeróbico de vinazas de destilerías en reactores UASB.

En el proceso de producción de alcohol las mieles y o jugos son fermentados y posteriormente destilados para separar el alcohol contenido en el líquido fermentado. La corriente de efluentes resultante, conocida como vinazas o mostos de destilerías (ver características en la Tabla II), tiene una Demanda Química de Oxígeno de cerca de 50 g/L (cuando la producción de alcohol es a partir de miel B) y un bajo pH, produciéndose de 14-16 litros de vinazas por litro de alcohol producido. La destilería de estudio genera un volumen de mosto de 800 m^3/d los cuales no pueden ser vertidos a ningún curso receptor sin tratamiento previo.

Tabla II. Caracterización de las vinazas de la destilería *Lorenzo (2008).*

Parámetros	**Unidad**	**Promedio**
DQOt	g/L	47,61
DBO	g/L	23,00
pH	-	4,04
ST	g/L	43,43
STF	g/L	13,86
STV	g/L	29,57
SST	g/L	3,31
SSF	g/L	1,98
SSV	g/L	1,33
SDT	g/L	42,10
SDF	g/L	11,88
SDV	g/L	30,22
Nitrógeno	g/L	0,36
Fósforo	g/L	0,45
Calcio	g/L	0,29
Sulfatos	g/L	2,75
Cloruros	g/L	5,64

Aspectos tecnológicos de la producción de biogás a partir de vinaza de la destilería.

La planta de Biogás del caso de estudio trata 800 m^3 de vinaza en tres reactores de biogás de 1300 m^3 cada uno, para una producción de biogás que se utiliza para producir electricidad y entregar al Sistema Energético Nacional.

La tecnología de producción de biogás propuesta se divide en ocho áreas de trabajo:

1- Recepción de la vinaza.
2- Adecuación del medio de fermentación.
3- Primer tratamiento: Pre-acidificación y digestión anaerobia.
4- Segundo Tratamiento: Fermentación aeróbica con biodiscos.
5- Adecuación y almacenamiento del biogás.

6- Producción de energía eléctrica.
7- Secado y despacho de lodos.
8- Servicios Auxiliares.

1. Área de recepción de la vinaza.

El residual alcohólico (vinaza) a la salida de la columna de destilación tiene una temperatura de 95-100°C aproximadamente. Para utilizar parte del calor de las vinazas hay instalado intercambiadores de calor de tubos y corazas para calentar los vinos de la fermentación a contracorriente, bajando su temperatura hasta 85 ^{o}C. La vinaza cruda se conduce por gravedad hasta un tanque receptor ubicado en la planta de biogás.

2. Adecuación del medio de fermentación.

En el local de adecuación del medio de fermentación se realizan las operaciones de enfriamiento, adición de nutrientes, ajuste del pH.

La vinaza intercambia calor en dos etapas con dos intercambiadores a placas, primero con los efluentes de la planta de tratamiento y luego con agua. Esta última se recircula mediante una torre de enfriamiento de tiro inducido. En este proceso la vinaza disminuye su temperatura hasta 37oC lo que permite lograr la temperatura adecuada del medio.

En un tanque Batch agitado son adicionados los nutrientes (N y P) necesarios para el crecimiento de la biomasa responsable de la degradación de la materia orgánica dentro del reactor. Esta operación se realiza solo hasta que los microorganismos anaeróbicos y el lodo microbiológico esté adaptado completamente (primeros 5 a 6 años de explotación de la planta). Luego de la adición de nutrientes se ajusta el pH con una solución de Cal necesarias para elevar el pH de la vinaza entre 6,5 y 7,5, rango óptimo para el buen desarrollo de los microorganismos. La carga volumétrica de trabajo es de 20 kg DQO m^3/d.

3. Primer tratamiento. Pre-acidificación y digestión anaerobia.

Los Sedimentadores – Preacidificadores (Tanques SP) correspondientes a cada módulo del reactor UASB, tiene como función sedimentar la cal no disuelta y las bacterias acidogénicas suspendidas que se producen en el proceso de acidificación y de esta forma el medio de fermentación pasa a los reactores UASB.

Estos reactores trabajan con un tiempo de retención hidráulico de 2 día y para evitar el lavado de lodos a la salida de los reactores, poseen un equipo separador de gases, sólidos y líquidos muy eficiente, a la vez que la operación en flujo ascendente, garantiza la formación de un lodo granular de alta sedimentabilidad.

4. Segundo Tratamiento: Fermentación aeróbica con biodiscos.

El efluente de los reactores, es recogido por unas canales de derrame situada a ambos lados de los reactores y conducido por tuberías al segundo tratamiento (aeróbico) con el objetivo de eliminar el 30 % de la materia orgánica restante.

5. Adecuación y almacenamiento del Biogás.

El gas obtenido en el reactor UASB pasa a un sistema de desulfurización compuesto por una torre de lavado y a un reactor de desulfurización para eliminar el H_2S. Una vez desulfurizado se almacena en un gasómetro de campana móvil que se desliza por una estructura de acero, con capacidad de 500 m^3.

6- Producción de energía eléctrica.

El biogás producido y libre de H_2S (desulfurizado) se suministra a la turbina que genera la energía eléctrica que se vende al Sistema Electroenergético Nacional. Diariamente se estima una producción de 22 220 kWh.

7. Secado y despacho de lodos.

El secado de los lodos húmedos se llevará a cabo en un separador de sólidos. En esta etapa los lodos húmedos generados en las áreas del primer y segundo tratamiento, junto con los del área de adecuación y almacenamiento del biogás, serán conducidos hasta el separador, obteniéndose de esta forma un total de 4,73 t/d de lodo fertilizante.

8. Servicios Auxiliares.

Agua de proceso:

El suministro de agua industrial es mediante el bombeo de agua de pozo. De acuerdo con esta tecnología, el consumo de agua industrial puede ser hasta de 76 m^3/d.

Esta tecnología de producción de biogás contribuye a mitigar el calentamiento global por la disminución de las emisiones de CO_2 a la atmósfera, por el petróleo combustible dejado de consumir y por la captura y destrucción del metano generado en la descomposición de la materia orgánica.

Viabilidad económica.

Para evaluar la factibilidad económica de la propuesta tecnológica se emplea la herramienta para análisis financieros y económicos, el software COMFAR III EXPERT y para los procedimientos, los descritos en su manual de usuario. Dicho software es avalado por la ONUDI desde el año 2000, como ayuda en el análisis de proyectos de inversión, estudios de oportunidad, prefactibilidad y factibilidad para las inversiones internacionales *ONUDI (2001)*.

Las salidas o resultados del proyecto, el software lo realiza en una sola moneda como moneda total, pero permite calcular los costos en otra moneda creada por el usuario a partir del porciento (%) que representa la segunda moneda con respecto a la moneda total.

Bases y premisas económicas para el caso de estudio.

- La planta se ubica dentro del perímetro de la destilería propuesta, por lo cual el costo de adquisición del terreno es cero.
- La planta opera 270 días al año.
- Se considera que el biogás producido será destinado totalmente para alimentar la microturbina y generar electricidad.
- El horizonte de planificación financiera es para 20 años incluyendo el año de construcción.
- El monto de preparación y acondicionamiento del terreno representa un 10% del valor total del equipamiento, lo cual esta dentro del margen considerado. Esta cifra tiene en cuenta, fundamentalmente, los trabajos asociados a la construcción del digestor anaeróbico propuesto por el ICIDCA.
- La inversión para las Obras de Ingeniería Civil y estructuras representa un 5% del valor total del equipamiento.
- El monto considerado para los equipos tecnológicos proviene de estimaciones realizadas con el auxilio de programas de cómputo profesionales.
- En la estimación de los gastos pre-operativos asociados al proyecto se toma un 5% del valor total del equipamiento.

- Para la estimación del monto necesario para los imprevistos del proyecto, se toma un 5% del valor total del equipamiento, según los márgenes para imprevistos que sugiere el Manual de Estudios de Viabilidad Industrial de la *ONUDI (2001)*.
- La moneda extranjera se consideró como dólares americanos (USD) y la moneda local, como pesos cubanos (MN), a una tasa de cambio de 1USD = 1 MN.
- Para el cálculo de los productos generados en la planta, así como los insumos de esta tecnología se utilizan las diez (10) ecuaciones básicas, reportada por *Lorenzo (2011)*.
- Se tomó como año de referencia para el análisis de producción, el año 5.

Resultados y Discusión

Los balances de materiales para una planta de biogás que trata 800 m3/d de vinaza que posee las características reflejadas en la tabla II, aplicando la tecnología de tratamiento descrita anteriormente, arroja como resultado una producción de biogás diario de 13.070 m^3 y 4,70 t/d de lodo fertilizante.

En la Tabla III se muestra el desglose de la inversión fija por sus componentes principales, mientras que en la Tabla IV aparece reflejado el desglose de la inversión total, incluyendo el monto de los gastos pre-operativos y de capital de trabajo asociados al proyecto.

Tabla III. Costo Total de Inversión Fija del Proyecto.

PARTIDAS	VALOR (MT)
Adquisición del terreno	0
Preparación y acondicionamiento del terreno	322 652,60
Obras ingeniería civil, estructuras y edificaciones	161 326,30
Maquinaria y equipos	3 226 526,00
Imprevistos	161 326,30
TOTAL INVERSIÓN FIJA	**3 871 831,20**
Parte en Divisas (USD)	100%

MT: Moneda total

Se aprecia en la tabla III que la partida Maquinaria y Equipos es la más importante dentro del Costo Total de Inversión Fija del Proyecto.

Tabla IV. Resumen del Monto Total de la Inversión.

PARTIDAS	TOTAL	Construcción	Total Producción (año 5)
Costos de inversión fija.	3 871 831,20	3 871 831,20	
Gastos pre-operativos.	604 531,30	604 531,30	
Aumento de capital de trabajo neto.	5 773,17		5 773,17
COSTOS TOTALES DE INVERSION	**4 482 135,67**	4 476 362,50	5 773,17
Parte en Divisas (USD)	100%	100%	100%

Las premisas fundamentales para la estimación de los costos de producción son las siguientes:

- Los precios de los insumos de la producción (fosfato diamónico, urea, cal y agua) se tomaron de los precios de las importaciones para Cuba por el Ministerio del Azúcar.

- Los costos de las materias primas (nutrientes), solo se tienen en cuenta en los primeros 5 años de producción, según tecnología propuesta por el ICIDCA.
- Se considera el monto de la partida "costos de administración", como el pago necesario para el monitoreo y validación de las ventas de los Certificados de Créditos de Carbono (CERs), que es el 20 % de las ventas de los CERs en cada año.
- Los primeros dos años de vida del proyecto no se obtendrán ganancias por las ventas de los CERs, pues es el plazo máximo para los trámites de monitoreo y validación por la junta directiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio *Cubaenergía (2010).*

Los insumos necesarios para la producción de biogás a máxima capacidad, así como los principales productos generados con esta tecnología, se enuncian en la tabla V.

Tabla V. Programa de producción e insumos en el año 5 de referencia.

Producto o Insumo	**U**	**Flujo diario**
Insumos		
Vinaza (43 kg DQO/m^3)	m^3/d	900
Cal	t/d	2,19
agua	m^3/d	76,60
nutrientes	t/d	0,88
Productos		
Biogás	m^3N/d	13 072,00
Electricidad diaria	kW	22 223,00
Lodo	t/d	4,73
CO_2 dejados de emitir	t/d	71

La vinaza no tiene costo por ser un insumo que proviene de la destilería, fábrica anexa a la planta de biogás y que se genera dentro del propio complejo fabril.
Las cantidades de CO_2 dejadas de emitir se calcularon a partir de la metodología internacional para los proyectos de reducción de emisiones del Mecanismo de Desarrollo Limpio *Cubaenergía (2010).*

La ficha de costo de la tecnología de producción de biogás a partir de vinaza de destilería para generar energía eléctrica, se aprecia en la tabla VI, para el año 5 de producción,

Tabla VI. Ficha de costo de la producción de biogás a partir de vinazas de destilería.

Partidas	**Valor (MT) (año 5)**
Materias primas	495 783,37
Servicios generales	50 696,85
Mano de Obra	27 223,20
Reparaciones y mantenimiento	185 525,00
Costos de administración	38 317,34
Depreciación	169 392,62
COSTO DE PRODUCCION TOTAL	**1 409 907,57**
Parte en Divisas (USD)	88,58%

Se aprecia en la tabla VI que el elemento de costo más importante es el valor de las materias primas.
El costo unitario es de 0,39 MT/m^3N.

Evaluación financiera del proyecto.

La evaluación financiera del proyecto se realiza a partir del análisis de los elementos que a continuación se exponen, considerando los siguientes supuestos:

- No se considera el efecto de la inflación en la evaluación financiera.
- La evaluación se realiza en ambas monedas y un factor de descuento del 10%.
- El proyecto será apoyado como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), acordando la compra de Certificados de Créditos de Carbono (CERs) en un acuerdo a largo plazo de 20 año, que incluirá pagos de 10 dólares/t de CO_2 dejados de emitir.
- Las fuentes de financiación se consideran a partir de un préstamo a largo plazo para el pago de la inversión fija, en moneda extranjera, a un interés del 10%, con el primer año de gracia y capitalizando intereses. Esta deuda se pagará en cuotas regulares en 10 años.
- El proyecto pagará un impuesto a la renta del 35% en moneda local a partir del 2do año de producción.

Indicadores de Rentabilidad para la Inversión Total.

La tabla VII muestra los indicadores de rentabilidad de la inversión.

Tabla VII. Indicadores de Rentabilidad de la Inversión Total.

Indicadores	**Valor**
Valor Actual Neto al 10% (USD)	4 325 947,14
Tasa Interna de Retorno (%)	22,57
Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) (años)	5,77
Razón VAN/Inversión (RVAN)	1,04

Se aprecia en la Tabla VII que el Valor Actual Neto (VAN) es positivo y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es superior a la tasa de descuento empleada (10%), lo que demuestra la factibilidad económica del proyecto de inversión en un periodo de recuperación de 5,77 años, tiempo razonable dentro del horizonte de planificación del proyecto. Lo que se evidencia en el indicador RVAN, haciéndolo un proyecto atractivo, ya que por cada peso invertido se obtiene una utilidad neta actualizada de 1,04 en MT.

Al analizar el flujo financiero del proyecto, se evidencia la necesidad de pedir préstamos a corto plazo para pagar en moneda local los costos directos e indirectos como mano de obra, cuentas por pagar, etc., a pesar de que el proyecto en moneda total tiene excedentes. Otra vía para ajustar las monedas sería la venta de divisas (moneda extranjera), siendo esta alternativa la más factible económicamente. En este caso se realizó el análisis para la alternativa menos favorable, con préstamos a corto plazo en todos los años, a pagar con un interés del 10%.

A partir de los resultados económicos se evidencia y se llega a la conclusión de que esta tecnología tiene una gran viabilidad financiera, pues la factibilidad de estos tipos de proyectos ambientales, no se sustentan por las ganancias netas, sino por el impacto ambiental y social que tiene su implementación, ya que pocas veces tienen ganancias y factibilidad económica. De esta manera las ventas de los CERs en

estos proyectos, inyectan una entrada de efectivos extra, siendo de esta forma factibles económicamente y muy atractivos para los países en vías de desarrollo.

Todo lo anterior evidencian la factibilidad tecnológica, económica y ambiental de la tecnología de producción de biogás a partir de vinazas de destilerías, pues se resuelven tres problemas a la vez: el impacto ambiental (con el tratamiento de las vinazas de destilerías), la insuficiencia de fuentes de energía renovables (con la generación de biogás) y la rentabilidad de la inversión (con la venta de los CERs).

Conclusiones

1. La digestión anaerobia para el tratamiento de residuales industriales de alta carga orgánica, como son las vinazas de destilerías tratadas en reactores UASB, representa una alternativa de tratamiento factible para estos efluentes, pues por un lado trata biológicamente el residual y por otro se produce un biocombustible con fines energéticos, con opción de financiamiento internacional, sustentada en el Mecanismos de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto.
2. Los resultados económicos del caso de estudio evidencian la viabilidad financiera de la tecnología para un VAN (4 325 947,14 USD), una TIR (22,57%) y un PRI (5,77 años).

Referencias

- Bermúdez, R., Rodríguez, S., Martínez, M. C., Ferry, A. (2003), Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás, *Tecnología Química.* 22 (2), 44-37.
- Cubaenergía. (2010), Fortalecimiento de capacidades para la implementación del Mecanismo de Desarrollo Limpio en Cuba, [CD room]. Primer taller Nacional, Ciudad Habana.
- Lettinga, G., Hulshoff, L. (1991), UASB Process desing for various types of wastewater. *J Water Science and Technology.* 24 (8), 87-107.
- Lorenzo, Y. (2008), La Energía en la Protección del Medio Ambiente. Estudio de las modificaciones al esquema tecnológico de la producción de biogás a escala piloto. Tesis para optar por el grado de Master en Ciencias. ISPJAE, Ciudad Habana.
- Lorenzo, Y. (2011), Doctorado en Medo Ambiente. CUJAE-UPV 2009-2011. Resultados de docencia e investigación. 1ra ed. Valencia: UPV, p.183-198. ISBN: 978-84-8363-834-7.
- Menéndez, C., Pérez Olmo, J. (2007), Proceso para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales (Varela, F. ed.). Ciudad de La Habana, pp, 52-255.
- Obaya, M. C., Valdés, E., Lorenzo, Y., Gallardo, M., León, O. L., Diez, K. *et al.* (2005), Mecanismos de desarrollo limpio en una planta de tratamiento de vinazas de azúcar con reactores UASB. Consideraciones técnicas y económicas sobre su aplicación. *Tecnología del Agua.* 263, 89-98.
- ONUDI. (2001), COMFAR III Expert para Windows. Manual del usuario. (ONUDI ed.). Viena, pp,159
- Pérez, J. L., Bermúdez, R., Cárdenas, J. R. (2000), Viabilidad técnico-económica del establecimiento de un biodigestor UASB en la destilería Nauyú. *Tecnología Química.* 20 (2), 68-60.
- Terry, A.I. (2012), Comportamento da Biomassa de Reator Anaeróbio Utilizado no Processamento de Vinhaça de Destilaria de Álcool. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Hidráulica e Saneamento. São Carlos.

- Weiland, P. (2010), Biogas production: current state and perspectivas, *J Appl Microbiol Biotechnol*. 85, 849–860.
- Wesley, J. y Barbosa, L. A. (2000), Vinhaca de cana de açúcar (Agropecuária. ed.). Série Engenharia Agrícola, Guaíba, Vol. 1, pp, 155-179.

TRANSFORMACIÓN GENÉTICA DE LEVADURAS INDUSTRIALES MEDIADA POR *AGROBACTERIUM TUMEFACIENS*

GENETIC TRANSFORMATION OF INDUSTRIAL YEASTS MEDIATED BY *AGROBACTERIUM TUMEFACIENS*

Tania González[1], Felipe Eng[1], Isis Amores[1], Reinaldo Fraga[1], Jorge Félix Borroto[1].

[1]Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).Vía Blanca 804 y Carretera Central, PO Box: 4026, CP: 11000, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
tania.gonzalez@icidca.edu.cu, felipe.eng@icidca.edu.cu, isis.amores@icidca.edu.cu, reinaldo.fraga@icidca.edu.cu, jorge.borroto@icidca.edu.cu

RESUMEN

La expresión de genes heterólogos en levaduras permite mejorar sus propiedades naturales, la adquisición de nuevos caracteres y la producción a gran escala de proteínas recombinantes. *Saccharomyces cerevisiae* ha sido extensamente utilizada con estos propósitos. Más recientemente se ha demostrado el potencial de *Candida utilis* para la expresión de genes heterólogos. Sin embargo, los sistemas de expresión para esta levadura son escasos y están protegidos por patentes. Es necesario desarrollar nuevos vectores para transformar este microorganismo de interés industrial. En el presente trabajo se demuestra por primera vez la posibilidad de transformar esta especie a través de un sistema mediado por *Agrobacterium tumefaciens*. Se obtuvieron colonias resistentes al antibiótico utilizado como marcador de selección, aunque no se expresó el gen "reportero". Este mismo resultado se obtuvo en *Saccharomyces cerevisiae* utilizada como control positivo, debido probablemente a la pérdida de nucleótidos en el extremo 3' del ADN integrado, un fenómeno descrito para plantas. Se propone el desarrollo de nuevos vectores binarios para solucionar este problema y el uso de lacasas fúngicas como "reporteras". Esta estrategia podría ser utilizada para el mejoramiento genético de cepas de esta especie, con vistas a la bioconversión de efluentes industriales.

Palabras clave: *Candida utilis*, *Agrobacterium tumefaciens*, transformación genética.

ABSTRACT

Heterologous gene expression allows to improve natural properties of yeasts, the acquirement of new characters and the production of recombinant proteins. *Saccharomyces cerevisiae* has long been used for this aims. Recently, the potential of *Candida utilis* for heterologous gene expression has also been proved. Transformation systems for this species are scarce y mostly protected under patent. Therefore, it is indispensable to design new systems to efficiently express foreign genes in this promissory industrial yeast. The present work describes for the first time the development of a novel integrative transformation system for *C. utilis,* based on the use of *Agrobacterium tumefaciens.* They were obtained colonies resistant to the

antibiotic used as selection marker, although the reporter gene was not expressed. The same result was obtained for *Saccharomyces cerevisiae* used as positive control, probably due to the lost of nucleotides at the 3' end of the integrated DNA, a phenomenum described for plants. They are proposed strategies to overcome this trouble, as well as the use of fungal laccases as reporters. This strategie would permit the genetic improvement of this specie y its use in the bioconversion of industrial wastes.

Keywords: *Candida utilis*, *Agrobacterium tumefaciens*, genetic transformation.

INTRODUCCIÓN

La levadura *Candida utilis* es un microorganismo de gran importancia industrial. Se ha utilizado en la obtención a gran escala de proteína unicelular, a partir de fuentes de carbono baratas, para la alimentación animal (Boze y otros, 1992; Ichii y otros, 1993). La transformación genética de *C. utilis* ha permitido producir altos niveles de α-amilasa, carotenoides, xilanasa y ácido L-láctico (Kondo y otros, 1997; Miura y otros, 1998, 1999; Ikushima y otros, 2009; Wey y otros, 2010; Tamakawa y otros, 2012). A pesar de su potencial para la expresión heteróloga, existen pocos informes relacionados con la producción de proteínas recombinantes en esta especie, como consecuencia de la carencia de sistemas de transformación adecuados. Es indispensable el diseño de nuevos vectores de clonaje para expresar de forma eficiente los genes de interés en esta promisoria levadura industrial.

Agrobacterium tumefaciens es una bacteria fitopatógena que induce la formación de tumores en plantas a través de la transferencia e integración de un fragmento del plásmido Ti en el genoma de numerosas especies vegetales. Esta cualidad natural se ha empleado para la transformación genética de diversas especies de plantas (Tinland, 1996). Se ha demostrado que en condiciones de laboratorio la gama de hospederos a transformar mediante *Agrobacterium* puede extenderse a numerosos eucariotas no plantas (Lacroix y otros, 2006). De esta forma, la transformación mediada por *Agrobacterium* (TMA) se ha revelado como fuente de nuevos protocolos para transformar más de 80 especies, además de las vegetales (Soltani y otros, 2008). Debido a su alta eficiencia, la TMA, se ha convertido en una herramienta poderosa para la genética molecular de hongos, especialmente levaduras. Con el antecedente de que cuatro especies de *Candida* han sido transformadas por esta vía (Michielse y otros, 2005; Zhiming y otros, 2008), la TMA podría ser una buena alternativa para el desarrollo de nuevos sistemas de transformación para *C. utilis*.

En Cuba se ha desarrollado una tecnología para producir *C. utilis* para la alimentación animal a partir de vinazas de destilería, como una alternativa para usar estos efluentes y reducir su carga orgánica previo a su vertimiento final. Estos efluentes tienen un impacto ecológico negativo debido a su alto contenido en materia orgánica y color muy oscuro (Pant y Adholeya, 2007; Satyawali y Balakrishnan, 2008). La carga orgánica puede reducirse mediante digestión anaeróbica-aeróbica convencional, pero el color es un problema aún no resuelto, incluso en la producción de *C. utilis*. Este es atribuido fundamentalmente a la presencia de polímeros de alto peso molecular denominados melanoidinas, que son recalcitrantes a la biodegradación, inhiben el crecimiento de las levaduras y la fermentación, y disminuyen la calidad del producto final (Satyawali y Balakrishnan, 2008).

Investigaciones previas de nuestro grupo han demostrado que las enzimas lacasas de un hongo basidimiceto cubano pueden degradar las melanoidinas y decolorar los efluentes de destilería. Se han secuenciado cuatro genes de lacasa de este hongo (González y otros, 2003). La transformación de *C. utilis* con los genes de lacasa que muestren la más alta expresión en el hongo, en las condiciones de máxima decoloración, podría permitir el incremento de la fermentabilidad de las vinazas, aumentando la productividad del proceso y la calidad del producto final para la alimentación animal. La detoxificación de las melanoidinas con lacasas recombinantes podría permitir así el desarrollo de una "tecnología limpia" para la protección del medioambiente.

El presente trabajo describe el desarrollo de un nuevo sistema integrativo para la transformación de *C. utilis*, basado en el uso de *A. tumefaciens*. Este es el primer intento de extender el uso de la TMA a esta especie de levadura, y podría utilizarse para el diseño de nuevas estrategias para la expresión heteróloga de genes en este microorganismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepas y condiciones de cultivo

Se utilizaron dos cepas de levaduras de la Colección de Cultivos del ICIDCA como receptoras para la transformación: la cepa de *Candida utilis* NRRL-Y660 utilizada como alimento animal, y la cepa A3 de *Saccharomyces cerevisiae*, empleada para la producción de alcohol. El crecimiento se realizó a 30°C en medio YPG (Glucosa 20g/L, Peptona 20g/L y Extracto de Levadura 10g/L). La cepa de *Escherichia coli* DH5α se usó para la construcción, propagación y conservación de los plásmidos empleados en el presente estudio. Fue crecida en medio LB (Luria-Bertani: Triptona 10g/L, Extracto de Levadura 5g/L y NaCl 10g/L) (Sambrook y otros, 1989) a 37°C. La cepa de *Agrobacterium tumefaciens* LBA4404 se utilizó en la transformación mediada por *Agrobacterium* (TMA). El crecimiento se realizó en medio LB con Rifampicina (50 μg/mL) y Estreptomicina (100 μg/mL) a 28°C. Se adicionó kanamicina (50 μg/mL) al medio LB para el crecimiento de *A. tumefaciens* transformado con los plásmidos pBI121 y pBI101 y sus derivados. Para la preparación de los medios sólidos se añadió agar a una concentración del 2 %.

Manipulación de ADN y construcción de plásmidos

La Tabla I brinda una panorámica de los plásmidos utilizados en este estudio. Todas las manipulaciones de ADN se realizaron de acuerdo con protocolos estándar (Sambrook y otros, 1989). La estrategia para la construcción de nuevos plásmidos para la TMA se muestra en la Figura 1.

Tabla I. Principales características de los plásmidos usados en este estudio

Plásmidos	Características	Referencias
pBI121	Vector binario para la transformación de plantas. Contiene el gen *nptII* para la selección por kanamicina en bacterias y plantas y el gen GUS bajo el promotor CaMV35S como reportero.	Jefferson y otros, 1987
pBIY	Derivado del pBI121 con el promotor GAP de *C. utilis* previo al cassette *nptII* para la selección por geneticina en levaduras.	Este estudio
pBI101	Vector binario similar al pBI121 pero con un casette GUS sin promotor. Diseñado para el clonaje y estudio de promotores mediante la expresión de la actividad β-glucuronidasa.	Jefferson y otros, 1987
pBIYP	Derivado del pBI101 mediante la inserción del promotor GAP de *C. utilis* previo al gen GUS y al *nptII* casette.	Este estudio
pBIYPT	Derivado del pBIYP mediante la sustitución del terminador NOS en el casette GUS con el terminador GAP de *C. utilis*.	Este estudio
pUC19GAPpro	pUC19 con el promotor GAP de *C. utilis* clonado *Hind*III/*Xba*I, Amp^r	Eng, no publicado
pUC19GAPter	pUC19 con el terminador GAP de *C. utilis* clonado SacI/*Eco*RI, Amp^r	Eng, no publicado

Transformación de *Agrobacterium tumefaciens*

Se realizó la transformación química de *A. tumefaciens* mediante la introducción de ligeras modificaciones al protocolo de Gynheung (1987) con el objetivo de adecuar los volúmenes a ser centrifugados en una centrífuga de mesa con capacidad para tubos eppendorff de 1,5 ó 2 mL.

Determinación cualitativa de la actividad GUS

Se determinó cualitativamente la actividad β-glucuronidasa (GUS) en placas de agar con 50 mg/L del sustrato cromogénico 5-bromo-4-cloro-3-indoil-β-D-glucuronido (X-Gluc) añadido al medio de cultivo correspondiente. Los clones positivos se detectan por la formación de un precipitado azul producido por la hidrólisis de este compuesto producida por la actividad β-glucuronidasa, mientras las colonias negativas permanecen blancas.

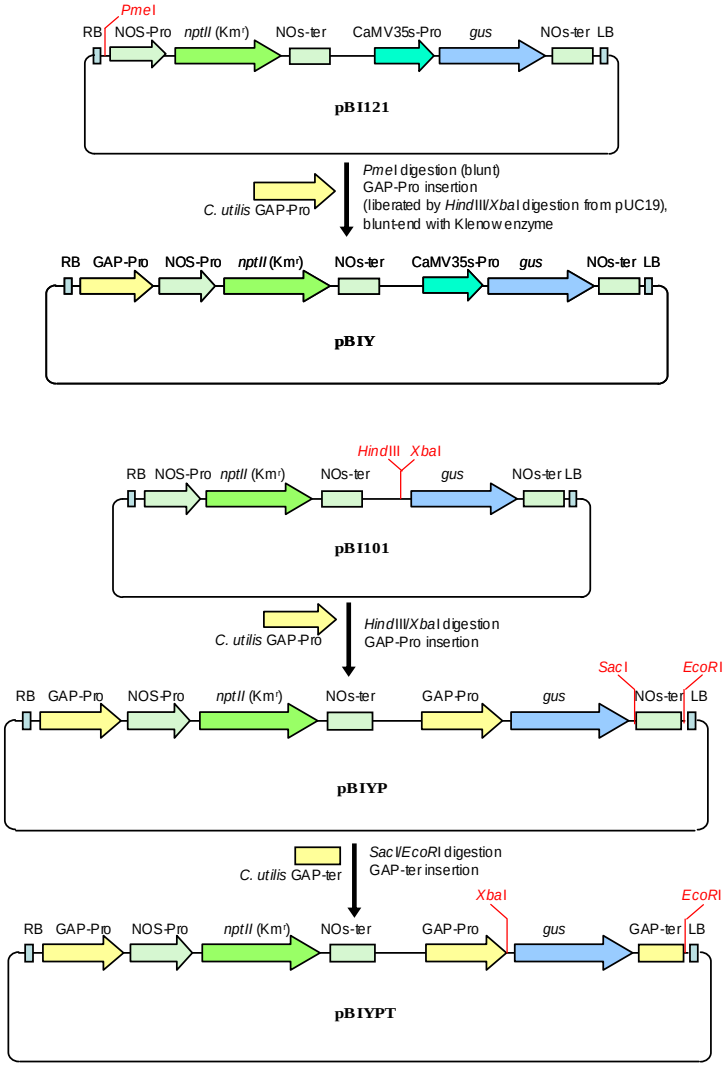


Figura 1. Construcción de nuevos vectores a partir de los plásmidos pBI121 y pBI101, para la transformación de levaduras mediada por *Agrobacterium tumefaciens*.

Transformación mediada por *Agrobacterium tumefaciens*

Las células de *A. tumefaciens* se cultivaron toda la noche a 28°C, 250 r. min^{-1} en 5 mL de medio LB con Rifampicina (50 μg/mL), Estreptomicina (100 μg/mL) y kanamicina (50 μg/mL). A continuación se diluyeron 2 mL del cultivo en el mismo medio y se creció otras nueve horas a 28°C, 250 r. min^{-1} hasta DO_{600}=0,8. Antes del co-cultivo se centrifugaron las células 10 min a 7000 r. min^{-1}, se lavaron con medio de inducción (Bundock y otros, 1995), se resuspendieron en este medio hasta DO_{600}=0,5 y se incubaron durante 24h a 28°C con agitación moderada. Para la transferencia del T-ADN de *A. tumefaciens* a las células de levaduras, las células bacterianas se centrifugaron 10 min a 7000 r. min^{-1} y se diluyeron en medio IM hasta 1 x 10^9 células/mL. A su vez, las células de levadura se crecieron toda la noche en medio YPG a 30°C con agitación, se diluyeron 20 veces en medio YPG fresco y se crecieron durante otras seis horas. Las células se colectaron por centrifugación, se lavaron con medio IM sin acetosiringona, y se resuspendieron en el mismo medio hasta concentración final de 1 x 10^7 células/mL. A continuación se mezclaron 50 μL del cultivo de levadura y 50 μl de las células de *A. tumefaciens* previamente preparadas en una membrana HybondN^+ estéril sobre la superficie de medio medio de inducción sólido y se incubó a 22-25°C durante 72 h. Posteriormente se lavó la membrana con medio TNB (20 mM Tris-HCl, pH 7.5; 10 mM NaCl) estéril. Los clones recombinantes se seleccionaron en medio YPG sólido suplementado con Geneticina (G418) y Cefotaxima 200 μM para eliminar las células de *Agrobacterium*. Se añadió X-Gluc 50 μg/mL al medio YPG sólido para detectar la actividad β-glucuronidasa en los transformantes.

Determinación de la concentración mínima inhibitoria para el antibiótico G418

Se calculó la concentración mínima inhibitoria para el antibiótico G418 (Geneticina) de las cepas *C. utilis* Y660 y *Saccharomyces cerevisiae* A3 en medio YPG. Primero se ajustó la concentración celular de los cultivos a 10^7 células/mL, y se tomaron alícuotas de 2 μL que se esparcieron sobre la superficie de placas con el medio de selección (LB suplementado con el antibiótico G418 a 75- 500 μg/mL) y fueron incubadas durante 3 a 5 días a 30°C. La prueba se repitió dos veces, con tres replicas para cada concentración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración mínima inhibitoria para el antibiótico G418

El antibiótico G418 (también conocido como Geneticina) ha sido ampliamente usado como marcador de resistencia dominante en *Saccharomyces cerevisiae* (van den Berg y de Steensma, 1997). Ho y otros (1984) han descrito también la obtención de colonias de *C. utilis* resistentes a G418 mediante el uso de un plásmido que contiene el gen de resistencia bacteriano *nptII*. Debido a que se han informado diferentes concentraciones de este antibiótico en la preparación de los medios de selección, se realizó la determinación de la concentración mínima inhibitoria para G418 en las dos cepas de levadura utilizadas en el presente trabajo.

El crecimiento de la cepa de *C. utilis* NRRL Y660 se suprimió completamente a concentración de 100 μg/mL. La cepa A3 de *S. cerevisiae* mostró una tolerancia más alta a este compuesto, pues su concentración mínima inhibitoria fue de 200 μg/mL. Sobre la base de estos resultados se decidió usar el G418 a 200 μg/mL y 500 μg/mL, en los experimentos de transformación de *C. utilis* y *S. cerevisiae*, respectivamente.

Transformación química de *A. tumefaciens*

La transformación eficiente de *A. tumefaciens* es un paso esencial para el desarrollo de protocolos de TMA. El proceso se realiza generalmente por electroporación, aunque se han descrito también protocolos de conjugación triparental y de transformación química (Wise y otros, 2006). Estos dos últimos métodos son alternativas para aquellos laboratorios que no cuentan con electroporador. La transformación química generalmente permite una mayor eficiencia de transformación que la conjugación triparental y requiere menos manipulación de los microorganismos, lo que reduce el riesgo de contaminación. Esto nos motivó a adaptar un protocolo para llevar a cabo de forma rápida y a pequeña escala, la transformación química de *A. tumefaciens* en nuestro laboratorio.

Se realizaron pequeñas modificaciones al protocolo de Gynheung (1987) para reducir los volúmenes de medio de cultivo a cantidades adecuadas para ser centrifugadas en una centrífuga de mesa con capacidad para tubos eppendorff de 1,5 ó 2 mL. La transformación del vector binario pBI121 en *A. tumefaciens* LBA4404 se logró con una eficiencia de 10^4-10^5 células/μg DNA. Los clones recombinantes mostraron resistencia a Kanamicina, conferida por la expresión heteróloga del gen *nptII*, y actividad β-glucuronidasa en los medios con X-Gluc (Fig. 2). Las colonias transformadas con el gen GUS se tornaron de color azul, mientras que las no transformadas permanecieron blancas, debido a que esta cepa no produce actividad β-glucuronidasa en su estado salvaje. La integridad de los plásmidos transformados se verificó mediante análisis de restricción, seguido de electroforesis en geles de agarosa (datos no mostrados).

Los plásmidos derivados del pBI101 y del pBI121, construidos en el presente estudio, se transformaron con similar eficiencia que los vectores originales en *A. tumefaciens*. Esto confirma la validez del protocolo optimizado para llevar a cabo la transformación química de *A. tumefaciens.*

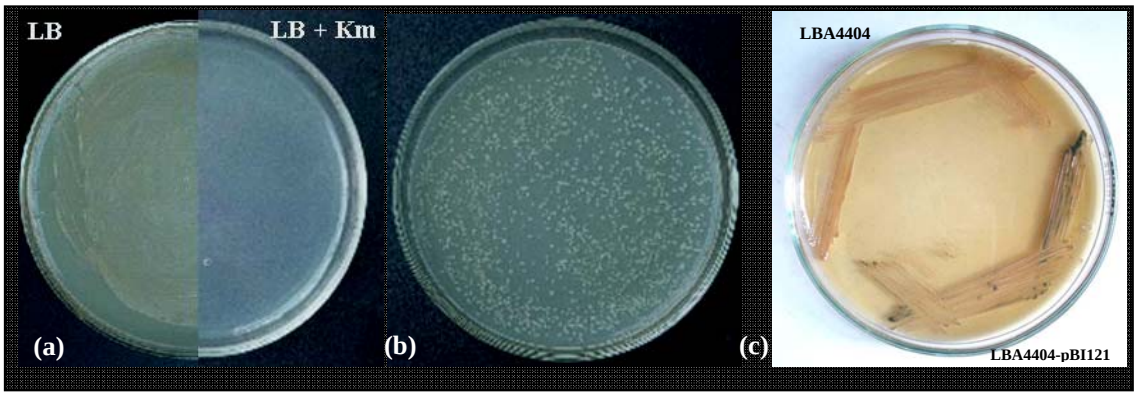


Figura 2. Transformación del plásmido pBI121 en *A. tumefaciens* LBA4404. (a) La cepa salvaje no es resistente a kanamicina. (b) Crecimiento de los clones recombinants de *A. tumefaciens* transformados con el vector pBI121 en medio LB con 50 μg/mL de kanamicina. (c) Actividad β-glucuronidase (en azul) de la cepa recombinante en medio LB suplementado con X-Gluc.

Modificación de los vectores del tipo pBI para la transformación de *C. utilis*.

El sistema binario para la TMA está estandarizado para su uso tanto en plantas como en otros organismos (Soltani y otros, 2008). En ambos casos se requiere de la presencia de un marcador de selección apropiado en el T-ADN.

Para la transformación tradicional de levaduras se han utilizado tanto marcadores de selección autotróficos, como marcadores dominantes de resistencia como el G418 (Bundock y otros, 1995; van Attikum, 2003). Es

esencial que estos marcadores se encuentren ubicados bajo un promotor activo en el organismo a transformar.
El vector pBI121 ha sido ampliamente usado en la TMA de plantas (Chen y otros, 2003). Posee el gen bacteriano *nptII* que codifica para la enzima neomicina fosfotransferasa II, bajo el promotor de la nopalina sintasa (NOS-pro), lo que permite la selección por resistencia a kanamicina en bacterias y plantas. El *nptII* también confiere resistencia a Geneticina en levaduras.
En el presente trabajo se insertó el promotor de la gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa (GAP-pro) de *C. utilis* previo al promotor de la nopalina sintasa (NOS-pro) del pBI121, con vistas a adecuar el sistema para la selección en *C. utilis* por resistencia a G418. La construcción resultante (pBIY) se transformó en *E. coli* DH5α. El análisis de restricción con enzimas específicas permitió la selección de construcciones con la orientación adecuada del inserto (datos no mostrados), que se transformaron en *A. tumefaciens.*
Se introdujeron dos modificaciones adicionales con el fin de adecuar los vectores del tipo pBI para la expresión heteróloga en levaduras. En primer lugar se construyó el plásmido pBIYP mediante la adición de dos promotores GAP de *C. utilis*, uno previo al casette GUS en el vector pBI101, y el otro previo al promotor NOS-pro del casette NPTII. A continuación el plásmido resultante (pBIYP) se modificó mediante el reemplazo del terminador NOS en el casette GUS por el terminador GAP de *C. utilis* para construir el plásmido pBI1YPT. Ambas construcciones se transformaron en *A. tumefaciens*. Previamente se confirmó su integridad mediante el análisis de restricción de los plásmidos recombinantes purificados a partir de *E. coli* DH5α (datos no mostrados).
La funcionalidad del gen GUS como reportero en *Saccharomyces cerevisiae* fue demostrada por primera vez por Schmitz y otros en 1990 al determinar que la cepa salvaje no tiene actividad endógena, y que la expresión heteróloga del gen GUS no presenta efectos adversos sobre el crecimiento de las células de esta levadura ni sobre su viabilidad. Desde entonces se ha extendido el uso de este gen como reportero a otras especies de levaduras como *Schizosaccharomyces pombe* (Hirt y otros, 1990; Pobjecky y otros, 1990), *Yarrowia lipolytica* (Bauer y otros, 1993), *Pichia pastoris* (Sears y otros, 1998; Ayra-Pardo y otros, 1999) y *Kluyveromyces lactis* (Saliola y otros, 1999).

Transformación de levaduras mediada por *A. tumefaciens.*

El descubrimiento de que *A. tumefaciens* no sólo es capaz de transformar células de plantas, sino también de levaduras como *S. cerevisiae*, ha servido de base para la transformación exitosa de más de 55 géneros de organismos diferentes de las plantas. Revisiones recientes de la TMA, especialmente de hongos, han discutido los aspectos más importantes del tema (Hooykaas, 2005; Michielse y otros, 2005; Lacroix y otros, 2006; Soltani y otros, 2008). Cuatro especies del género *Candida* se han transformado exitosamente: *C. albicans, C. glabrata, C. tropicalis*, (Michielse y otros, 2005) y *C. glycerogenes* (Zhiming y otros, 2008). Según conocemos el presente trabajo es el primer intento de transformar *C. utilis* mediado por *A. tumefaciens*.
Se construyeron vectores binarios para comprobar si *A. tumefaciens* es capaz de transferir su T-ADN a *C. utilis*. El plásmido pBIY, al contener el promotor GAP de *C. utilis* (GAP-pro) previo al casette NPTII, permite transformar levaduras con el antibiótico G418 como marcador de selección. Posee además el cassette para la expresión de la actividad β-glucuronidasa (*gus*) como reportero. El co-cultivo de *C. utilis* con células de *A. tumefaciens* transformadas con este vector permitió obtener colonias de la levadura resistentes al antibiótico y de color azul en medio YPG suplementado con X-Gluc y G418 (Tabla II, Fig.3a).
El estudio de la estabilidad mitótica de 100 transformantes mostró que todos mantuvieron la resistencia a G418 después de haber sido cultivados durante varias generaciones en ausencia del marcador de resistencia, pero la actividad β-glucuronidasa se perdió después de tres pases sucesivos (Fig. 3b). La observación de las células a partir de las colonias azules reveló que la actividad β-glucuronidasa era producida por células de *A. tumefaciens* unidas a las células de levadura (datos no mostrados). Esto explica la posterior pérdida de este carácter después de pases sucesivos en medio YPG suplementado con Cefotaxima. Se ha descrito que un

crecimiento excesivo de *A. tumefaciens* durante el co-cultivo puede dificultar la eliminación de esta bacteria después de la transformación (Michielse y otros, 2005). Se determinó la concentración celular de *A. tumefaciens* después de el co-cultivo para confirmar si esta pudiese ser la causa de su persistencia en el medio de selección. Los conteos estuvieron en el orden de 2 a 8 x 10^7 células/mL, lo que indica que no se produjo un sobre crecimiento de *Agrobacterium* en la mezcla del co-cultivo. De hecho, la siembra de *A. tumefaciens* a concentraciones superiores a las de los co-cultivos no produjo ningún crecimiento en placas con la misma composición del medio de cultivo utilizado para la selección de los transformantes (YPG con G418 y Cefotaxima 200 μM). Esto indica que la tolerancia de *A. tumefaciens* a la Cefotaxima en el co-cultivo con levaduras está más probablemente relacionada con la interacción entre este microorganismo y las células de *C. utilis* que con un efecto de la concentración celular.

Tabla II. Transformación de levaduras mediada por *A. tumefaciens*. Se muestran los resultados de experimentos representativos que se repitieron al menos dos veces.

Cepa	Vector	Proporción donante:receptor	Transformantes por 10^6 células receptoras	Observaciones
C. utilis Y660	pBIY	100:1	60	Colonias azules por la presencia de *A. tumefaciens* unido a las células de levadura
	pBIYP	100:1	12	No actividad GUS
	pBIYPT	1:1	0	
		100:1	11	”
		1000:1	0	
S. cerevisiae A3	pBIYPT	100:1	75	No actividad GUS

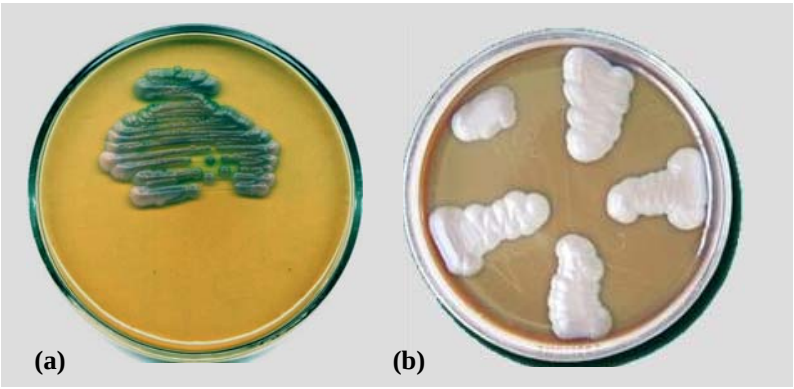


Figura 3. (a) Crecimiento de *C. utilis* transformada con el plásmido pBIYP en medio YPG con el antibiótico G418 como agente de selección y X-Gluc para la detección de actividad β-glucuronidasa. La observación de las células al microscopio reveló que la actividad β-glucuronidasa en (azul) era producida en las células de

A. tumefaciens transformadas con el vector pBIYP que permanecían unidas a las células de levadura. Pases sucesivos en medio YPG con Cefotaxima eliminaron las células de *A. tumefaciens*. (b) Los clones recombinantes *C. utilis* mantuvieron la resistencia a G418 y no produjeron actividad β-glucuronidasa.

La transformación de *C. utilis* con el plásmido pBIY demostró que *A. tumefaciens* puede transferir eficientemente su T-ADN a esta especie de levadura. Sin embargo, no se detectó expresión de la actividad β-glucuronidasa bajo el control del promotor CaMV35S. Este es el más popular de los promotores usados en la transformación de plantas. Se ha demostrado además su funcionalidad en ascomicetos como *Schizosaccharomyces pombe* (Faryar, 1992) y *S. cerevisiae* (Yamada, 2002). De hecho, la expresión de la actividad β-glucuronidasa bajo el control del promotor CaMV35S ha sugerido una conservación evolutiva en la maquinaria transcripcional entre levaduras y plantas (Hirt y otros, 1990). Sin embargo, no se ha demostrado su funcionalidad en *C. utilis.* El promotor GAP clonado a partir de esta especie se insertó en el vector pBI101 para garantizar la expresión del gen GUS usado como reportero en esta levadura. Se introdujo otro promotor GAP previo al cassette NPTII cassette (como en el plásmido pBIY previamente construido) dando lugar al vector pBIYP. El promotor GAP es un fuerte promotor constitutivo empleado exitosamente para la transformación de levaduras. En *C. utilis* se han obtenido altos niveles de monelina y carotenoides bajo el control de este promotor (Kondo y otros, 1997; Miura y otros, 1998; Shimada y otros, 1998). Se realizó una modificación adicional de este sistema mediante la sustitución del terminador bacteriano NOS en el plásmido pBIYP por el terminador GAP de *C. utilis* para construir el vector pBIYPT.

Antes de llevar a cabo la TMA de ambos plásmidos se estudió la funcionalidad del promotor GAP de *C. utilis* en *A. tumefaciens*. Esto permitió predecir la ocurrencia de colonias azules de falsos positivos después de la transformación, como ocurrió previamente al transformar el vector pBIY en *C. utilis*. *A. tumefaciens* no produce actividad β-glucuronidasa endógena. La transformación con el pBIYP demostró por primera vez que el promotor GAP de *C. utilis* es funcional en *A. tumefaciens.*

El co-cultivo de *A. tumefaciens*-pBIYP y *A. tumefaciens*-pBIYPT con *C. utilis* permitió obtener clones recombinantes de la levadura resistentes a G418 (Tabla II), pero no se detectó actividad β-glucuronidasa en estas colonias. La eficiencia de transformación fue similar a la observada con el plásmido pBIY.

Como la proporción entre las células de *A. tumefaciens* y las receptoras es un factor importante para determinar la eficiencia de la TMA (Zhiming y otros, 2008), se probaron otras dos relaciones además de la 100:1 previamente utilizada. No se obtuvieron transformantes cuando se usaron las proporciones 1:1 y 1000:1 en la TMA de *C. utilis* con el plásmido pBIYPT, lo que indica que la proporción 100:1 es la más adecuada de las tres probadas.

Una posible explicación para la no expresión de la actividad β-glucuronidasa en los transformantes, incluso bajo el promotor y el terminador GAP de *C. utilis* podría ser la pérdida de ADN en el extremo 3' del T-AND. En plantas se han descrito deleciones de hasta varios cientos de nucleótidos en el extreme 3' del T-ADN, donde está ubicado el casette GUS (Rossi y otros, 1996). Esto ha dado como resultado la obtención de plantas resistentes al antibiótico y con deleciones en el gen de interés. El problema ha sido resuelto colocando el marcador de selección cerca del extremo izquierdo del T-ADN. Así se evita generalmente la deleción del gen de interés (Lee y Gelvin, 2008).

Aunque muchos investigadores usan aún los plásmidos pBI121 y pBI101 como valiosos instrumentos para la transformación de plantas, estos ya no se encuentran en el mercado. Los nuevos vectores contienen el marcador de selección cerca del extremo izquierdo para garantizar la transferencia del gen de interés (Chen y otros, 2003).

CONCLUSIONES

1. El protocolo de transformación mediada por *Agrobacterium tumefaciens* desarrollado en el presente trabajo permite la transformación eficiente de *Candida utilis* y *Saccharomyces cerevisiae*.

2. Los vectores derivados del pBI no son adecuados para la transferencia de genes heterólogos a *C. utilis* y *S. cerevisiae* debido probablemente a la pérdida de nucleótidos próximos al extremo izquierdo (3') del T-ADN. Es necesario construir vectores con el marcador de selección cercano a este extremo para garantizar la transferencia del gen de interés.

REFERENCIAS

Ayra-Pardo, C; Montejo, I; Vazquez, R; García, C. (1999), *Lett Appl Microbiol*. 29, 278-283.
Bauer, R; Paltauf, F; Kohlwein, S. (1993), *Yeast*. 9, 71-75.
Boze, H; Moulin, G; Galzy, P. (1992), *Crit Rev Biotechnol*. 12, 65-86.
Bundock, P; den Dulk-Ras, A; Beijersbergen, A; Hooykaas, P. (1995), *EMBO J*. 14, 3206-3214.
Chen, P; Wang, Ch; Soong, S; To, K. (2003), *Mol Breed*. 11, 287-293.
Faryar, K; Gatz, C. (1992), *Curr Genet*. 21, 345-349.
González, T; Terrón, M; Zapico, E; Téllez, A; Yagüe, S; González, A. (2003), *Mycol Res*. 107, 27-135.
Gynheung, A. (1987), *Methods Enzymol*. 153, 252-305.
Hirt, H; Kogl, M; Murbacher, T; Heberle-Bors, E. (1990), *Curr Genet*. 17, 473-479.
Ho, N; Gao, H; Huang, P; Stevis, P; Chang, S; Tso, G. (1984), Development of a cloning system for *Candida* species. (C.D. Scott ed.), Biotechnology and Bioengineering symposia, vol. 14. John Wiley & Sons, Inc. New York, pp, 295-301.
Hooykaas, P. (2005), Transformation mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. Advances in fungal biotechnology for industry, agriculture and medicine. (Kluwer Acad./Plenum ed.) New York, pp, 41-65.
Ichii, T; Takehara, S; Konno, H; Ishida, T; Sato, H; Suzuki, A; Yamazumi, K. (1993), *J Ferment Bioeng*. 75, 375-379.
Ikushima, S; Fujii, T; Kobayashi, O; Yoshida, S; Yoshida, A. (2009), *Biosci Biotechnol Biochem*. 73, 1818–1824.
Lacroix, B; Tzfira, T; Vainstein, A; Citovsky, V. (2006), *TRENDS Genet*. 22, 29-37.
Lee, L; Gelvin, S. (2008), *Plant Physiol*. 146, 325-32.
Jefferson, R; Burgess, S; Hirsh, D. (1987), *Proc Natl Acad Sci USA*. 83, 8447-8451.
Kondo, K; Saito, T; Kajiwara, S; Takagi, M; Misawa, N. (1997), *J Bacteriol*. 177, 7171-7177.
Michielse, C; Hooykaas, P; van den Hondel, C; Ram A. (2005), *Curr. Genet*. 48, 1-17.
Miura, Y; Kondo, K; Saito, T; Shimada, H; Fraser, P; Misawa, N. (1998), *Appl Environ Microbiol*. 64, 1226-1229.
Miura, Y; Kettoku, M; Kato, M; Kobayashi, K; Kondo, K. (1999), *J MolMicrobiolBiotechnol*. 1, 129-134.
Pant, D; Adholeya, A. (2007), *Biores. Technol*. 98, 2321-2334.
Pobjecky, N; Rosemberg, G; Dinter-Gottlieb, G; Kaufer, N. (1990), *Mol Gen Genet*. 220, 314-316.
Rossi, L; Hohn, B; Tinland, B. (1996), *Proc Natl Acad Sci USA*. 93, 126-130.
Saliola, M; Mazzoni, C; Solimando, N; Crisa, A; Falcoe, C; Jung, G; Fleer, R. (1999), Appl *Environ Microbiol*. 65, 53-60.
Sambrook, J; Fritsch, E; Maniatis, T. (1989), Molecular Cloning: A laboratory manual. Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York.
Satyawali, Y; Balakrishnan, M. (2008), *J Environ Management*. 86, 481-497.
Sears, I; O'Connor, J; Rossanese, O; Glick, B. (1998), *Yeast*. 14, 783-790.
Shimada, H; Kondo, K; Fraser, P; Miura, Y; Saito, T; Misawa, N. (1998), *Appl Environ Microbiol*. 64, 2676-80.
Schmitz, U; Lonsdale, D; Jefferson, R. (1990), *Curr. Genet*. 17, 261-264.
Soltani, J; van Heusden, P; Hooykaas, P. (2008), *Agrobacterium*: from biology to biotechnology. (Springer ed.). New York, pp, 649-675.
Tamakawa, H; Ikushima, S; Yoshida, S. (2012), *J BiosciBioeng*. 113, 73–75.
Tinland, B. (1996), *Trends Plant Sci*. 1, 178–184.

van Attikum, H; Hooykaas, P. (2003), *Nuc Acid Res*. 31, 826-32.
van den Berg, M; de Steensma, H. (1997), *Yeast*. 13, 551-559.
Wey, W; Hong-Lan, Y; HuiFang, B; Daoyuan, Z; Qi-mu-ge, S; Wood, A. (2010), *Mol Biol Rep*. 37, 2615–2620.
Wise, A; Liu, Z; Binns, A. (2006), *Methods Mol Biol*. 343, 43-53.
Yamada, A; Saitoh, T; Mimura, T; Ozeki, Y. (2002), *Plant Cell Physiol*. 43, 903-910.
Zhiming, R; Zheng, M; Wei, S; Huiying, F; Jian, Z. (2008), *Curr Microbiol*. 57, 12-17.

AISLAMIENTO, SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LEVADURAS OLEAGINOSAS

ISOLATION, SELECTION AND IDENTIFICATION OF OLEAGINOUS YEASTS

Autores: Aidín Martínez, Evelyn Faife, Roxana García; Mayrelis Mesa; Amaury Álvarez, Miguel Peña

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
aidín.martinez@icidca.edu.cu

RESUMEN

La identificación de levaduras con potencialidades para la acumulación de lípidos resulta de especial interés como una alternativa atractiva en el tratamiento de vinazas, la producción de biodiesel y alimento animal.

En el presente trabajo se realizó la reclasificación de tres cepas de levadura de la Colección de Cultivos ICIDCA y de dos procedentes de Argentina (INTI) y la identificación de dos cepas aisladas de mieles de caña de Azúcar. Para ello se empleó el sistema rápido de identificación de levaduras api 20 C AUX, de las siete cepas identificadas dos fueron ubicadas como *Candida tropicalis;* una *Saccharomyces cerevisiae*, una *Rhodotorula minuta* y tres *Rhodotorula mucilaginosa*. El empleo del medio CromoCen diseñado para la identificación de especies de levaduras del género *Candida,* nos permitió confirmar en este estudio como *C. tropicalis* las cepas L/3-39-1 y L/3-79-1, anteriormente identificadas como *C. lipolytica* y *C. vini,* respectivamente.

La valoración cualitativa de todas las cepas estudiadas mediante la tinción con Sudán B permitió seleccionar las cepas *R. mucilaginosa 2* L/24-26-1 y *C. tropicalis* L/3-74-22 como potenciales productoras de lípidos. La evaluación del crecimiento en placas de las estas cepas utilizando glicerol como única fuente de carbono demostró que son capaces de propagarse de forma satisfactoria en este sustrato hasta concentraciones de 120 g/L.

Palabras claves: levaduras, glicerol, lípidos; oleaginosas

ABSTRACT

The identification of yeasts with potentialities for lipids accumulation is of special interest as an attractive alternative in the wastewaters distilleries treatment and biodiesel and animal food production.

In this work was carried out the reclassification of three yeasts strains from the Culture Collection ICIDCA and two from INTI (Argentine) and the identification of two isolated strains from sugar cane molasses. The quick identification system api 20 C AUX was used for the seven strains, two were identified as *Candida tropicalis*; one as *Saccharomyces cerevisiae*, one as *Rhodotorula minute* and three as *Rhodotorula mucilaginosa*. The employment in this study of CromoCen culture media designed for the identification of yeasts species belonging to *Candida genus*, allowed us to confirm that the strains L/3-39-1 and L/3-79-1 are *C. tropicalis*, which were previously identified as *C. lipolytica* and *C. vini*, respectively.

Qualitative analysis of yeasts by Sudan B technique allowed to select *R. mucilaginosa 2* L/24-26-1 and *C. tropicalis* L/3-74-22 as potential lipid producers. The growth of these strains in plates on media composed with glycerol as main substrate showed that are able to growth satisfactory in this substrate until 120 g/L.

Key words: yeasts, glycerol; lipids; oleaginous

INTRODUCCION

En el mundo, existen numerosas industrias que generan enormes cantidades de desechos, los cuales deben ser previamente tratados antes de su vertimiento. La industria azucarera y la producción de biodiesel, son ejemplos de estas industrias, Faife y otros (2011).

Según Li y Liu (2008); Qiang, Wei y Dehua (2008); Faife, Otero y Álvarez (2012) las grandes producciones de etanol y biodiesel generan volúmenes excesivos de vinaza y glicerol que deben ser previamente tratados para su utilización en el fertirriego y en la industria de cosméticos, respectivamente. El uso de estos dos efluentes, como sustratos fundamentales para la producción de biomasa microbiana son fuentes proteicas y energéticas que constituyen una solución atractiva desde el punto de vista ambiental y económico

Existen investigaciones que involucran la búsqueda e identificación de levaduras oleaginosas con capacidad potencial para la producción de lípidos con un perfil de ácidos grasos acorde a los aceites comestibles. Por otra parte, desarrollan una tecnología para el tratamiento de vinazas mediante la fermentación de levaduras en mezclas de residuales de destilería y glicerina, con el objetivo de la producción simultánea de alimento animal y biodiesel, Li y Wang (2007).

La producción de ambos productos permitirá la disminución de importaciones a partir de la sustitución de fuentes proteicas de origen oleaginoso por la levadura rica en grasas o la fracción proteica obtenida en el proceso y por sustitución del combustible empleado en los medios de transporte y gastos energéticos asociados al complejo agroindustrial. Se pretende lograr un aumento del rendimiento agrícola de los suelos donde se aplican los residuales del proceso en sustitución de las vinazas. De esta forma, se logra cerrar el ciclo de la producción de alcohol-levadura-biodiesel-proteína unicelular, utilizando como sustrato de la fermentación vinazas y glicerol, el cual es también altamente contaminante y cuya purificación para su empleo es costoso.

Por lo que este trabajo tiene como objetivo, aislar, seleccionar y evaluar diferentes géneros y especies de levaduras oleaginosas con vistas a su empleo en el tratamiento de vinazas, producción de aceites y obtención de proteína unicelular para la alimentación animal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Microorganismos

Se emplearon cepas de levadura correspondientes a los géneros *Candida*, *Saccharomyces* y *Rhodotorula*. Las cepas *Candida vini* (L/3-79-1), *Candida lipolytica* (L/3-39-1) y *Saccharomyces cerevisiae* (L/25-7-20) pertenecen a la Colección de Cultivos ICIDCA (CCICIDCA) y *Rhodotorula minuta* y *Rhodotorula* sp. (2-10), proceden del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Medios de cultivo

En los ensayos se emplearon los medios de cultivos siguientes:

- YPG Agar (M1): para el mantenimiento y aislamiento de las levaduras, según Merck (2002).

- CromoCen (M2): para la identificación de especies de levaduras del género *Candida*.
- YP + Glicerol Agar (M3): en la evaluación del crecimiento de la cepa de levadura en placa. Se emplearon las mismas concentraciones del medio YPG pero se sustituyó la glucosa por el glicerol a concentraciones entre 20 – 120 $g \cdot L^{-1}$).

Todos los medios de cultivo fueron esterilizados en autoclave a 121 ºC durante 20 minutos.

Mantenimiento de los cultivos
El mantenimiento de las cepas de levadura se realizó mediante siembras periódicas en cuñas de medio M1; incubadas a 30 ºC durante 24 - 48 horas y conservadas en cámara fría a temperaturas entre 6 - 8 ºC.

Aislamiento de colonias de levaduras a partir de un residual azucarero
La fuente del aislamiento fueron: flores de girasol, simillas de ajonjolí; tierra y muestras de mieles procedentes de la Empresa Azucarera "Antonio Sánchez". Las muestras fueron procesadas según la metodología descrita por Villa, Bueno y Valdés (2001). Posteriormente, se realizaron diluciones decimales seriadas de la muestra hasta 10^{-3} en tubos con 9 mL de agua destilada estéril, se tomaron alícuotas de 0,1 mL y se realizó la siembra por duplicado en la superficie de placas Petri con medio M1, descrita por Harrigan y MacCance (1968). Una vez culminado este procedimiento las placas se incubaron de forma invertida por un período de 48 - 72 horas a 30 ºC. Las colonias con características morfoculturales de interés fueron examinadas al microscopio, aisladas y purificadas por la técnica de siembra en placa por agotamiento del cultivo según Harrigan y MacCance (1968).

Selección de levaduras con potencialidades de producir y acumular triglicéridos
Para determinar de forma cualitativa la capacidad de las cepas y colonias de levadura seleccionadas de producir lípidos, se realizó una tinción con Sudán Negro B: 0,3 % del colorante en solución de etanol al 70 %, según la metodología empleada por Baker, (1946); Patnayak y Sree, (2005).

Aquellas muestras en las que se observaron compartimentos intracelulares teñidos de color negro (correspondientes a cuerpos lipídicos) fueron seleccionadas por su capacidad de acumular lípidos y se conservaron hasta su posterior uso.

Identificación de las cepas de levadura
Las reclasificación de las cepas de la CCICIDCA y las del INTI fueron realizadas por el sistema API 20 C AUX ref. 20 210 (2010) y las dos cepas aisladas se clasificaron por dicho sistema. Los resultados fueron interpretados mediante el software API Web StandAlone®.

Identificación de las cepas de levadura mediante criterios bioquímicos
Se empleó el medio cromogénico M2 procedente del Centro de Biopreparados (BioCen), utilizado para la identificación de especies del género *Candida.* Se realizó la siembra de las cepas según las técnicas tradicionales y luego fueron incubadas a temperatura de 30 °C durante un período de tiempo de 24 horas. Una vez finalizado el tiempo de incubación se determinó por inspección visual la coloración de las cepas.

Evaluación de la cepa seleccionada empleando glicerol como fuente de carbono
Para evaluar el crecimiento de la cepa de levadura, se realizó la siembra en placas Petri (por triplicado) utilizando el medio de cultivo M3 que contenía glicerol a las concentraciones de: 20, 40, 60, 80, 100 y 120 $g \cdot L^{-1}$. El pH del medio se ajustó a 6.

A partir de un cultivo de levadura de 24 horas se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-4}. A continuación, estas fueron inoculadas en la superficie de las placas que contenían las diferentes variantes del medio de cultivo M3 y M1 como control, se incubaron a 30 ºC por un período de 24 - 72 horas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento de las cepas de levadura

En la tabla I se reflejan los resultados de la siembra en medio M1 de las diferentes muestras seleccionadas para los aislamientos de levaduras con características oleaginosas, no se detecto crecimiento alguno de levaduras en las muestras de flores de girasol, semillas de ajonjolí y tierra, mientras que de las muestras de mieles, se obtuvieron dos colonias con características morfoculturales similares al género *Rhodotorula* (Fig. 1). Se definió que las cepas aisladas se denominaran 2-1 y 12-1. Estas colonias mostraron buen crecimiento en el medio M1 y presentaron una pigmentación rosa coral, lo cual es típico de este género. Guamán y Carvajal (2009) refieren que los pigmentos carotenoides presentes en algunos géneros de levadura como *Rhodotorula, Rhodosporidium, Sporobolomyces, Sporidiobolus* les confiere colores característicos a las colonias y protección contra efectos dañinos de la radiación UV.

Tabla I: Resultado de la siembra en medio YPG de las diferentes muestras ensayadas

MUESTRA	LEVADURAS
Flores de Girasol	ND
Semillas de Ajonjolí	ND
Tierra	ND
Miel	Crecimiento de levaduras

ND: no se detecta

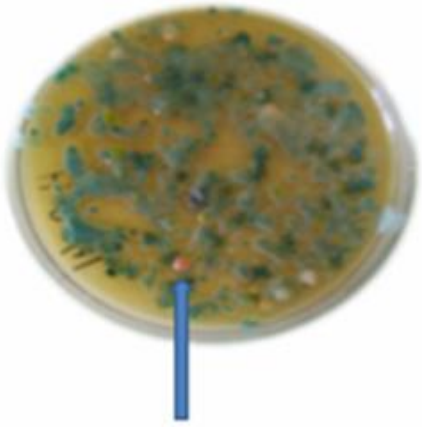


Figura 1. Colonia de levadura aislada de mieles en medio M1 con pigmentación típica del género *Rhodotorula*

Algunos investigadores han realizado aislamientos de muestras de mieles obteniendo cepas de *Rhodotorula mucilaginosa* en mayor número, las cuales fueron identificadas por Carvalho y otros (2010) empleando diversos métodos. Ha sido planteado por Guamán y Carvajal (2009) que cepas aisladas del género *Rhodotorula* se caracterizan por presentar colonias mucoides en diferentes tonalidades de salmón y rosa.

Selección y caracterización de las cepas de levadura

Dai y otros (2007) refieren que una característica importante para evaluar y seleccionar cepas de levadura con características oleaginosas, lo constituye su capacidad potencial para producir lípidos. En este sentido,

Mahua y otros (2000), plantean que un método fácil y rápido a emplear en la detección de presencia de lípidos en las células de levadura es mediante la tinción de las células con colorante Sudán Negro B, la cual es capaz de teñir los lípidos

Cuando las cepas aisladas y las seleccionadas fueron enfrentadas a este colorante, se logró observar al microscopio la presencia de sustancias de reserva de color negro oscuro, cuya tinción con Sudán Negro B permitió la detección *in vitro* de lípidos. Según Meng y otros, (2008), este método da la idea que pueden resultar en principio levaduras oleaginosas (mayor de un 10 % de grasa p/p). En la figura 2 se muestra una fotografía como ejemplo de una cepa de levadura que presenta los lípidos teñidos con dicho colorante.

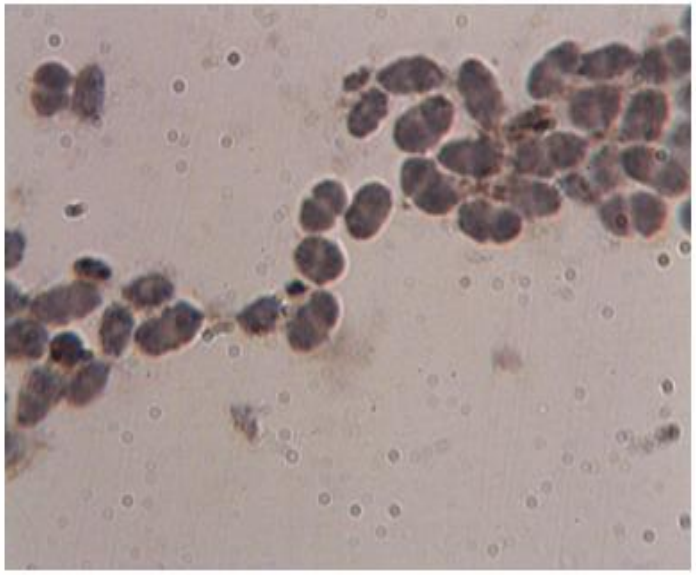


Figura 2. Cepa 2-1 teñida con Sudán Negro B vista al microscopio óptico donde se observan los lípidos de color negro

Las cepas aisladas fueron teñidas según la técnica de tinción referida por Mahua y otros (2000); Dai y otros (2007) y mostraron una respuesta positiva ante la tinción con el colorante por lo que pueden tomarse como potencialmente productoras de lípidos. Aunque esta técnica no permite cuantificar el contenido exacto de lípidos, al menos posibilita informar mediante análisis cualitativo la habilidad de acumulación de lípidos de las cepas evaluadas, Dai y otros (2007); Carreño, Mendoza y Villanueva (2009). Las cepas que presentaron esta propiedad pertenecen a los géneros *Candida*, *Rhodotorula* y *Saccharomyces*.

Estudios realizados con levaduras describen la identificación de 20 colonias aisladas del suelo y de ellas solo ocho fueron caracterizadas como oleaginosas con el empleo de esta técnica que corresponden a los géneros *Rhodotorula*, *Lipomyces*, *Candida*, *Rhodosporidium*, *Cryptococcus* y *Trichosporon*. Los resultados obtenidos con las cepas evaluadas coinciden con lo reportado por Yonghong, Zhao y Fengwu (2007), investigaciones que revelan la alta eficiencia de los géneros de levadura *Rhodosporidium* sp., *Rhodotorula* sp. y *Lipomyces* sp. para acumular lípidos intracelularmente por encima del 70 % de su biomasa en peso seco.

En estudios realizados por Pan y otros (2009), demostraron la eficacia del empleo de esta técnica para determinar la presencia de lípidos y facilitar la caracterización de levaduras oleaginosas. No obstante, este ensayo por sí solo no es una garantía de que estos cultivos sean buenos productores de grasa cuando sean

cultivados en medios donde presenten glicerol como única fuente de carbono, por lo que es necesario llevar a cabo estudios *in vitro* para determinar la capacidad de crecimiento en glicerol de las levaduras de interés.

Para llevar a cabo la selección de las cepas ensayadas, primero nos basamos en estudios previos de las cepas *S. cerevisiae* y *C. vini*, las cuales fueron reportadas por Bueno y Martínez (2003) con actividad lipolítica. Además, teniendo en cuenta lo reportado Pan y (2009) en cuanto a las características oleaginosas de las levaduras *C. lipolytica* y *Rhodotorula,* se decidió seleccionar las cepas mencionadas para realizar el estudio.

Identificación de las levaduras

Una vez concluida la selección de los cultivos con potencialidades oleaginosas, se procedió a la identificación de los aislados y la reclasificación de las tres cepas de la CCICIDCA y las dos del INTI mediante el sistema de identificación API 20 C AUX (bioMérieux S.A., Francia).

En el momento del desarrollo de este trabajo, se contaban con sistemas de identificación más avanzados como el API diseñado fundamentalmente para el análisis rápido de muestras clínicas y con un medio cromogénico similar al reportado **CHROMagar Candida®** (CHROMagar) descrito por Odds y Bernaerts (1994) diseñado para el aislamiento e identificación de algunas especies de levadura del género *Candida.*

Tabla II. Respuesta de las cepas a las pruebas morfológicas-fisiológicas

Azúcares	**L/3-79-1**	**L/3-39-1**	**L/25-7-20**	***R. minuta***	**2-10**	**2-1**	**12-1**
Control	-	-	-	-	-	-	-
GLU	+	+	+	+	+	+	+
GLY	+	+	-	+	+	+	+
2KG	-	+	-	+	-	-	-
ARA	-	-	-	+	+	+	+
XYL	-	+	-	+	+	+	+
ADO	-	+	-	-	+	-	+
XLT	-	-	-	-	+	-	+
GAL	-	+	+	-	+	+	+
INO	-	-	-	-	-	-	-
SOR	-	+	-	-	+	-	+
MDG	-	+	+	-	-	-	-
NAG	+	+	-	+	-	-	-
CEL	-	+	+	+	-	-	-
LAC	-	-	-	+	-	-	-
MAL	-	+	+	-	+	+	+
SAC	-	+	+	+	+	+	+
TRE	+	+	+	+	+	-	+
MLZ	-	-	+	+	+	+	+
RAF	+	+	+	-	+	+	+
HIFAS	+	+	-	-	-	-	-

GLU: D-glucosa**, GLY:** glicerol**, 2KG:** 2-cetoglutonato cálcico**, ARA:** L-arabinosa**, XYL:** xilosa**, ADO:** adonitol**, XLT:** xilitol**, GAL:** D-galactosa**, INO:** inositol**, SOR:** D-sorbitol**, MDG:** metil-αD-glucósido**, NAG:** N-Acetil-Glucosamina**, CEL:** D-celobiosa**, LAC:** D-lactosa**, MAL:** D-maltosa**, SAC:** D-sacarosa**, TRE:** D-trealosa**, MLZ:** D-melezitosa**, RAF:** D-rafinosa

Teniendo en cuenta que la clasificación de la mayoría de los cultivos de levadura de la CCICIDCA, se realizaron por técnicas convencionales hace muchos años, al principio de la creación de la Colección, se

procedió a la reclasificación de las cepas seleccionadas. Las respuestas de las pruebas morfológicas-fisiológicas se observan en la Tabla II.

La lectura de las galerías se realizó a las 48 y 72 horas de incubación del API 20 C AUX, el resultado se evidenció al evaluar las cúpulas con respecto al control de crecimiento. La interpretación de los resultados se realizó de acuerdo a las instrucciones del fabricante y la identificación con el programa informático *ApiWeb* StandAlone®. El perfil numérico arrojado con la ayuda del kit comercial, permitió la identificación de siete especies de levadura que representan tres géneros distintos, los cuales han sido reportados anteriormente como oleaginosas por Linares y Solis (2007).

En las cepas clasificadas y reclasificadas se apreció que los géneros *Rhodotorula* y *Candida* predominaron, lo que podría estar relacionado con la gran adaptabilidad de estos en numerosos ecosistemas según Guamán y Carvajal (2009). Liu, Yang y Shi (2000); Ratlege (2004); Liang y otros (2006) han corroborado la capacidad de estas especies de producir lípidos

En la Tabla III aparece la identificación de las cepas L/3-39-1 y L/3-79-1 procedentes de la CCICIDCA, las cuales fueron ubicadas taxonómicamente como *C. tropicalis.* La cepa Argentina clasificada como *R. minuta* coincidió con esta clasificación y la *Rhodotorula* sp. (2-10) fue reclasificada como *R. mucilaginosa* 2. Las cepas aisladas 12-1 y 2-1 también fueron identificadas como *R. mucilaginosa* 2.

Es válido señalar que en este ensayo de identificación se alcanzaron altos índices de identidad (ID) con valores que oscilan entre 96,00 y 99,90 %, lo cual brinda un paso favorable en el reconocimiento o definición de las cepas con las que se está investigando.

Iata (1995); Linares y Solís (2007) refieren que en la actualidad, la aplicación de la galería API 20 C AUX resulta de interés puesto que ha permitido la identificación y caracterización de levaduras facilitando el reconocimiento de un gran número de especies de importancia económica.

Tabla III. Identificación de las cepas mediante la galería de pruebas bioquímicas API 20 C AUX

CEPAS	IDENTIFICACIÓN POR EL SISTEMA API 20 C AUX	% ID
C. vini L/3-79-1	*C. tropicalis* (L/3-74-21)	96.00
C. lipolytica L/3-39-1	*C. tropicalis* (L/3-74-22)	96,20
S. cerevisiae	*S. cerevisiae* (L/25-7 20)	99,90
R. minuta	*R. minuta* (L/24-25-1)	99,90
2-1	*R. mucilaginosa 2* (L/24-26-1)	99,90
12-1	*R. mucilaginosa 2* (L/24-26-2)	99,69
Rhodotorula sp. 2-10	*R. mucilaginosa 2* (L/24-26-3)	99,90

% ID: Porciento de identidad

Adicionalmente, ha sido ampliamente utilizada en laboratorios clínicos con el objetivo de identificar levaduras que afectan seriamente la salud humana. Este sistema ha permitido identificar diferentes especies de levadura y particularmente, ha facilitado el trabajo en los laboratorios que no cuentan con el equipamiento necesario para la identificación empleando métodos moleculares. Existe un gran número de pruebas para la identificación de levaduras, pero de ellas el API ID 32 C (bioMérieux) es el más avanzado e incluye un amplio número de levaduras a identificar. Puede ser empleada manualmente o bien de forma automatizada. García y otros (2004) refieren que identificaron con el empleo del sistema comercial API ID 32 C 60 cepas de levadura aisladas de muestras clínicas pertenecientes al género *Rhodotorula* de acuerdo con sus características de crecimiento, producción de ureasa y asimilación de compuestos carbonados.

Haciendo referencia a los medios cromogénicos, se puede decir que nos permitió confirmar en este estudio como *C. tropicalis* las cepas L/3-39-1 y L/3-79-1, anteriormente identificadas como *C. lipolytica* y *C. vini*, respectivamente. La figura 3 se muestra como el estudio de ambas cepas en presencia del medio CromoCen desarrollaron una coloración azul de sus colonias que caracteriza el crecimiento típico para la especie *tropicalis*.

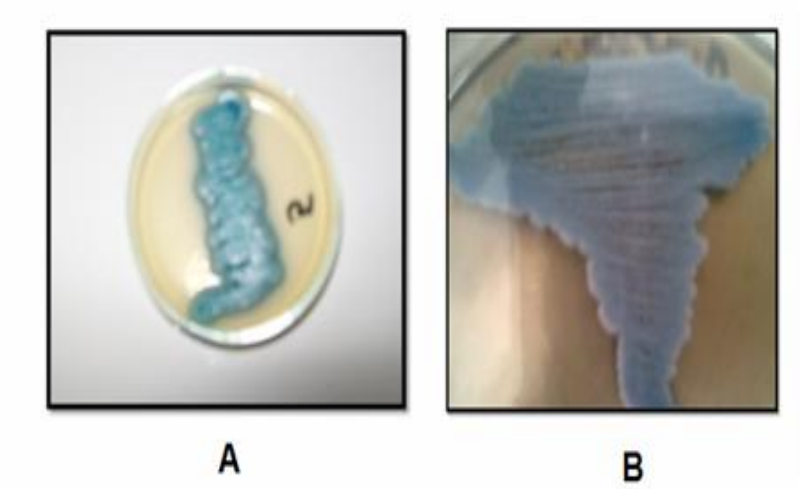


Figura 3. Crecimiento de las cepas L/3-79-1(A) y L/3-39-1(B) en el medio cromogénico CromoCen a 30 °C durante 24 horas, observándose la coloración azul típico de la especie *Candida tropicalis*.

Estos medios se fundamentan, en el uso de un sustrato cromogénico específico de la enzima del microorganismo que se investiga. Esta enzima al actuar sobre estos sustratos genera en ellos un cambio en su estructura, que se evidencia por la formación de colonias coloreadas. Adicionalmente Murray, Rosenthal y Faüer (2009) refieren que una de las principales ventajas de su uso es permitir diferenciar fácilmente los cultivos mixtos.

Con el empleo de este medio, según Linares y Solís (2007) se pueden detectar determinada actividad enzimática de la levadura mediante hidrólisis específica de un sustrato cromogénico en presencia de un indicador de la enzima.

En este ensayo el medio cromogénico CromoCen (BioCen) de producción nacional, evidenció una respuesta positiva en la especie *C. tropicalis*, cuyo resultado se corrobora con lo obtenido por Linares y Solís (2007), el cual se muestra en la figura 4. Estos investigadores utilizaron el medio CHROMagar Candida para diferenciar especies de *C. albicans, C. tropicalis, C. krusei* y *C. glabrata* en función de los colores que desarrollaron en este medio. En el caso específico de *C. tropicalis,* se plantea que se producen colonias azul oscuro con un halo púrpura-marrón en el agar que la rodea mientras que en el resto de las especies el crecimiento fue en *C. albicans* (verde), *C. krusei* (rosa y rosa rugosa), *C. parapsilosis* (rosácea-lisa) y *Prototheca wickerhamii* (crema).

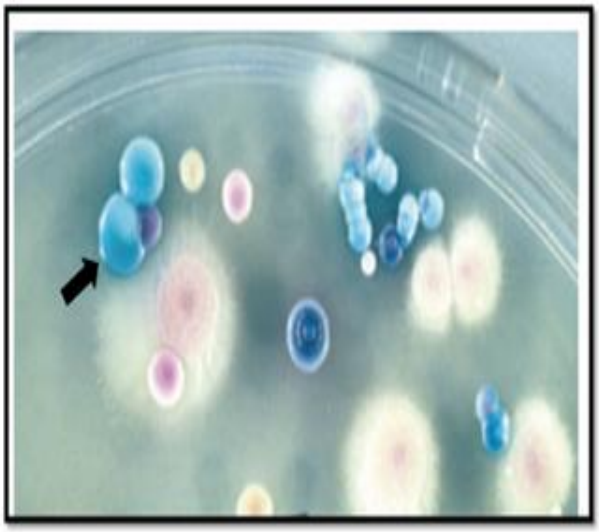


Figura 4 Crecimiento en medio CHROMAgar Candida de diferentes especies de levadura señalando colonias azules de *C. tropicalis* (Linares y Solís, 2007)

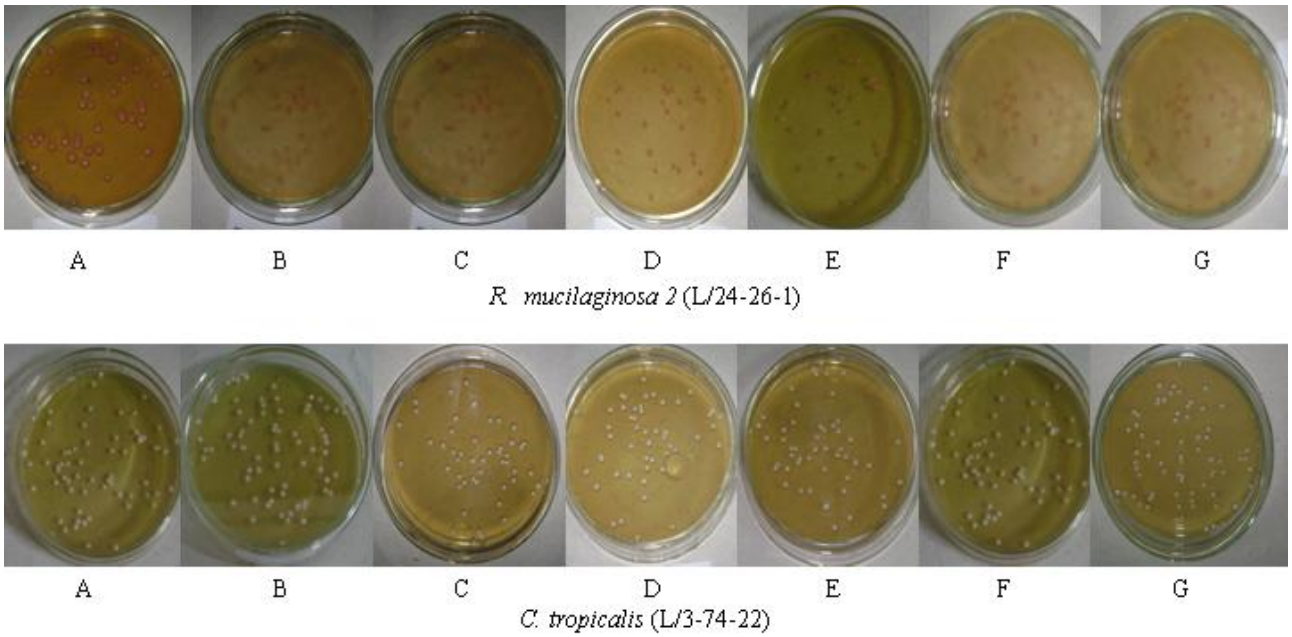


Figura 5. Crecimiento en placa de la cepa *R. mucilaginosa 2* (L/24-26-1) y *C. tropicalis* (L/3-74-22), en el medio YPG Agar (A) y en las variantes de este medio sustituyendo la glucosa por glicerol a las + glicero a las concentraciones de 20, 40, 60, 80, 100 y 120 $g \cdot L^{-1}$, (B, C, D, E, F y G respectivamente) cultivada a 30 °C durante 24 horas.

Crecimiento de las cepas *R. mucilaginosa 2* (L/24-26-1) y *C. tropicalis* (L/3-74-22) en glicerol

Bell (2012) refiere que entre todas las cepas estudiadas los mayores % de lípidos obtenidos correspondieron a las cepas *R. mucilaginosa 2* (L/24-26-1) y *C. tropicalis* (L/3-74-22) La figura 5 muestra los resultados del crecimiento de las cepas seleccionadas a diferentes concentraciones de glicerol. Después de 24 horas de incubación de las placas se pudo comprobar por inspección visual que las cepas eran capaces de crecer a

todas las concentraciones ensayadas. Este resultado es alentador considerando que las cepas L/24-26-1 y L/3-74-22 pudiera cultivarse en un medio que presente condiciones favorables para su crecimiento y producción de lípidos a escala industrial empleando glicerol como única fuente de carbono. La capacidad de crecimiento de diferentes cepas de levadura en glicerol fue determinado en estudios anteriores por Yonghong, Zhao y Fengwu (2007), donde emplearon una concentración de glicerol de 30 $g \cdot L^{-1}$ obteniendo crecimiento en todas las cepas ensayadas. Estos resultados pueden tomarse como referencia que demuestra la capacidad que presentan las levaduras de asimilar el glicerol.

Papanikolaou y Aggelis (2002); Easterling y otros (2009) demostraron que el glicerol es un sustrato adecuado para diferentes especies de levaduras y recientemente se ha reportado por Papanikolaou y otros (2008) la capacidad de los géneros y especies de levadura *Rhodotorula* sp., *Candida aloleophila*, *Candida curvata*, *Candida pulcherrima*, *Yarrovia lipolytica* y *Pichia membranifaciens* de asimilar glicerol crudo procedente de los residuales de la producción de biodiesel.

CONCLUSIONES

1- Se lograron aislar dos cepas de levadura de la especie *Rhodotorula mucilaginosa* a partir de mieles de Caña de Azúcar.
2- Se seleccionaron todas las cepas de levadura en la evaluación *in vitro* por demostrar características oleaginosas para su utilización potencial en la obtención de lípidos por vía microbiana, entre ellas destacan las cepas *R. mucilaginosa 2* (L/24-26-1) y *C. tropicalis* (L/3-74-22).
3- El método convencional aplicado permitió identificar 7 cepas de levadura oleaginosas que corresponden a las especies *Candida tropicalis* (2), *Rhodotorula mucilaginosa 2* (3), *Rhodotorula minuta* (1) y *Saccharomyces cerevisiae* (1).
4- Las cepas *R. mucilaginosa 2* (L/24-26-1) y *C. tropicalis* (L/3-74-22) fueron capaces de asimilar el glicerol como única fuente de carbono a todas las concentraciones ensayadas (20 – 120 g/L^{-1}).

RCOMENDACIONES

1. Para estudios posteriores se recomienda la cepa *R. mucilaginosa 2* (L/24-26-1), no así la *C. tropicalis* (L/3-74-22), por pertenecer al grupo II de riesgo biológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

API 20 C AUX. (2010), Sistema de Identificación de Levaduras. bioMérieux S.A., Francia

Baker, J.R; Quart, J. (1946), Micr Sci, vol 87, pp. 441

Bell, M. (2012), Aislamiento y caracterización de levaduras oleaginosas. Tesis de Diploma. Facultad de Biología. Universidad de La Habana. Cuba

Bligh, E.G; Dyer, W.J. (1959), A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. 37, 911–917.

Bueno, L; Martínez, A. (2003), Catálogo de cepas microbianas. Colección de Cultivos ICIDCA. Editorial ICIDCA, La Habana, Cuba, pp 87

Carreño, C; Mendoza, G; Villanueva, C. (2009), Manual de Prácticas Microbiología en el Tratamiento de Desechos. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.

Carvalho, C.M; Meirinho, S; Estevinho, M.L; Choupina, F. (2010), Especies de levaduras asociadas a la miel. Métodos diversos de identificación. Arch. Zootec, 59 (225), 103-113

Chacón, A. (2004), Perspectivas actuales de la proteína unicelular (SCP) en la agricultura y la industria. Agronomía Mesoamericana, 15 (1), 93-106

Dai, C; Tao, J; Xie, F; Daí, Y; Zhao, M. (2007), Biodiesel generation from oleaginous yeast *Rhodotorula glutinis* with xylose assimilating capacity. Afr. J. Biotechnol, 6, 2130–2134.

Easterling, E.R; French, T; Hernandez, R.W; Licha, M. (2009), The effect of glycerol as a sole and secondary substrate on the growth and fatty acid composition of *Rhodotorula glutinis*. Bioresour. Technol, 100 (8), 356–361.

Faife, E; Otero, M.A; Alvarez, A; Peña, M. A; Melfi, M; Matos, M.L; Kozlowski, A.M. (2011), Microbial oil production by oleaginous yeasts on wastewaters-based medium. Int. Sugar J, 113 (1355), 786:791

Faife, E; Otero, M. A; Álvarez, A. (2012), Producción de biodiesel a partir de microorganismos oleaginosos. Una fuente de energía renovable. Parte 1: Levaduras y Bacterias. Revista ICIDCA, 46(1), 22-32.

García, P; García, L; Ruiz, J; Saldarreaga, A; Marín, P. (2004), Asimilación de carbohidratos por cepas de *Rhodotorula glutinis* de origen clínico y ambiental. Rev. Iberoam. Micol**,** 21, 90-92.

Guamán, C; Carvajal, J. (2009), Caracterización e identificación de aislados de levaduras carotenogénicas de varias zonas naturales del Ecuador. **Universitas Scientiarum,** 14 (2-3), 187-197.

Harrigan, W.F; MacCance, M.E. (1968), Métodos de Laboratorio en Microbiología Editorial Academia León (España)

Iata, S. (1995), Avance de la Bacteriología Médica. El Sistema API**.** Revi Med Hondu, 63 (2), 79-80.

Li, Q; Du, W; Liu, D. (2008), Perspectives of microbial oils for biodiesel production. Appl Microbiol Biotechnol, 80 (7), 49-756.

Li, Q; Wang; M.Y. (1997), Use food industry waste to produce microbial oil. Sci. Technol. Food Indust, 6, 65-69.

Liang, X.A; Dong, W.B; Miao, X.J; Dai, C.J. (2006), Production technology and influencing factors of microorganisms grease. Food Res. Dev, 27 (3), 46-47.

Linares, M. J; Solís, F. (2007), Rev. Iberoam. Micol. cápitulo 11-ISBN: 978-84-611-8776-8.

Liu, S.J; Yang, W.B; y. Shi, A.H. (2000), Screening of the high lipid production strains and studies on its flask culture conditions, **Microbiol, 2**7 (2), 93-97.

Mahua, T; Chatterjee, A; Seunath, A; Khalawan, B; Curran, P.G. (2000), Cellular lipid composition influences stress activation of the yeast general stress response element. Microbiol, J, 146, 877-884.

Meng, X, J; Yang, X; Xu, L; Zhang, Q; Nie, Y; Xian; M. (2008), Biodiesel production from oleaginous microorganisms. Renewable Energy doi: 10.1016/ j.renene, 04.014.

Merck. (2002), Manual Básico de Medios de Cultivos de Microbiología

Murray, P.R; Rosenthal, K.S; Faüer, M.A. (2009), Microbiología médica. 5ta ed. en español. Madrid: Elsevier, pp. 213-64.

Odds, F.C; Bernaerts, R. (1994), CHROMagar *Candida* a new differential isolation medium for presumptive identification of clinically important *Candida* species. J Clin Microbial, 32, 1923-1929.

Orberá, T. (2004), Métodos moleculares de identificación de levaduras de interés biotecnológico. Rev. Iberoam. Micol, 21, 15-19

Pan, L.X; Yang, F.G; Shao, L; Li, W; Guang, G; Liang, Z.Q. (2009), Isolation of the Oleaginous Yeast from the Soil and the Studies of Their Lipid-Producing Capacities. Food Thechnol. Biotechnol, 47(2), 215-220.

Papanikolaou, S; Fakas, S; Fick, M; Chevalot, I; Galiotou- Panayotou, M; Komaitis, M; Marc, I; Aggelis, G. (2008), Biotechnological valorization of raw glycerol discharged after bio-diesel (fatty acid methyl esters) manufacturing process: Production of 1,3-propanediol, citric acid and single cell oil. Biomass Bioenerg, 32, 60–71.

Papanikolaou, S; Aggelis, G. (2002), Lipid production by *Yarrowia lipolytica* growing on industrial glycerol in a single-stage continuos culture Bioresour. Technol, 82 (1), 43-49.

Papanikolaou, S; Ruiz, P; Pariset, B; Blanchard, F; Fick, M; (2000), High production of 1,3 propanediol from industrial glycerol by a newly isolated *Clostridium butyricum* strain. J. Biotechnol, 77, 191-208.

Qiang, L; Wei, D; Dehua, L. (2008), Perspectives of microbial oils for biodiesel production. **A**ppl. Microbiol. Biotechnol. DOI 10.1007/s00253-008-1625-9

Ratledge, C. (2004), Fatty acid biosynthesis in microorganisms being used for Single Cell Oil production. Biochi. J. 86:807–815. doi:10.1016/j.biochi.2004.09.017

Villa, P; Bueno, L; Valdés, I. (2001), Control sanitario a las materias primas y producto final. Métodos de laboratorio. En: Metodología para la limpieza y desinfección en la producción biotecnológica de derivados de la industria azucarera. Editorial ICIDCA. Cap. 5, pp 43-45

Yonghong, Li; Zhao, Z; Fengwu B. (2007), High-density cultivation of oleaginous yeast *Rhodosporidium toruloides* Y4 in fed-batch culture. Enzyme and Microbial Technology, 41 (3), 312-317

PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE ENVASES PARA LA RECOLECCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTOS.

PACKS SUSTAINABLE PRODUCTION BY FOODS COLLECTION AND DISTRIBUTION.

AUTORES: Adolfo Brown Gómez, Amaury Álvarez Delgado, Juan A. Leal, Andrés Gómez Estévez, Arletis Renté Zamora, Reinaldo Pajes Castro, Gretel Mieres Balmaseda.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). División de Química. Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.
e-mail: adolfo.brown@icidca.edu.cu

COLABORADORES:
- Empresa Militar Industrial "Emilio Barcenas Píer. Valle Grande, La Habana Cuba.
e-mail: ebpier@reduim.cu
- Empresa Militar Industrial "Cdte Ché Guevara. Complejo de Producción de Artículos Plásticos CAHOMA. Hoyo de Manicaragua. Villa Clara.

RESUMEN.

La protección del medio ambiente a partir del uso conciente y reciclaje de matrices plásticas derivadas de la industria petroquímica, constituye en la actualidad un reto importante en el camino hacia el éxito de una Química Sostenible que intenta compatibilizar al mismo tiempo, los objetivos económicos de la industria, los de protección ambiental y los de beneficio social.
El trabajo desarrollado evidenció el ahorro, reciclaje y posible sustitución de matrices plásticas comerciales como el polietileno (PE) para la inyección y moldeo de envases destinados a la distribución de alimentos en diferentes sectores industriales. Con el propósito de sustituir importaciones, reducir costos y el exceso de deshechos no biodegradables pero reciclables, llegamos a formular un producto intermedio sustituyendo polietileno virgen (PEv) por polietileno reciclado (PEr) y parte de este último, por 30% de fibras de bagazo de caña de azúcar. Como resultado, se lograron incorporar PEr y fibras de bagazo al diseño por inyección de envases plásticos, reforzando su resistencia mecánica y haciéndolos a su vez mas ecológicos y livianos, con ahorros significativos para la industria.

PALABRAS CLAVES: composite, polietileno, fibras de bagazo, envases.

ABSTRACT.

The protection of the environment by plastic matrixes recycling derived from petrochemical industry, is nowadays the most important challenge towards a successful Sustainable Chemistry trying to compatibilize the economical objectives of the industry as such, environmental protection and social benefits at the same time.
The work developed showed saving, recycling and the possible substitution of commercial plastic matrixes such as polyethylene (PE) for the injection and molding of storing boxes to be used in the distribution of food in different industrial sectors. With the objective of substituting imports, reducing costs and the excess of non-biodegradable but recyclable wastes, we could formulate an intermediate product substituting raw polyethylene (PEv) by recycled polyethylene (PEr) and a part of the last one, by 30 % of sugarcane baggasse

fibers. As a result, we could incorporate PEr and baggasse fibers to the design by injection of storing boxes, reinforcing its mechanical resistance and making them be lighter and more ecological, with significant savings for the industries.

KEY WORDS: recycled polyethylene, bagasse fibers, packs, composites.

INTRODUCCIÓN.

Los materiales plásticos se dividen según consideraciones económicas y uso final en "commodity" y "polímeros de ingeniería". En nuestro estudio abordaremos fundamentalmente uno ellos considerado commodity, el polietileno (PE). Cuando se calienta eteno (etileno) con oxígeno bajo presión, se obtiene un compuesto de elevada masa molar (alrededor de 20 mil) llamado polietileno, el cual es un alcano de cadena muy larga. Monómero: $CH_2 = CH_2$. Fig. 1

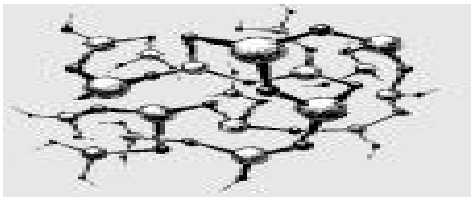


Fig.1 Estructura del PE.

El PE es considerado el plástico más popular del mundo. Muy resistente a las bajas temperaturas, la tensión, compresión y la tracción. No es tóxico y posee una gran resistencia al desgaste, a la abrasión y el impacto. Recientemente, su mayor importancia radica en los usos que se derivan de su inercia y su resistencia al agua. En nuestro trabajo emplearemos fundamentalmente polietileno reciclado (PEr) de alta densidad. Como finalidad, buscamos a partir de su reciclaje, fácil moldeabilidad y reducción, garantizar mayores rendimientos, protección al medio y ahorros para la economía de cualquier país. (Gálvez 2008, Fuetes 1991)
El bagazo, coproducto de la industria cañera, ha probado su eficiencia en la producción de materiales de uso estructural. En nuestro estudio utilizaremos bagazo desmedulado, quedando como componente mayoritario la celulosa, cuyo carácter hidrofílico será mejorado a partir del uso de aditivos que faciliten la compatibilidad fibra-matriz requerida en el material "*composite*", debido a la naturaleza no polar de esta última. (Colom 2003, Callister 2000, Jayne 1972). El empleo como combustible de las fibras de bagazo de caña debido a las ventajas que ofrece en cuanto a costo y medio ambiente se suman en la actualidad a una revalorización sostenida en el campo de los composites *plásticos*, compitiendo con otras fibras de origen natural como el bambú, el cañamo, el yute, el sisal y otros derivados de la biomasa que brindan protección al medio y el hombre, sustituyendo componentes inorgánicos, fibras erosivas y agresivas como la lana de vidrio. (Brown 2006, Stael 2001, Brown 2009)
Como tal, los materiales compuestos pueden contar con una matriz polimérica, metálica o cerámica, acompañada por el material de refuerzo que puede ser del tipo relleno particulado o pueden ser fibras (tejidas o no tejidas). (Brown 2006, Lee 1994, Brown 2008)
El índice de consumo de los materiales plásticos a nivel mundial se ha elevado en tal magnitud, que los productos derivados de procesos industriales en busca del llamado desarrollo, se vuelven cada día más duraderos y por supuesto, menos biodegradables. El empleo de matrices plásticas ha jugado un papel predominante en esta actividad debido a las ventajas que ofrecen estos materiales (Fung 2003, Schuht 1997, Gibson 2001). Se impone un proceso de reciclaje para cerrar el ciclo activo de los nuevos composites y convertir estos productos en su etapa de pos-consumo en materias primas "retornables" con valor agregado, facilitando su procesamiento en la industria y nuevos destinos de aplicación. Para ello, se han creado depósitos diferenciados donde los materiales pos-consumo son clasificados, beneficiados, molidos y

reutilizados, alargando su tiempo de vida útil gracias a su moldeabilidad, resistencia, posibilidad de ser incluidos o reforzados para la confección de artículos con menor valor añadido.
Nuestro trabajo abarcó el re-uso de PEr como sustituto de PE virgen importado. Consideró además, la necesidad de sustituir parte del PEr por fibras de bagazo estudiando la relación carga/tamaño de fibras y aprovechando la baja densidad de las mismas, buscando envases mas livianos y reforzados.

Como camino hacia una Química Sostenible nos trazamos como objetivo:

- Reutilizar matrices plásticas recicladas a nivel nacional como forma de protección al medio y el hombre, sustituyendo importaciones.
- Generar valor agregado en las fibras de bagazo de caña de azúcar cuando forman parte del diseño de nuevos composites moldeados.
- Garantizar una producción sostenible de envases reforzados alargando su tiempo de rotación.
- A partir del composite formulado, crear un nuevo fondo exportable no tradicional.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Preparación de las fibras.

Se empleo bagazo desmedulado y presecado en pacas (FBD) procedente de la Empresa Azucarera Jesús Menéndez radicada en las Tunas, Cuba. Los estudios de adecuación, clasificación y estimación de las cargas, se llevaron a cabo en la Planta de Composites del ICIDCA. Los resultados se reportan en la Tabla I.

Tabla I. Análisis granulométrico de las partículas de bagazo.

Tamiz(mm)	6.3	4	2	1	0.5	0.2	colector
Promedio (%)	-	-	6.32	24.48	43.52	20.04	5.04

Malla de molida: 5mm.
El porcentaje de humedad medido en la fibra fue de 9.0 %.

Se aplicó un diseño 2^2 tomando como primera variable las fibras de bagazo (pasadas por malla 1 y retenidas en 0.5 y pasadas por 0.5 retenidas en 0.2 mm). La segunda variable seleccionada fueron las cargas entre 20-30% de fibras para formular con PEr un material "*composite*". Los resultados del diseño experimental evidenciaron que la variación en los tamaños de fibras seleccionados para el estudio tenían poco efecto en las propiedades físico-mecánicas del composite, por lo que se decidió continuar el estudio a partir del tamaño de fibras pasadas por malla 1 y retenidas en 0.2 mm, haciendo un mayor énfasis en el estudio de las cargas empleadas (20, 25 y 30%) de fibras.
Para el estudio se tomaron como antecedentes las experiencias del trabajo realizado con polipropileno (PP) y fibras de bagazo para partes y piezas de aspecto dentro del sector de automoción, paneles plásticos y pisos de trenes (Brown 2006) desarrollados como parte de un proyecto IBEROEKA con el Centro Tecnológico Gaiker del País Vasco. Fig. 2

Fig. 2. Partes y piezas de aspecto con PP + FBD

Análisis de la matriz por Espectroscopia Infrarroja (FTIR) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

Para la caracterización estructural del PEr, los espectros se analizaron 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 $4cm^{-1}$ con una acumulación de 60 scan y un ajuste de la línea base en 64 puntos. El procesamiento de los espectros se realiza mediante el Software OPUS NT.
Para estudiar la estabilidad del PEr, el comportamiento de su temperatura de transición vítrea (Tg) y la posible afectación de su temperatura de fusión (Tm) por la presencia de impurezas durante el proceso de reciclaje se utilizó un DSC-30, METTLER, TOLEDO. El intervalo de temperaturas estudiado en régimen dinámico abarcó entre 20-200 ^{o}C a una velocidad de calentamiento de 10 $^{o}C/min$.

Selección de aditivos.

La naturaleza apolar (hidrofóbica) del PEr y la naturaleza polar (hidrofílica) de las fibras de bagazo fueron razones suficientes para estudiar el efecto de algunos aditivos (compatibilizadores o modificadores) con el objetivo de mejorar la interacción fibra-matriz y la procesabilidad del producto intermedio, granzas o pellets (PI) durante el proceso de inyección y moldeo. Dentro de los aditivos comerciales fueron seleccionados al final del estudio [Pwax, Agente copling, CPE y TiO_2]. La adhesión mecánica, geometría de las partículas y adición/reducción de aditivos, benefician el desempeño integral del composite, con ahorros significativos en su formulación. (George 2001)

Preparación de las muestras (probetas ALTER).

De manera general, el proceso consiste en mezclar el PEr previamente peletizado, con las cargas seleccionadas de fibras de bagazo molidas y pesadas, añadir un porcentaje de PEv y los aditivos requeridos para formar la granza o PI en una peletizadora, ajustando las temperaturas de enfriamiento/calentamiento. Una vez optimizado el proceso tecnológico, utilizar el PI para moldear el artículo deseado por inyección. Para estudiar las propiedades físico-mecánicas del PI, los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Control LAFIM del ICIDCA y se prepararon probetas ALTER para su evaluación. Fig. 3

Fig.3 Probetas formuladas con PEr + % FBD

Proporciones para la formulación del PI o granzas.

A: 95% PEr + 5% PEv
B: 75% PEr + 5% PEv + 20% FBD
C: 70% PEr + 5% PEv + 25% FBD
D: 65% PEr + 5% PEv + 30% FBD

Ensayos físico-mecánicos.

Para el desarrollo de los ensayos físico-mecánicos se contó con el siguiente equipamiento:
- Dinamómetro TIRAtest 2300.
- Dinamómetro universal ALwetron TCT 10. Flexión: UNE 53-022-76
- Micrómetros.
- Ensayo de tracción: Norma UNE 53-023-86
- Durómetro portátil TIIIP (escala Brinell, HB). Técnica utilizada para evaluar dureza empleando la escala Brinell con el durómetro portátil TIIIP.
- Equipo Shore D de BAREISS.
- Resistencia a Impacto Charpy s/n UNE EN ISO 179:2001 "Plásticos. Determinación de las propiedades al impacto Charpy. Ceast (MT LB 0051)
- Peletizadora (Peletizadora ITI Technology, Shanghay) y máquina de inyección Sandretto 1000 TM del Taller 23 del Polígono del Plásticos. Se empleo una temperatura de inyección entre 180-220 ºC y una presión de inyección de 180 bar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La estructura del PEr va a determinar en gran medida su reología, el balance de cargas de la molécula durante y después de su procesamiento, así como su desempeño mecánico. El aumento de la heterogeneidad en la composición del PEr por una posible contaminación con otras matrices durante el reciclaje, puede provocar un aumento de la fragilidad, condicionado este efecto, por la falta de miscibilidad entre dichas matrices a una temperatura dada, de ahí la importancia de estudiar la calidad de la matriz reciclada y la influencia de las cargas de fibras por FTIR y DSC.

Los resultados alcanzados por FTIR comprobaron que las temperaturas de trabajo utilizadas durante el estudio (150 ºC-200 ºC) no afectan la matriz durante el uso y re-uso del PEr a los tiempos de exposición estudiados (que superan los tiempos de residencia de la matriz + fibras durante el proceso de granceado para formular el PI y en el cilindro de inyección antes del moldeo del envase), protegiendo a su vez, el estado físico de las fibras durante la formulación e inyección, sin que se manifiesten procesos vinculados a la

degradación. Se analizó la estabilidad oxidativa del PEr a las temperaturas de trabajo, superior a la temperatura de fusión teórica de la matriz (130-135 ºC) estudiando los posibles cambios en la fluidez del formulado, para garantizar durante el proceso, un mojado eficiente de las fibras, evitando así, captación de aire y puntos muertos de aglomeración de fibras (cuellos), sobre todo, con el aumento de las cargas. Estos efectos, originan defectos en el material composite inyectado, disminuyendo su tiempo de vida útil.

En la zona de 3000-2850 cm^{-1} aparecen las vibraciones de valencia simétricas y antisimétricas de los grupos CH_3 y CH_2. Se identifican vibraciones de doblaje en el plano entre 1500-1400 cm^{-1} correspondientes a los grupos alifáticos y vibraciones simétricas de doblaje fuera del plano, entre 750-700 cm^{-1}. Como resultado, no se evidenció formación de grupos carbonilos (CO), indicadores de la degradación del PEr como consecuencia de las fusiones sucesivas, aspecto importante a tener en cuenta, para la rotación y reciclaje de los productos finales, en su etapa de pos-consumo. Hacia los 190 ºC, con el aumento de temperatura, se mejora la fluidez de la matriz y por consiguiente, mejora la procesabilidad de la mezcla y el mojado de las fibras, aspecto importante para una buena interacción fibra-matriz. Fig. 4

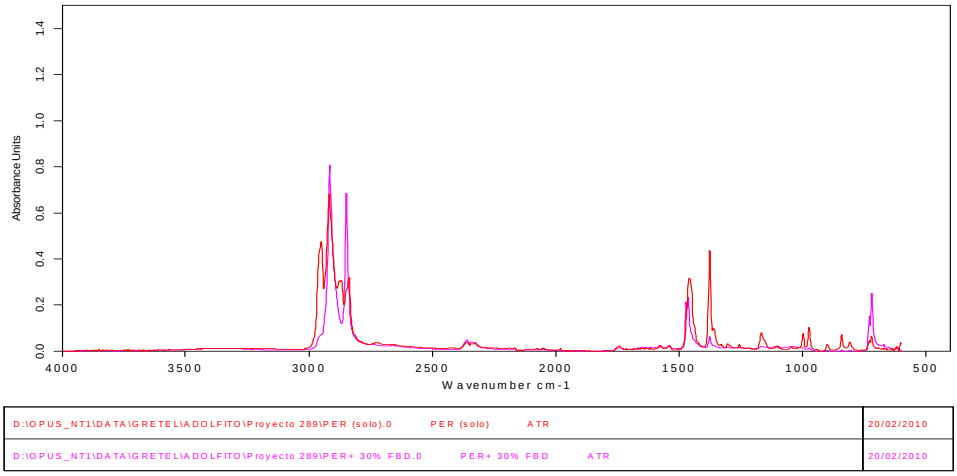


Fig. 4 FTIR del 95% PEr+ 5%PEv+ 6 aditivos
65% PEr+5%PEv+ 30% FBD+ 4 aditivos

El termograma obtenido por DSC para el PEr utilizado para la formulación del PI (Fig.5) nos muestra una transición endotérmica de primer orden asociada a un cambio en la capacidad calorífica de la matriz, relacionada con la temperatura de fusión de la misma hacia los 132.63 ºC, denotando la pureza aceptable del polímero reciclado al comparar este resultado con los reportes teóricos (130-135 ºC) del PEv. Por otro lado, no se evidencian transiciones de segundo orden que puedan estar vinculadas a posibles alteraciones de la temperatura de transición vítrea (Tg) para el PEr, resultado muy importante debido a que existen propiedades como la resistencia al impacto que resultan muy sensibles a las transiciones vítreas y los fenómenos de cristalización durante el procesamiento del material compuesto. Cuando la temperatura cae por debajo de la Tg, el movimiento segmental de rango largo de un polímero se termina y por consiguiente, ocurre una transición vítrea que cambia al polímero de su estado blando y flexible a otro rígido o quebradizo, que no es la propiedad que estamos buscando.

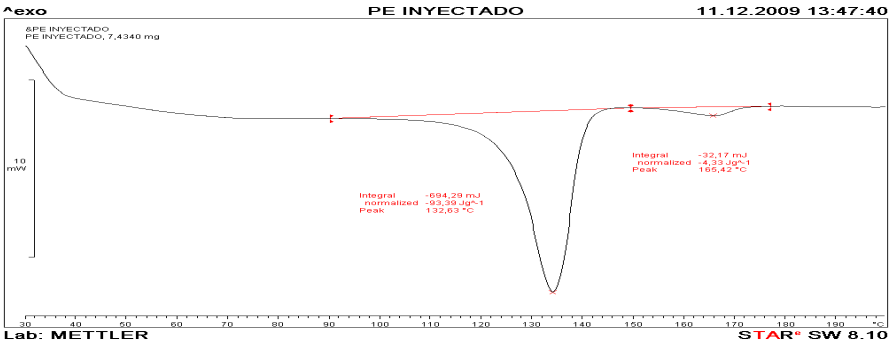


Fig.5 Termograma del PEr.

Conocer las características del polímero utilizado (peso molecular, cristalinidad, configuración química, estabilidad etc) puede tener influencias no solo en el proceso, sino en la calidad y propiedades finales de la pieza moldeada.

Durante esta primera etapa de escalado, se moldearon a partir del PI formulado (10 kg) en el ICIDCA, diferentes prototipos de artículos, cuya complejidad en los perfiles, nos serviría de guía para comprobar la eficiencia en la fluidez de la mezcla, el ajuste de las cargas y su impacto en los defectos del artículo moldeado. Fig. 6, 7 y 8.

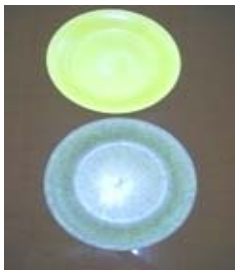


Fig.6 Platos

Fig.7 Percheros

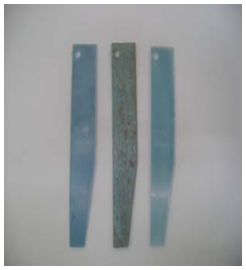


Fig.8 Probetas

Esta etapa de trabajo permitió optimizar la formulación del PI a escala de laboratorio, comprobando la eficiencia de la inyección y el refuerzo de las propiedades del material inyectado. Hasta 30% de FBD se logró la inyección del PI sin que se formaran cuellos de fibras.

Una segunda etapa de escalado del PI se llevó hasta 500 kg (Fig. 9) contando con la colaboración de la Empresa Militar Industrial Emilio Barcenas Pier ubicada en Valle Grande, La Habana.

Fig. 9. Granzas de PI [65%PEr + 5%PEv + 30% FBD + 4 aditivos]

Con el PI formulado en la EMI, se procedió a la inyección y moldeo de los primeros envases en la Empresa Militar Industrial de Manicaragua, Villa Clara, lugar donde se encuentran ubicadas las máquinas de inyección y los moldes de envases plásticos, además de proceder al análisis de las probetas.
Un aumento ilimitado de las cargas de fibras, tiende a disminuir las zonas cristalinas y esto a su vez conspira con el relajamiento de las cadenas y las mejoras en cuanto a compatibilidad fibra-matriz, aspectos que inciden en las propiedades finales del material compuesto si no se define por este método, el límite de carga en función de la prestación deseada.

ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS.

- **Ensayos de flexión, tracción y dureza.**

Los ensayos de esfuerzo-deformación han sido los mas utilizados para determinar propiedades mecánicas en los materiales poliméricos brindando una valiosa información en cuanto a resistencia y tenacidad de los mismos. Al obtener un material compuesto se pretende encontrar un material con propiedades mecánicas y funcionales diferentes a las del polímero solo que respondan a la prestación deseada.
Cuando hablamos de resistencia en un composite, estamos vinculando esta propiedad mecánica a varios aspectos que definen su capacidad de soportar una fuerza o tensión determinada: En la Tabla II se reportan los resultados promediados alcanzados para los ensayos de flexión, tracción y dureza.

Tabla II. Resultado de los ensayos físico-mecánicos del PI.
(valor promediado para 10 probetas ensayadas)

Muestra	Flexión **(N/mm^2)**	Modulo en flexión **(N/mm^2)**	Tracción **(N/mm^2)**	Modulo en tracción. **(N/mm^2)**	Dureza HB	Dureza Shore D
[A] PEr	**31**	**3137**	**35**	**3171**	**111**	**75**
[B] **PEr + 20% FBD**	29	4000	30	3861	168	80
[C] **PEr + 25% FBD**	26	3567	28	3639	125	78,3
[D] **PEr + 30% FBD**	24	3349	24	3326	►118	► 77

En nuestro estudio, la orientación y disgregación de las fibras dentro de la matriz plástica es muy difícil de predecir, ya que en fibras cortas el empaquetamiento se hace bastante irregular (Lee 1994). Desde el punto de vista mecánico, el aumento de la relación longitud/diámetro de fibras aumenta el área de la superficie específica disponible para transferir tensiones de la matriz a las fibras, lo que resulta en un mayor módulo.
Como podemos observar en los resultados alcanzados la orientación y disgregación que toman las fibras durante la inyección favorecen la actividad de refuerzo con las tres cargas estudiadas, donde el módulo o resistencia a la tensión aumenta con la adición de fibras y disminuye con el incremento de las cargas. Cargas superiores al 30% de FBD crean cuellos de fibras en el cilindro de inyección y provocan defectos en las piezas moldeadas.
Los valores de dureza nos dan una idea de cuanta energía se necesita para romper la muestra, sin embargo, un material resistente no necesariamente debe ser el más duro. Los materiales resistentes (dureza moderada) disipan mejor la energía a partir de la deformación que soportan sin romperse. El ahorro y la prestación que estamos buscando (envases para la recolección de productos agrícolas) podrían no resultar favorecidas con valores de dureza tan elevados como en [B], pues estaríamos utilizando un mayor contenido de matriz plástica y mas cercanos a la fragilidad del envase, si tenemos en cuenta el manejo posterior que tendrán dichas cajas durante la recolección, estiba, transporte, descarga y almacenamiento de los productos. Esta actividad genera deterioro debido a los pesos (fatiga), golpes, arañazos y choques involuntarios (rotura), pero normales dentro de la actividad laboral. Una dureza no muy pronunciada, limitaría los niveles de rotura y

aumentaría el tiempo de vida útil de los envases, retornables al reciclaje, después de prestar repetidas veces sus funciones.
Respondiendo a nuestros objetivos de trabajo consideramos la selección del composite [D] como la más indicada. A menudo resulta más favorable sacrificar un poco la resistencia del composite con el objeto de conferirle al material una dureza más apropiada. Para corroborar lo antes planteado, aplicamos el método de Dureza Shore y confirmamos nuestra selección a partir del resultado reportado.

- **Resistencia al impacto.**

La resistencia al impacto como una de las principales propiedades a medir nos permite evaluar el desempeño mecánico y estructural del composite y disminuye con el aumento de las cargas de fibras. Este comportamiento puede estar relacionado con el valor molecular promedio de la matriz, con la heterogeneidad que va adquiriendo el material composite y con los valores reportados para la dureza al incrementar las cargas de fibras. No obstante, para un material destinado a la inyección y moldeo de envases, se reportan con 30% de fibras, valores que garantizan un buen desempeño en la resistencia al impacto durante la actividad propuesta. El valor reportado para el PI formulado fue de 3829 J/m^2.
Una vez inyectadas y moldeadas las probetas objeto de estudio, evaluamos en cuanto a peso (en gramos), la respuesta de cada formulado, antes y después de incorporar el 30% de FBD. Como resultado, la media en el peso para 10 probetas registró la variación al sustituir el 30% de PEr por FBD:

95% PEr + 5% PEv [9.04 g]
65% PEr + 5% PEv + 30% FBD [7.65 g]
Se pone así de manifiesto, el carácter más liviano del PI formulado con 30% FBD.
En el laboratorio de Control LAFIM se desarrollaron las pruebas referidas a la densidad aparente que a continuación reportamos. Tabla III.

Tabla III. Influencia de la adición de FBD en la densidad aparente

PEv Probetas	Peso (g)	Espesor (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	D. Aparente g/cm^3
1	0.7232	0.36	1.98	1.01	1.0045
2	0.8301	0.36	2.73	1.01	0.8363
3	0.8039	0.36	2.12	1.01	1.0429
				Media	0.9612
				Máximo	1.0429
				Mínimo	0.8363
				DS.	0.1099
PEr+30%FBD Probetas	Peso (g)	Espesor (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	D. Aparente g/cm^3
4	0.6563	0.36	2.12	1.01	0.8515
5	0.8297	0.36	2.78	1.01	0.8208
6	0.8035	0.36	2.81	1.01	0.7864
				Media	0.8196
				Máximo	0.8515
				Mínimo	0.7864
				DS.	0.0326

Como se puede apreciar en los datos reportados, la introducción de las fibras garantiza un composite más liviano.

- **Inyección y moldeo de los envases.**

Con el PI seleccionados para el moldeo de envases [65%PEr + 5%PEv + 30% FBD + 4 aditivos] se procedió a las primeras pruebas de inyección en envases plásticos de yogurt y leche, con el objetivo de adecuar optimizar el proceso tecnológico. Se logró la sustitución del 20% de PEv por PI. Los envases resultaron más reforzados y livianos, con ahorros de matriz plástica y aditivos. Posteriormente, la apolaridad del PEr demostró para una carga de 30% de FBD, su poca susceptibilidad a la destrucción por inmersión en agua en 2 y 24 horas. Fig. 10

Fig. 10 Envases plásticos reforzados con fibras de bagazo (leche y yogurt)

Después de esta prueba se continúo con la inyección y moldeo de cajas de acopio para productos agrícolas, objetivo principal de nuestro trabajo.

Igualmente se logró sustituir un 20% de PEv por el PI formulado con 30% de fibras. Por cuestiones vinculadas a la generación de gases en el cilindro de inyección al parecer provocadas por el aumento del tiempo de residencia del PI en el cilindro como resultado del cambio que se produce en la viscosidad de la matriz polimérica debido a la adición de las fibras de bagazo, sin olvidar que en el intervalo de temperaturas utilizadas para la inyección (180-200 ºC) la generación de vapores por la pirolisis del bagazo debe incrementarse en el interior del cilindro de inyección.

Para el control de calidad en las cajas de acopio moldeadas se realizaron las siguientes pruebas industriales:

- Prueba de absorción de agua.
- Resistencia de la prueba estática.
- Caída libre sobre el fondo.
- Caída libre sobre la esquina.

Excepto la última prueba que se considera "extrema", todas fueron satisfactorias. Finalmente, se suministraron 30 de las cajas inyectadas con el 20% del PI formulado a clientes, para evaluar en la práctica diaria el comportamiento de dichos envases y dieron como conclusión general el calificativo de **satisfactorias** para las pruebas de calidad ensayadas. Fig. 11

Fig.11 Caja de acopio con 80% PEv + 20% de PI

Se comprueba una vez más, la posibilidad de diseñar envases sostenibles y reforzados a partir del empleo de fibras de bagazo de caña de azúcar, aportando propiedades a los nuevos productos moldeados o prensados: mayor rigidez y resistencia, menor densidad, estabilidad dimensional, modificación en las propiedades de permeabilidad a los gases y los líquidos, entre otras. (Josheph 1996, Nabi 1999)

ESTUDIO ECONÓMICO PRELIMINAR.

Un aspecto importante a considerar en este trabajo, se deriva de la variabilidad de los costos en el mercado internacional de las matrices plásticas en función de los precios del petróleo. Según la Ficha de Costos de la EMI, en febrero del 2010, 1t de PEv incrementó su precio hasta 1 856.00 USD y la tonelada de PEr se cotizó a 1 218.00 USD. El costo actual de las materias primas a partir de los precios del petróleo en el mercado internacional ha continuado incrementándose durante el año 2013:

PEv importado (HDPE): 2 200 USD/t
PEr importado (HDPE): 1 800 USD/t
PEr nacional (HDPE): 800 CUC/t

Sin duda alguna, las tendencias futuras para el desarrollo de materiales compuestos, debe considerar el reemplazó de matrices plásticas por un contenido de fibras naturales sostenibles, el reciclaje y la sustitución de importaciones. Apoyándonos en datos aportados por la Ficha de Costos del MINAZ (año 2008) donde se indicaba lo siguiente**:**
El costo promedio del kwh generado por la SEN (base petróleo) = 0.0901 CUC
El costo promedio del kwh generado por la quema del BI = 0.0035 CUC

El Dpto. de Evaluación Económica del ICIDCA consideró que el país ahorra cerca de 6.5 CUC cuando utiliza 1.5 t de bagazo integral (BI) como energía, lo cual equivale a 1t de FBD. Este resultado nos llevó a considerar durante el estudio, que el costo de 1t de FBD = 6.50 CUC.
FBD: 6.5 CUC/t (precio ficha de costo de AZCUBA actualizado en el 2013 = 7.40 CUC/t)

Considerando la inyección y moldeo de envases de 2Kg**,** el costo de los aditivos x envase estará en el orden siguiente para las formulaciones que incluyen FBD en el PI formulado a partir de nuestro estudio:
PeWax: 0.0085 CUC/envase
CPE: 0.026 CUC/envase
Agte copling: 0.017 CUC/envase
TiO_2: 0.004 CUC/envase
Total: 0.0519 CUC/envase

La degradación del plástico reciclado disminuye el peso molecular, eleva la fluidez y disminuye la velocidad de fundición, es decir, el grado de cristalización del plástico reciclado tiende a disminuir, de ahí la importancia de usar aditivos para mejorar propiedades.

Tabla IV. Costo de producción de un envase sin adición de FBD y sin considerar la adición de aditivos.

Producto.	Moldeo por inyección (kg)	Moldeo por inyección (CUC)
Polietileno reciclado (PEr) [importado]	0.95 x 2.0 kg/caja = 1.9	1.9 x 1.800 CUC = 3.42
Polietileno virgen (PEv) [importado]	0.5 x 2.0 kg/caja= 1.0	1.0 x 2.200 CUC = 2.2
Costo de producción de composite	kg/caja = 2.00	CUC = 5.62
Costo de producción de la caja	Estimado de mano de obra, energía y depreciación= 0.20 CUC	5.62 + 0.20 CUC = 5.82
Costo total		**5.82 CUC**

Actualmente a nivel industrial los envases se formulan a partir de la formulación de la Tabla IV, incluyendo la adición de aditivos no considerados en el balance anterior.

En la Tabla V formulamos la propuesta que incluye la sustitución de PEr importado por FBD.

Tabla V. Sustitución de un 30% PEr importado por FBD para obtener un PI que nos permita formular granzas para la inyección de envases

Producto.	Moldeo por inyección (kg)	Moldeo por inyección (CUC)
Polietileno reciclado (PEr) [importado]	0.65 x 2.0 kg/caja = 1.3	1.3 x 1.800 CUC = 2.444
Polietileno virgen (PEv) [importado]	0.5 x 2.0 kg/caja= 1.0	1.0 x 2.200 CUC= 2.2
Contenido de FBD (30%)	**0.30** x 2.0 kg/caja = 0.6	0.6 x 0.65CUC = 0.39
Costo de producción de composite	kg/caja = 2.00	CUC =5.034
Costo de producción de la caja	Estimado de mano de obra, energía y depreciación= 0.20 CUC	5.024 + 0.20 CUC = 5.224
Costo total		**5.22 CUC**

A nivel industrial (en la EMI de Manicaragua) solo fue posible incorporar el 20% del PI formulado con 30% de FBD (en forma de granzas o pellets) al proceso de inyección y moldeo de envases, debido fundamentalmente al estado de las maquinas. Ante esta situación, se ajusto el costo de producción del envase a la incorporación del 20% del PI formulado en la Tabla VI, tomando como criterio la adición de solo el 20% del costo total del envase con PI.

Tabla VI. Incidencia del empleo a nivel industrial del 20% del PI formulado con PEr importado en la inyección y moldeo de envases.

Producto.	Moldeo por inyección (kg)	Moldeo por inyección (CUC)
Polietileno reciclado (PEr) [importado]	0.75 x 2.0 kg/caja = 1.5	1.5 x 1.800 CUC = 2.70
Polietileno virgen (PEv) [importado]	0.5 x 2.0 kg/caja= 1.0	1.0 x 2.200 CUC= 2.2
PI formulado con 30% FBD y PEr [importado]	**0.20** x 2.0 kg/caja = 0.4	0.4 x 1.01 CUC = 0.4
Costo de producción de composite	kg/caja = 2.00	CUC =5.30
Costo de producción de la caja	Estimado de mano de obra, energía y depreciación= 0.20 CUC	5.30 + 0.20 CUC =5.50
Costo total		**5.50 CUC**

Si comparamos los resultados de la Tabla VI con la propuesta analizada en la Tabla IV donde solo se utilizan las matrices plásticas importadas (PEv y PEr) y no se ha considerado el costo de los aditivos involucrados en la formulación, el impacto económico sigue reportando un ahorro de **0.32 CUC/envase.**

Si consideramos una producción de 1000 envases diarios (280 días al año), el ahorro seria alrededor de los 89 600 CUC/ año.

Con la sustitución de PEr "*importado*" con el 20% de PI (formulado con 65% PEr importado + 5% PEv importado + 30% FBD + el costo total de los aditivos empleados: 0.0519 CUC) en el proceso productivo de inyección y moldeo de envases, se ahorran **320 CUC por cada mil envases inyectados y moldeados**, sin considerar que en la formulación de la Tabla IV, se utilizan una mayor cantidad y variedad de aditivos.

Tabla VII. Nueva Propuesta: Sustituir PEr "*importado"* por PEr clasificado y recuperado a "*nivel nacional"* (PI_N) para la formulación de granzas. Precio de compra del PEr nacional: 800 CUC/t.

Producto.	Moldeo por inyección (kg)	Moldeo por inyección (CUC)
Polietileno reciclado (PEr) [nacional]	0.65 x 2.0 kg/caja = 1.5	1.5 x 800 CUC = 1.2
Polietileno virgen (PEv) [importado]	0.5 x 2.0 kg/caja= 1.0	1.0 x 2.200 CUC= 2.2
Contenido de FBD (30%)	0.30 x 2.0 kg/caja = 0.6	0.6 x 0.65 CUC = 0.39
Costo de producción de composite	kg/caja = 2.00	CUC =3.8
Costo de producción de la caja	Estimado de mano de obra, energía y depreciación= 0.20 CUC	3.8 + 0.20CUC = 3.99
Costo total		**4.00 CUC**

Este análisis demuestra como disminuye el costo de producción del envase cuando se emplea el PEr de origen nacional para la formación del PI_N reforzado con 30% de FBD.

El costo total alcanzado a partir del análisis de la Tabla VII incorporando además el costo total de los aditivos propuestos en nuestra formulación (0.0519 CUC/envase).

4.00 CUC + 0.0519 CUC = 4.05 CUC/envase (costo total)

Incorporando un 20% del PI_N al proceso productivo de inyección y moldeo de envases para analizar su impacto económico a nivel industrial llegamos a la Tabla VIII.

Tabla VIII: Sustitución del 20% de PEr importado por el PI_N formulado con PEr y clasificado a nivel nacional.

Producto.	Moldeo por inyección (kg)	Moldeo por inyección (CUC)
Polietileno reciclado (PEr) [importado]	0.75 x 2.0 kg/caja = 1.5	1.5 x 1.800 CUC = 2.70
Polietileno virgen (PEv) [importado]	0.5 x 2.0 kg/caja= 1.0	1.0 x 2.200 CUC= 2.2
PI_N formulado con 30% FBD y PEr [nacional]	**0.20** x 2.0 kg/caja = 0.4	0.4 x 0.81 CUC = 0.32
Costo de producción de composite	kg/caja = 2.00	CUC =5.22
Costo de producción de la caja	Estimado de mano de obra, energía y depreciación= 0.20 CUC	5.22 + 0.20 CUC =5.42
Costo total		**5.42 CUC**

Si comparamos el costo total de producción de un envase considerando el valor reportado en la Tabla VIII con 20% de PI_N (5.42 CUC) y analizamos el valor reportado en la Tabla VI con 20% de PI (5.50 CUC), adicionando además el costo de los aditivos propuestos, el ahorro económico logrado asciende a 0.08 CUC/envase, lo cual equivale a 80 CUC x cada mil envases producidos. Si consideramos una producción de 1000 envases diarios (280 días al año), el ahorro seria alrededor de los 22 400 CUC/ año.

Tabla IX. Insumos para la formulación de 1t de PI o PI^2 reforzados con 30% de FBD.

Materias primas (1t de PI o PI_N)	Peso en kg.
Polietileno reciclado (PEr)	650
Polietileno virgen (PEv)	50
Fibra de bagazo desmedulado (FBD)	300
PeWax	4.28
CPE	13.0
Agte copling.	8.57
TiO_2	2.14

CONCLUSIONES.

- Los análisis de la matriz plástica reciclada por FTIR y DSC, demuestran la eficiencia durante el proceso de clasificación y selección del PEr, así como su estabilidad ante los posibles procesos de fusión y refusión vinculados a las temperaturas de trabajo durante el reciclaje, granceado y moldeo de los nuevos composites.
- Los resultados aportados por las propiedades físico-mecánicas nos indican que la sustitución de la matriz plástica importada por fibras de bagazo es posible si logramos establecer una buena relación carga/tamaño de fibras, mejorando la compatibilidad y el refuerzo con la adición del PI formulado.
- Cargas de fibras entre 25-30% resultan las más idóneas para la prestación objeto de estudio, a partir de los valores de dureza reportados.
- Se evidencian claros ahorros por sustitución de importaciones, a partir de la revalorización de la FBD y la sustitución de PEv y PEr durante la formulación del producto intermedio o granza.

- La sustitución de PEr importado por PEr de producción nacional y a su vez, incorporando 30% de FBD, adicionando los aditivos seleccionados en este trabajo, constituye un impacto económico y ambiental no despreciable para el país, generando valor agregado a las fibras de bagazo, sin comprometer la reserva energética nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Gálvez L.O. (2008), Compendio de los Derivados de la Caña de Azúcar. ISBN 978-959-7165-18-7.
2. Fuentes T.F, Silva G.J., Rodríguez A.R, Bravo G.L, Váldez A.J. (1991), Tableros aglomerados de partículas a partir de materias primas no tradicionales. Rev. ICIDCA, XXV, No.3, pp. 50-54.
3. Colom, X., Carrasco, F., Pages, P., Cañavete. J. (2003), Effects of different treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fibers composites. Composites science and technology. vol. 63, Issue 2. Febrero.
4. Callister, W.D. (2000), Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Tomo 1 y 2. Editorial Reverté, Barcelona.
5. Jayne, B.A. (1972), Theory and design of Word based composite materials. Syracuse University Press. New York.
6. Brown A., Matellanes L., Momeñe E., Txarroalde J.R., Serantes M. (2006), El bagazo. Su empleo en composites comerciales reforzados. Rev. Plásticos Modernos. No.601, pp.50-52, ISSN 0034-8708.
7. Stael C.H.G, Tavares B.M.I. (2001), Solid-State Carbon-13 NMR. Study of Material Composites Based on Sugarcane Bagasse and Thermoplastic Polymers. Journal of Applied Polymer Science, vol. 82, pp. 2150-2154.
8. Brown A., Gómez A., Leal J.A., Sosa M., Rodríguez M.E., Sosa P., Medérico P. (2009), Estudio físico-mecánico de tableros prensados de bambú. Revista ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 43 No.1, pp. 44-48.
9. Lee A., BAI X., y PERALTA P. (1994), Selected Physical and Mechanical Properties of Giant Timber Bamboo Grown in South Carolina. Forest Products Journal. September. vol. 44 (9): 40 - 45.
10. Brown A., Álvarez A., Leal J.A., Renté A. (2008), Valor agregado del bagazo en el desarrollo de materiales termoplásticos. XVI Forum de Ciencia y Técnica, 1er Taller de Química Sostenible. ISBN: 978-959-7165-25-5.
11. Fung K.L., Xing X.S., Li R.K.Y., Tjonga S.C. y Mai Y.W., (2003), Comp. Sci Techn. An investigation on the processing of sisal reinforced polypropylene composites, 63(9), pp.1255.
12. Schuht and Gayer U. (1997), Lignocellulosic-Plastics Composites, A.L. Leao, F.X. Carvalho and E. Frollini (eds), Unesp Publisher, Botucatu, Brazil, pp. 181-195.
13. Gibson R.F. (1994), Principles of Composite Material Mechanics, Mc. Graw-Hill, New York, pp. 1-33.
14. George J., Sreekala M. S., Thomas S. (2001), Polym. Eng. Sci. 41, pp. 1471.
15. Stael C.G., Tavares B.I.M., D´Almeida M.R.J. (2001), Impact behaviour of sugarcane bagasse waste-EVA composites. Polymer Testing 20. Elsevier Science Ltd., pp. 869-872.
16. Josheph, K., Siby Varghese, Kalaprasad G., Sabu Thomas, Prasannakumari L., Koshy P., Pavitharan C., (1996), Eur. Polymer, vol. 32, No. 10, pp. 1243-1250.
17. Nabi Saheb, D., Jog J., Advances in Polymer Technology. vol. 18, No. 4, pp. 351-363. (1999),

TRATAMIENTO DE RESIDUALES PORCINOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

PORCINE RESIDUAL TREATMENT FOR BIOGAS PRODUCTION

Autores: Dania Alonso*, Yaniris Lorenzo *, Yasser Díaz, Roberto Sosa** y Yamila Angulo*.

***Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
**Instituto de Investigaciones Porcinas
Email: dania.alonso@icidca.edu.cu , yaniris.lorenzo@icidca.edu.cu , ydiaz@iip.co.cu, rsosa@iip.co.cu, yamila.angulo@icidca.edu.cu.

RESUMEN

El tratamiento de los residuos pecuarios, mediante digestión anaeróbica, es una tecnología ampliamente difundida a nivel mundial, debido a las ventajas que ofrece como fuente alternativa de energía, como generadora de abonos orgánicos y por sus bajos costos de inversión y mantenimiento. Todos estos beneficios suponen para el sector agropecuario, una gestión eficiente y sustentable de sus residuales y un ahorro económico por la sustitución de energía; siendo los biodigestores de cúpula fija los más recomendados para el tratamiento de estos efluentes en nuestro país. De esta manera, el trabajo tiene como objetivos: Presentar la aplicabilidad del tratamiento anaeróbico de residuales porcinos para la producción de biogás, en 5 casos de estudio y la metodología de cálculo para el diseño de plantas de este tipo, utilizando biodigestores de cúpula fija. Los resultados obtenidos corroboran que esta propuesta permite la conversión del 80% de estos residuos en energía, aportando beneficios económicos a la granja, garantizando la cocción de alimentos con el combustible generado, y la utilización de las aguas tratadas como agua de riego, lo que atribuye beneficios ecológicos importantes.

Palabras claves: Tratamiento de residuales porcinos, digestión anaerobia, biogás, reactores de cúpula fija.

ABSTRACT

The treatment of cattle residuals, by means of anaerobic digestion, is a broadly diffused technology at world level, due to the advantages that it offers as alternative energy source, as generating of organic fertilizers and for its low investment and maintenance costs. All these benefits suppose for the agricultural sector, an efficient and sustainable administration of their residual ones and an economic saving for the energy substitution; being the fixed dome biodigestors the more recommended for the treatment of these efluentes in our country. In this way, the work has as objectives: To present the applicability of the anaerobic treatment of swinish wastes for biogás production, in five study cases and the calculus methodology for the design of this type of plants, using fixed dome biodigestors. The obtained results corroborate that this proposal allows the conversion of 80% of these residuals in energy, bringing economic benefits to the farm, guaranteeing the cooking of foods with the generated fuel, and the use of the treated waters as watering water, what attributes important ecological benefits.

Key words: Treatment of residual swinish, anaerobic digestion, biogas, fixed dome reactors.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio ambiente sugiere la necesidad de asumir una nueva actitud de administración y desarrollo sostenible, para conservar y al mismo tiempo mantener la sostenibilidad de los recursos. La mitigación de estos impactos ambientales indica mejorar las prácticas actuales de gestión para lograr una minimización y tratamiento adecuado de los residuos que se generan, con el consecuente aprovechamiento ecológico de los mismos. El tratamiento y depuración del estiércol y otros desechos orgánicos producidos por los animales en las instalaciones agropecuarias forma parte de estas mejoras. Una de las formas en que se puede tratar el estiércol para reducir la contaminación, atribuible a explotaciones pecuarias es mediante el proceso de biodigestión anaerobia "*Florean (2005)"*. Crear un sistema de este tipo que permita captar la producción de biogás proveniente de las excretas de animales descompuestas en biodigestores, procura contar con una fuente alternativa de energía y a la vez disminuir la liberación al ambiente de gases de efecto invernadero.

La producción de biogás mediante la fermentación anaeróbica es una tecnología ampliamente usada en los países desarrollados y sub desarrollados como un medio eficaz de descontaminación y como fuente de energía renovable. El uso de la digestión anaeróbica para el tratamiento de los residuos pecuarios es una tecnología difundida por las ventajas que ofrece como fuente alternativa de energía, como generadora de abonos orgánicos y sus bajos costos de inversión, lo que hace que halla sido implementada de forma generalizada por países subdesarrollados "*Florean (2005)"*. Esta tecnología resuelve tres dificultades actuales: la reducción de la elevada carga orgánica de estos residuos, la producción de un biocombustible y la obtención de un bioabono como fertilizante agrícola.

El aprovechamiento y diversificación del uso del biogás puede mejorar los indicadores económicos de una granja, al convertirse en una fuente de energía, ya sea para la cocción de alimentos, como fuente segura de ingresos financieros o producir energía eléctrica para su uso en la granja. En nuestro país se reportan más de 450 biodigestores de cúpula fija para la cocción de alimentos a escala familiar "*ONE (2012)"*.

El trabajo consiste en utilizar el estiércol porcino como sustrato en biodigestores para producir biogás y utilizarlo para la cocción de alimentos en 5 empresas como el caso de estudio. Para tal efecto, se diseñaron biodigestores del tipo cúpula fija, alimentados diariamente con el residual porcino en cada una de las 5 empresas estudiadas.

De esta manera el trabajo tiene como objetivos:

- Presentar la aplicabilidad del tratamiento anaeróbico de residuales porcinos para la producción de biogás.
- Mostrar en 5 casos de estudio, la metodología de cálculo para el diseño de una planta de tratamiento de efluentes porcinos utilizando biodigestores de cúpula fija.

MATERIALES Y MÉTODOS

Digestión anaerobia y producción de biogás.

La digestión o fermentación anaerobia se produce en cuatro etapas donde interaccionan varios grupos de diferentes bacterias: las hidrolíticas y fermentativas, las acetogénicas productoras de hidrógeno, las homoacetogénicas y las metanogénicas; son estas bacterias las que han sido reconocidas como la base de la fermentación de sustratos y el metabolismo del producto final, biogás. La interacción de estos grupos de diferentes bacterias causa la degradación de la materia orgánica para producir metano (50-70%) y dióxido de

carbono (20-35%), principales componentes del biogás, y el resto agua, amoniaco e hidrógeno *"Díaz (2012)"*.

El proceso de fermentación anaerobia depende de diversos factores, por ejemplo: el pH, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, la presencia de sustancias tóxicas, el tiempo de retención, la relación carbono: nitrógeno (C: N) y el nivel de carga "*An (1996)"*. Estos parámetros son importantes para los digestores avanzados de alto nivel, los cuales han alcanzado un control independiente del Tiempo de Retención de los sólidos Biológicos (TRSB) y del tiempo de retención hidráulico (TRH) a través de la retención de la biomasa; siendo la medición del TRH más fácil y más práctico que el TRSB al nivel de las granjas "*An (1996)"*. Los cambios bruscos en algunos de estos factores provocan la inhibición del proceso; ya que puede aumentar el nivel de microorganismos presentes, esto debe ser de conocimiento para el control del proceso y conocer hacia dónde dirigir el sistema de digestión para la producción de biogás, por lo que se requiere de una operación estable del digestor para mantener los grupos bacterianos en equilibrio dinámico y armónico "*Díaz (2011)"*.

Los procesos de fermentación anaeróbica se pueden realizar con tecnologías simples, además de energía y fertilizante la técnica del biogás mejora la sanidad y la protección ambiental *"Díaz (2012)"*.

Tratamiento anaeróbico de residuos porcinos en biodigestores de cúpula fija para la obtención de biogás.

En el tratamiento anaeróbico de residuales porcinos se emplean biodigestores de cúpula fija, donde el proceso se realiza de forma continua, y el efluente a tratar es líquido. Estos reactores tienen como característica que el residual no esté en contacto con el aire, la temperatura de digestión puede estar entre 15-35^{0}C, tienen facilidad de mantenimiento, poseen capacidad para tratar diversos volúmenes de residuales y una mayor presión de trabajo que los modelos de polietileno, PVC, entre otras tecnologías criollas. Su aplicabilidad es eficiente y recomendable por la alta calidad del biogás y una mejor depuración de los residuales en cuanto a Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) *"Díaz (2012)"*.

Para las condiciones cubanas, las plantas de cúpula fija las han situado como el tipo de biodigestor más propuesto por los ingenieros y proyectistas nacionales para la solución de los residuales agropecuarios. Su construcción se realiza con paredes de bloques de hormigón y cúpula de ladrillos, empleando otros materiales conocidos como cemento, arena, piedra y acero constructivo, asegurando con ello una alta resistencia y durabilidad de la obra. No presenta partes móviles propensas al desgaste, así como tampoco partes metálicas propensas a la corrosión "*García (2010)"*. Además su construcción resulta ser una inversión económica viable, su período útil de vida y tiempo de explotación es de 25 años, aportando beneficios ecológicos importantes.

Esta tecnología consta de instalar el biodigestor de forma soterrada tal que los afluentes (residuales de las naves) entren y salgan del biodigestor por gravedad; aquí ocurre el proceso de fermentación anaerobia descrito anteriormente. El residual entra a través del tanque de carga y el nivel de líquido dentro de este llegará hasta el nivel de llenado, luego pasa al biodigestor y ocupa el espacio de volumen de líquido con un TRH, y queda el volumen del gas máximo. Una vez que comience la producción de biogás, el biogás empuja el residual dentro del biodigestor hacia el tanque de compensación y a su vez el efluente se dirige al siguiente órgano del sistema de tratamiento de residuales (STR).

La eficiencia de la tecnología de cúpula fija reduce la carga contaminante entre 75-90 % dependiendo de las características y carga contaminante del residual porcino, así como de la eficiencia y control de operación del biodigestor.

Los efluentes tratados en biodigestores de cúpula fija pueden ser dispuestos en una laguna de oxidación y empleados para el riego de cultivos, debido al bajo porciento de sólidos totales presente en estos efluentes tratados. El uso de esta agua para riego es posible para todo tipo de cultivo exceptuando su utilización en hortalizas, vegetales u otros alimentos de consumo fresco, o disponer cuerpos receptores cumpliendo con la normativa vigente del país. En la Figura I se muestra el diagrama de bloque de este proceso.

Los efluentes porcinos sin tratar puedan ir directamente a una laguna. También el efluente líquido pos tratado puede pasarse por un lecho de secado donde se obtiene biofertilizante seco que puede ser empleado en todo tipo de cultivo, su contenido cumple con las normas de biofertilizantes "*Díaz (2012)*", posibilitando la sustitución de abono orgánico.

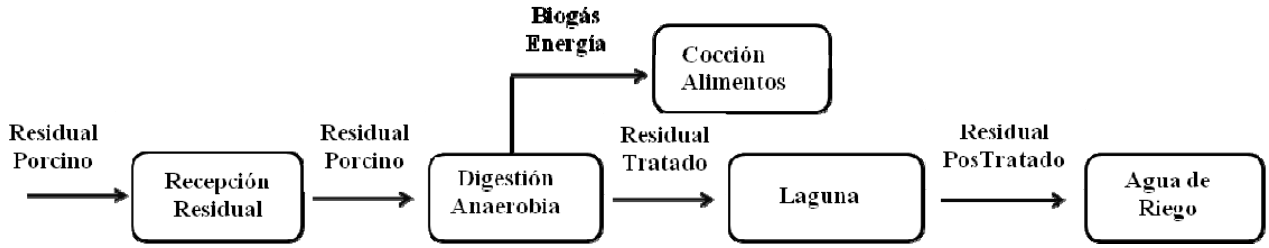


Fig. 1. Diagrama de bloque del proceso para la obtención de biogás.

Ventajas de esta tecnología, "*Díaz (2012)*".

- Reactor de cúpula fija con una eficiencia entre 75-90 %.
- Se obtienen ahorros en el consumo de un gas combustible útil para cualquier fin energético.
- Disminuye considerablemente la generación de lodos y los costos de disposición final de estos.
- Se obtienen biofertilizantes a partir del tratamiento de los lodos en lechos de secado.
- Es un sistema que presenta bajo costo de inversión con un impacto ambiental importante.

Metodología para el diseño y caracterización de biodigestores de cúpula fija como productor de biogás a partir de excretas de cerdos.

El volumen de los biodigestores (ec. 1) se calcula según la cantidad de los residuales a tratar teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulico, la vía más práctica para calcular el volumen de una planta de biogás se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$Vd = Vr * TRH, (m^3)$ (ec. 1)

Dónde: Vd - volumen de digestión, / Vr - volumen de residual diario (m^3/día), / TRH - Tiempo de retención hidráulico (día).

El volumen de residual diario (Vr) se calcula mediante la suma de la excreta y orina (teniendo en cuenta la cantidad de animales y el peso promedio por categoría) (ec. 2), sumando además el agua de limpieza empleada.

$Vr\ (m^3/día) = Volumen\ excreta + Volumen\ agua\ limpieza$ (ec. 2)

Donde el volumen de excreta (Ve) se determina mediante la ecuación (ec. 3). Este parámetro tiene implícito el volumen de orina de los animales.

$Ve\ (m^3/día) = 0{,}05 * (Cantidad\ de\ animales * Peso\ promedio\ por\ categoría)$ (ec. 3)

El TRH se establece en el orden de los 21 días mínimos, tiempo suficiente de retención para degradar estos residuales en un sistema de tratamiento primario de este tipo *"Díaz (2012)"*.

La carga contaminante en kg DBO/día se determina mediante la ecuación (ec. 4)

Carga contaminante = ∑ (cantidad de animales por categoría* Peso promedio) * 0,0097 (kg DBO/día) "*IIP (2012)"*. (ec. 4)

El potencial de producción de biogás se determina mediante la ecuación (ec. 5)

Potencial de producción de biogás = (total de excreta (kg)*0,12*450)/1000 (m^3/día) "*IIP (2012)"*. (ec. 5)

El análisis del diseño de la planta de tratamiento de efluentes se realizó en 5 empresas porcinas (Tabla I) proponiendo biodigestores de cúpula fija para cada caso de estudio.

Tabla I. Cantidad y categoría de animales por empresas.

Nombre del centro	**Estructura de las cochiqueras seleccionadas para biogás**							
	Total de animales	**Reproductoras**	**Atas**	**Onas**	**Crías**	**Preceba**	**Ceba**	**Verracos**
Finca Canimar	89	30	1	2	10	13	30	3
Finca Horacio Rodríguez	109	40	1	3	14	17	30	4
Finca La Caoba	204	80	2	2	28	34	50	8
Finca Elpidio Gómez	89	30	1	2	10	13	30	3
Finca Vicente	194	70	1	2	24	30	60	7

Atas: Cochinatas
Onas: Lechonas
Reproductoras: Puercas

Premisas técnicas y económicas para la evaluación del potencial de producción de biogás en granjas porcinas utilizando sus efluentes.

- Se consideran los pesos promedios para cada categoría de animales (Tabla II).
- Considerando el tiempo de operación de la planta durante 300 días anuales.
- Se considera el agua para la limpieza de los corrales de 20L por animal.
- El tiempo de retención hidráulica se consideró aproximadamente en 21 días.
- La construcción de los digestores se debe realizar por albañiles con experiencia en este tipo de obra.
- Todo el biogás producido se utiliza para la cocción de alimentos de la misma granja integral porcina.
- Se consideran dos operarios como mano de obra directa a la producción de biogás.
- Se considera el m^3 de biogás equivalente a 0,5 L de diesel.

- Se considera combustible diesel con un costo por litro de 0,99 CUC.
- No hay costo de adquisición del terreno, la planta se ubica dentro de un área ya concebida.
- Los insumos así como otras materias primas y materiales, se sustentan en índices de consumo previamente establecidos en las fichas de costo elaboradas por el Grupo Empresarial al que pertenece.

Tabla II. Pesos promedios para cada categoría de animales.

Categoría de animales	Pesos promedios (kg)
Preceba	15
Ceba	55
Lechonas	50
Cochinatas	80
Reproductoras	95
Crías	4
Verracos	120

Para realizar los cálculos se utilizó la información de cada una de las empresas de estudio, (Tabla I) y se utilizó una hoja de cálculo en Excel con las ecuaciones correspondientes. Se determinó el volumen del digestor, el potencial de producción de biogás (m^3/día), la carga contaminante generada ton. DBO/año y el volumen de residuales (m^3/día) para cada caso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la (Tabla III) se muestran los resultados en cuanto al volumen de residuales, la carga contaminante generada en toneladas de DBO al año, la capacidad de los digestores y el potencial de producción de biogás para cada una de las empresas referenciadas. Los resultados obtenidos están en correspondencia al volumen de sustrato a alimentar al bioreactor (cantidad de excreta) en cada caso, que depende de la cantidad de animales que existen en cada empresa y sus categorías.

Tabla III. Producción de biogás y capacidad de digestores.

Nombre del centro	Volumen de residuales (m^3/día)	Carga contaminante (ton DBO/año)	Capacidad Digestores a construir (m^3)	Producción de Biogás (m^3/día)
Finca Canimar	2	19	48	14
Finca Horacio Rodríguez	3	23	70	17
Finca La Caoba	5	43	90	33
Finca Elpidio Gómez	2	19	48	14
Finca Vicente	4	41	90	31

Los cálculos evidencian (Tabla III) que es necesario la construcción de biodigestores de 48 ,70 y 90 m^3 según la capacidad de las granjas porcinas de los casos de estudio, para lograr una completa conversión del

sustrato y una eficiente producción de Biogás. Los resultados de tamaño y capacidad de instalación de los digestores, se encuentran en óptimo rango según reportado en la literatura, el que está en correspondencia con el número de animales en cada granja "*Rosa (2011)"*.

Los materiales y equipos necesarios para la construcción de los digestores se determinan a partir de la capacidad de los digestores a construir y se encuentran preestablecidos en el material de consulta a productores porcinos "*Rosa (2011)"*.

En cuanto a la reducción de los parámetros ambientales DQO, DBO y demás parámetros, los efluentes porcinos con esta tecnología y en las condiciones cubanas de alimentación animal, métodos de limpieza y control de operación del proceso, es posible la reducción de un 80 % de la carga contaminante, la que puede ser dispuesta directamente a un cuerpo receptor cumpliendo la normativa cubana vigente, "*Díaz (2012)"*.

Beneficio económico por la producción de biogás.

Considerando las premisas técnicas y económicas para la evaluación del potencial de producción de biogás, es posible un beneficio económico en cada granja de estudio por ahorro de combustible para la cocción de alimentos (Tabla IV) y un impacto ambiental positivo. A partir de la cantidad de biogás generado en cada finca, es posible la utilización de hornillas para la cocción de alimentos en un tiempo de 8 y 11 horas al día. Por ello es necesaria la instalación de cocinas de 2 hornillas industriales y 4 hornillas, según la capacidad de generación de biogás al día "*Rosa (2011)"*. La utilización de este sistema representa una efectividad económica favorable pues su PRI (Período de recuperación de la inversión) no excede los 2 años y tiempo de explotación de la instalación es de 25 años "*Rosa (2011)"*.

Tabla IV. Ahorro CUC/año y tiempo de cocción.

Nombre del centro y provincia	Ahorro CUC/año	Cocción de alimentos
Finca Canimar	2079	Cuatro hornillas durante 11 horas.
Finca Horacio Rodríguez	2524.5	Cuatro hornillas durante 11 horas.
Finca La Caoba	4900.5	Dos hornillas industriales durante 8 horas.
Finca Elpidio Gómez	2079	Cuatro hornillas durante 11 horas.
Finca Vicente	4603.5	Dos hornillas industriales durante 8 horas.

CONCLUSIONES

La mejor opción de tratamiento de los residuales porcinos, según las características y capacidades de las empresas de estudio, es la digestión anaerobia empleando biodigestores de cúpula fija; siendo esta una tecnología simple que, además de energía y biofertilizante controla y evita la contaminación ambiental.

La capacidad de los digestores está en dependencia de las categorías de animales, por lo que se propone para las empresas Canimar y Elpidio Gómez un biodigestor de 48 m^3 de capacidad, para las empresas La Caoba y Vicente uno de 90 m^3, así como en Horacio Rodríguez uno de 70 m^3.

Desde el punto de vista económico la implementación de esta tecnología es ventajosa ya que su PRI no excede los 2 años aportando beneficios económicos a la granja, con un período útil de vida y tiempo de explotación de 25 años, tributando beneficios ecológicos importantes.

REFERENCIAS

An, B. X. (1996), The impact of low-cost polyethylene tube biodigesters on small farms in Vietnam. Uppsala. Thesis (in option MSc): Univ. Uppsala 82.

Díaz, Y. M. (2012), Influencia de la adición de residuos de matadero procesados a dietas porcinas en la producción y calidad del biogás y los biofertilizantes en biodigestores de cúpula fija, Tesis para optar por el grado de Máster en Mecanización Agrícola, Universidad agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez", Mayabeque.

Díaz, Y. M. (2011), Memorias del Diplomado, Sistemas Integrados de Producción Agropecuaria. Universidad Autónoma de Nayarit, México. ISBN: 978-959-7208-10-5.

Florean, R., Panichelli, A. R., Hilbert, J.A. (2005), Software para la evaluación técnico económica financiera de los biodigestores rurales, Biogás.

García, O. H., M Sc. González, L. L. (2010), Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios. Centro Universitario Sancti Spiritus.

IIP (2012). Software para el cálculo de la Tecnología de producción de biogás de porcino.

ONE. (2012). Oficina Nacional de Estadística de Cuba, Inventario Nacional de Fuentes de Energía Renovables. [en línea]. 2012, [Consulta: 25 marzo de 2013]. Disponible en Web: http://www.one.cu.

Rosa, R., Chao, R. y Díaz, Y. (2011), Biodigestores de cúpula fija recomendables en la producción porcina, Folleto Instituto de investigaciones porcinas, Ciudad de La Habana, C.P 19 200.

IMPACTO DEL EMPLEO DE LAS FIBRAS ANUALES EN RELACION A LA PRODUCCION DE TABLEROS MDF. SU EXPRESION ECONOMICA Y AMBIENTAL

IMPACT OF THE USE OF ANNUAL FIBERS IN RELATION TO THE PRODUCTION OF MEDIUM DENSITY FIBERBOARD. ITS ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EXPRESSION.

Autores: Raúl Costales Sotelo y Alfredo Torres Fernández.

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 11000, Cuba.
E-mail: **raul.costales@icidca.edu.cu**

RESUMEN

En el trabajo se muestra un análisis comparativo sobre el uso de fibras anuales en lugar de madera natural en una de las producciones de mayor impacto sobre los bosques y las plantaciones de árboles, nos referimos a la industria de los paneles, que se ha desarrollado para dar respuesta sostenida a la creciente demanda de la sociedad. Se presenta un caso de estudio sobre un proyecto de inversión de MDF[1] a través de sus indicadores económicos fundamentales empleando tanto bagazo como madera.

Se demuestra cómo el uso de fibras naturales en lugar de madera es más ventajosa no sólo económicamente a través del empleo de una materia prima más barata, sino que la misma queda realzada por la ganancias que ofrecen los créditos de carbono y adicionalmente más amigable con el medio ambiente.

Palabras claves: fibras anuales, tableros de densidad media, indicadores económicos, créditos de carbono.

ABSTRACT

The paper presents a comparative analysis of the use of fiber per year instead of natural wood as one of the most impacting productions on forests and tree plantations; we referred to the panel industry, which has been developed to response constantly to the growing demand of society. Customize a MDF investment through its economic fundamentals for both bagasse and wood raw materials.

It demonstrates how the use of natural fibers instead of wood is more advantageous not only economically through the use of raw materials cheaper, but it is enhanced by the profits that offer carbon credits and further being more environmentally friendly.

Keywords: annual fiber, MDF, economic indicators, carbon credits.

INTRODUCCIÓN

[1] Se denomina tableros de partículas de densidad media.

El uso de la madera a escala internacional ha ido progresando de forma importante en todas las latitudes, en todos los países y ello a escala mundial no deja de constituir un impacto ecológico y ambiental aun y cuando se realicen y cumplimenten todas las regulaciones existentes al respecto. Las constantes modificaciones del hábitat que se disfrutan durante nuestra breve existencia, conjugado con el potencial de CO_2 que genera nuestra actividad y la modificación de los mecanismos de absorción que se opera en la atmósfera terrestre producto de la misma, constituyen elementos que atentan de forma irreversible contra nuestra subsistencia.

A través de políticas específicas, el sector forestal-industrial ha instituido el régimen de promoción de plantaciones forestales, con el objetivo de ampliar la superficie boscosa a partir de especies de rápido crecimiento, contando además de forma generalizada con subsidios sobre las plantaciones efectivamente logradas, que ha influido en instituir un marco legal a la misma y eliminar regulaciones que, de alguna manera, inhibían la expansión de las plantaciones.

En el trabajo se trata de analizar el impacto que tiene la sustitución de la madera por fibras naturales en la producción de MDF, al demostrar como la sustitución de la madera además de posible tecnológicamente, reporta beneficios económicos en las inversiones de este corte, a la vez que se protege a la sociedad en su conjunto.

MATERIALES Y MÉTODOS

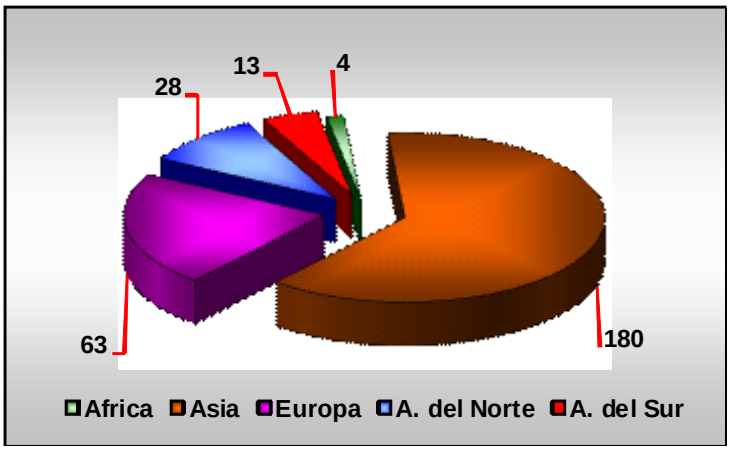
Según reporta la literatura técnica (Costales, 2011) la producción de aglomerados a escala mundial ha mostrado un incremento productivo sostenido, fundamentalmente sustentado en el uso de la madera como materia prima por excelencia para estos fines. En este caso se omiten productos tales como los Perfiles Estructurales, conjunto que abarca expresiones conocidas en el mercado actual tales como: los Perfiles Estructurales (SCL), los Perfiles de Madera (CSL), los Glulam, los perfiles I Joist entre otros, que debido a su configuración, solo son factibles de confeccionarse a partir de la madera natural. Sin embargo, en cuanto a los tableros, exceptuando los OSB (Oriented Structural Boards), el resto es conocido, ocupando un volumen productivo significativo tales como, los Tableros de Fibras y Partículas que pueden ser producidos a partir de fibras naturales.

Las consideraciones que se toman para las inclusiones tecnológicas son:

Se analizan los tableros de fibras y en particular lo referente a MDF, como estudio de caso, ya que tuvo un crecimiento explosivo a partir de la década del 90 del pasado siglo y que aun en el presente, se mantiene como una prioridad en el mercado internacional de muebles. Actualmente existen otras aplicaciones como son la juguetería y los recubrimientos de paredes que van cobrando más pujanza y que lógicamente tienden a incrementar su producción e insumo, acrecentando su liderazgo dentro del sector.

La figura No1 muestra el total de instalaciones productivas al término del año 2001. La distribución por zonas geográficas, demuestra que Asia encabeza la lista con 180 instalaciones, donde China la encabeza, seguida por Europa.

Figura No 1. Instalaciones en el 2001 para la Producción de MDF en el Mundo.



Se aprecia en la Tabla I, como la producción mundial alcanza cerca de 48,4 MM de m^3/año en 491 líneas de producción. La muestra actualizada hasta el año 2005 muestra algunos elementos de interés que sobresalen como: es el papel de China como una región de un elevado nivel de producción a escala mundial, la cantidad de instalaciones de Europa, muy inferiores en número a las que posee China, sin embargo en conjunto produce casi lo mismo que China, y por ultimo como la cantidad de instalaciones aumento en 5 años un 41% en relación al quinquenio anterior.

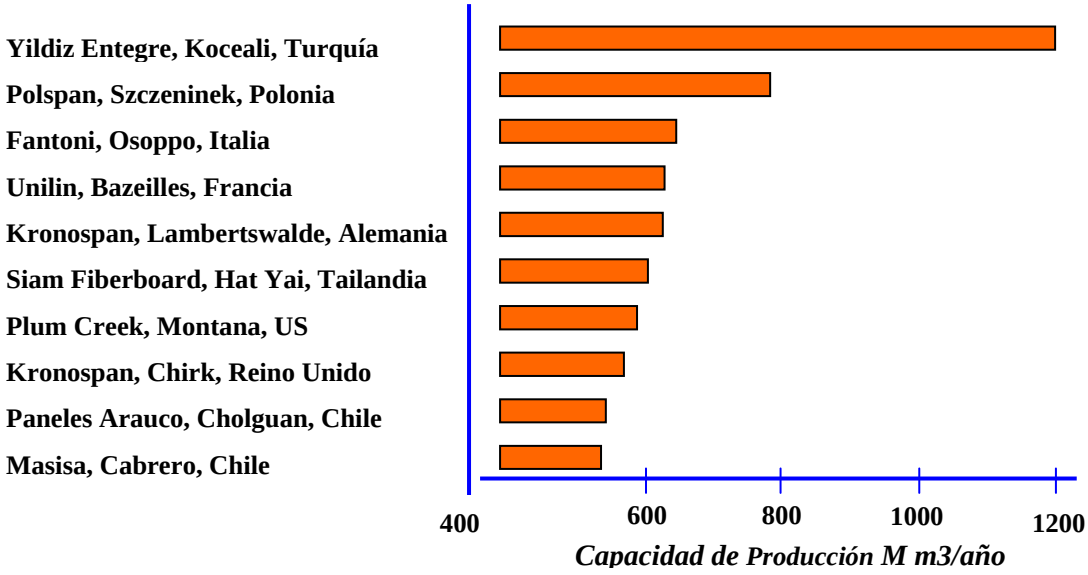
Tabla I. Producción de MDF por Sectores del Mundo, al cierre del 2005.

Región	Capacidad m3/a	No de Plantas
China	15,690,000	188
Europa	15,416,000	72
Asia Pacífico	7,973,000	53
América del Norte	5,634,000	27
América del Sur	3,292,000	14
África / Medio Oriente	435,000	6
Total Global	48,440,000	491

En el caso de América del Sur, este posee una producción continental de 2,41 MM de m^3/año que la coloca como el continente en el cual los MDF han logrado el mayor índice de crecimiento a escala mundial, duplicando su capacidad productiva en muy escaso período de tiempo. Posee su exponente más notorio en Brasil, el cual presenta una capacidad productiva superior a 1,21 MM de m^3/año obtenida en solo 5 instalaciones. El resto de la producción se encuentra distribuida en orden decreciente, en cuanto a capacidades entre: Argentina, Chile, Venezuela y Ecuador, los cuales totalizan 8 instalaciones, acumulando entre ellos una producción equivalente a la brasilera.

Las instalaciones poseen actualmente indicadores comunes tales como: elevadas capacidades productivas, incrementos en la automatización de los procesos y empleo cada vez menor de mano de obra en su operación. Un ejemplo de ello se expresa en la Figura No 2.

Figura No 2. Mayores Instalaciones Productivas de MDF del Mundo Año 2008.



Definición del Caso Base: Bagazo

Se toma América del Sur como plataforma de estudio y dentro de ella, Brasil, por su capacidad productiva en relación a la producción de MDF. Por otra parte, este mismo país encabeza la lista de los productores de caña de azúcar y en base a ella las producciones de azúcar y alcohol. Brasil posee en total 437 instalaciones (mixtas 253, productoras de azúcar 16 y 168 reportadas como productoras de alcohol). Esta producción independientemente de la generación eléctrica, trae aparejada una enorme cantidad de bagazo residual que representa un conflicto medioambiental bastante serio y como se expresa anteriormente, resulta factible de utilizarse a estos fines.

Supuestos considerados en la evaluación económica:

- La inversión se destina a la producción de tableros del tipo MDF provista de un taller para el recubrimiento superficial de la misma.
- En la estimación del valor se incluyen montos destinados al acondicionamiento del terreno, viales de acceso e iluminación entre otros.
- Fletes ascendentes al 10% del valor total de equipos.
- Salarios y otras partidas del costo acordes a las realidades de este país.
- Oferta con validez actual.
- El suministro del bagazo desde las usinas hasta la Empresa se realiza, diariamente, durante el período de zafra que se asume como media por unos 200 días. El costo del bagazo desmeollado a granel se considera como 35,00 R$/t, según referencias de las usinas consultadas (2008) y actualizado para el 2010.
- Se toma un valor de 1,72 R$/m3 para reflejar el precio del agua, teniendo como referencia el costo del servicio hídrico para la región Centro Oeste, según MPO-SEPURB-IPEA (1998), finalmente este valor es corregido por el incremento de la tasa de apreciación del real con respecto al dólar US durante el período.
- Para la electricidad se toma un valor de 304,37 R$/MWh, que representa la tarifa media en Brasil, según SRE-ANEEL (2007).
- Se consideran 330 días de operación con un total de 22,5 horas de trabajo por día.

Para los activos fijos, se toman las siguientes tasas de depreciación

- 5% anual (lineal) hasta valor cero, para el acondicionamiento del terreno y las obras de ingeniería y estructura.
- 5% anual (lineal) hasta valor residual del 10%, para la maquinaria y equipos tecnológicos.
- 10% anual (lineal) hasta valor cero, para equipos auxiliares, de servicios y de protección ambiental.
- 5% anual (lineal) hasta valor cero, para gastos pre-operativos e imprevistos.

Se toma una oferta de maquinaria considerada "**de punta**" a los efectos tecnológicos, de operación y su control automático. La misma oferta emitida para el año 2008, ofrece plena seguridad en cuanto a vigencia en valores y capacidad fácilmente asimilada en el mercado nacional, por su carácter aún insatisfecho.

Se considera al bagazo de la caña de azúcar, en calidad de sobrante, proporcionado por dos fabricas azucareras mixtas como materia prima para el proceso productivo. El mismo será desmedulado y transportado al 50% de humedad hacia la instalación, una parte del mismo se introducirá directamente al proceso y la restante almacenada para suplir la diferencia de 130 días entre la producción de la planta y los 200 días, como promedio en que transcurre la zafra azucarera en el interior de San Pablo.

El procesamiento de la información económica se realiza empleando el programa COMFAR III Expert, aprobado por las Naciones Unidas para las evaluaciones de proyectos, la inversión se encuentra apalancada por préstamos internacionales que cubren tanto el costo de inversión fija como el capital de trabajo inicial de la instalación. Los resultados de la evaluación económica del proyecto de inversión, aparecen en la Tabla II.

Tabla II. Estado de Resultados para la Inversión con bagazo

	Construcción 1	Construcción 2	Producción 1	Producción 2	Producción 3	Producción 4	Producción 5	Producción 6
ENTRADAS TOTALES DE EFECTIVO	0	0	152.557.574,40	171.627.271,20	190.696.968,00	190.696.968,00	190.696.968,00	190.696.968,00
Entradas de operaciones	0	0	152.557.574,40	171.627.271,20	190.696.968,00	190.696.968,00	190.696.968,00	190.696.968,00
Otros ingresos	0	0	0	0	0	0	0	0
SALIDAS TOTALES DE EFECTIVO	145.186.619,22	70.258.619,22	97.246.252,65	109.562.612,09	123.404.658,69	124.179.382,57	125.315.185,86	126.552.196,72
Aumento de activos fijos	145.186.619,22	70.258.619,22	0	0	0	0	0	0
Aumento de capital de trabajo neto	0	0	2.440.027,77	379.475,96	295.390,70	9.577,15	0	0
Costos de operación	0	0	78.867.860,14	89.251.256,41	98.841.442,68	98.841.442,68	98.841.442,68	98.841.442,68
Costos de comercialización	0	0	1.587.065,36	1.785.448,53	1.983.831,70	1.983.831,70	1.983.831,70	1.983.831,70
Impuesto a la renta	0	0	14.351.299,38	18.146.431,20	22.283.993,61	23.344.531,04	24.489.911,48	25.726.922,34
FLUJO DE EFECTIVO NETO	-145.186.619,22	-70.258.619,22	55.311.321,75	62.064.659,11	67.292.309,31	66.517.585,43	65.381.782,14	64.144.771,28
FLUJO DE EFECTIVO NETO ACUMULADO	-145.186.619,22	-215.445.238,44	-160.133.916,69	-98.069.257,58	-30.776.948,27	35.740.637,16	101.122.419,31	165.267.190,59
Valor actual neto	-129.630.910,02	-56.009.741,09	39.369.506,30	39.443.212,89	38.183.463,49	33.699.878,88	29.575.397,85	25.906.997,28
Valor actual neto acumulado	-129.630.910,02	-185.640.651,10	-146.271.144,80	-106.827.931,91	-68.644.468,42	-34.944.589,54	-5.369.191,69	20.537.805,60
VALOR ACTUAL NETO	al 12,00%	169.563.925,77						
TASA INTERNA DE RETORNO	**24,31%**							
TASA INTERNA DE RETORNO MODIFICADA	**24,31%**							
PERIODO DE RECUPERACION DE LA INVERSION	al 0,00%	**5.46 años,**						
PERIODO DE RECUPERACION DINAMICO	al 12,00%	**7.21 años,**						
RAZON VAN/INVERSION	**0,902939**							

Se aprecia en la tabla II como el Valor Actual Neto (VAN) es positivo y la Tasa Interna de Retorno es superior a la Tasa de descuento empleada (15%), lo que demuestra la Factibilidad Económica del Proyecto de Inversión. El resultado, en materia de periodo de recuperación, indica que el monto de la Inversión Total se recupera en un tiempo razonable dentro del horizonte de planificación del proyecto. Se demuestra la factibilidad de una industria que compite como negocio dentro del sector, sustentada en el empleo del bagazo de caña de azúcar como materia fibrosa para la misma.

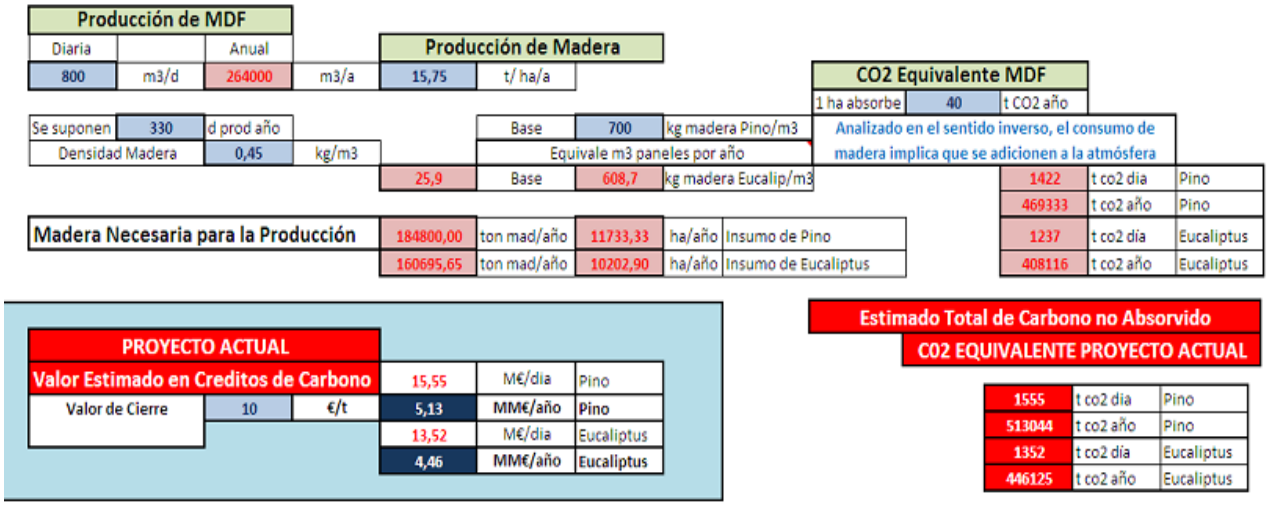
Consideraciones para la evaluación ambiental:

Una instalación productiva capaz de producir 800 m^3/día, implica la tala de unas 29 ha/ día para abastecer anualmente la instalación. Si se asume que una hectárea de bosque o plantación es capaz de absorber unas 40 toneladas de CO_2 atmosférico por año, cada hectárea sustituida por el equivalente en bagazo representa eliminar de la atmosfera terrestre unas 469000 toneladas de este gas de efecto invernadero. Este volumen expresado económicamente asciende a 0,19 MM€ anuales, que sin duda representa un aporte importante a mejorar la situación provocada por el actual cambio climático.
A continuación se presenta, el cálculo del efecto económico obtenido por la sustitución de la madera por fibra de bagazo.

Las consideraciones para evaluar los créditos de carbono son como siguen:

- Se analizan plantaciones con rendimientos anuales de 15,75 t/a/ha
- Absorción de carbono ascendente a 40 t/ha
- Valor de los créditos en el 2013 ascendentes a 0,37 $Euros/t (Taller Regional del Caribe).

Fig. 3 Cálculo Económico del efecto de sustitución de la madera por fibra de bagazo.



En términos monetarios, la solución aportada por el uso de las fibras anuales resulta importante, trátese de pino o eucaliptus, ya que se refiere a más de 1000 toneladas de CO_2 diarias dejadas de emitir a la atmósfera.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El gran aporte de los proyectos de inversión, empleando fibras naturales como el bagazo, es el costo a la humanidad, el impacto sobre el medio ambiente, se pasa de un caso particular de tratamiento de residuales sólidos como puede ser el aprovechamiento del bagazo a la tala de áreas boscosas importantes, es decir, el aprovechamiento del bagazo constituye una solución ambientalmente sostenible. En la figura No 4 se muestra la magnitud del problema que se enfrenta la industria actualmente.

Figura No 4 Patio de Bagazo de una Fábrica de azúcar en el Interior de San Pablo 2008.

El “Talón de Aquiles” de la industria mundial no resulta particularmente atribuible a la existencia o disponibilidad de nichos de mercado, sino por la existencia de un lógico autocontrol al desarrollo desenfrenado relacionado con la tenencia de bosques en rotación, tierra para el cultivo y la suficiencia de madera o residuos de ella aptos y económicamente disponibles a este fin. Estos problemas han contribuido de forma sostenida en un lógico desequilibrio ambiental que en el trabajo tratamos de traducir económicamente a partir de los créditos de carbono equivalentes, demostrando que no solo representan una magnitud considerable para cualquier industria sino magnificada al impacto que ocasiona a escala mundial.

En nuestro caso, los créditos de carbono equivalentes llevados a producción de tableros representan un incremento del 14% en las entradas de efectivo del proyecto.

CONCLUSIONES

La deforestación conlleva tres tipos de amenazas: insuficiente madera industrial para garantizar el crecimiento ilimitado del consumo per cápita; pérdida de otros recursos, incluidos materiales genéticos derivados de la deforestación tropical; y la pérdida de la estabilidad climática por elevación de los niveles de dióxido de carbono. La industria y su interacción con la sociedad y la naturaleza, brindan suficientes motivaciones para trabajar arduamente con el objetivo de lograr una industria con producciones más limpias, menores impactos ambientales y productos más perdurables en el tiempo, estos podrían constituir los retos que convocan a una industria moderna y las políticas asociadas a su garantía.

Los resultados demuestran que la sustitución de la madera por fibra de bagazo para la producción de MDF, resulta ser factible económicamente en las condiciones actuales del mercado. Pero, adicionalmente se obtiene un efecto económico importante al sustituir la madera, al considerar los créditos de carbono equivalentes asociados a la producción de los tableros MDF. Desde el punto de vista ambiental, este efecto constituye un reto inmenso para la sostenibilidad de la humanidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Costales, R. (2011), La industria de los productos aglomerados, Monografía en preparación, División de Ingeniería, ICIDCA.
- Dequech B. Filipe (2008), Analysis of Economic Viability of MDF-Production using Sugar Cane Bagasse in Brazil, Dieffenbacher GMBH + CO. KG, Alemania.
- Taller Regional del Caribe sobre las Namas y las lecciones iniciales aprendidas en el proceso de implantación (2013), La Habana, Cuba.
- Relação das Unidades Produtoras Cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia (2009), Ministerio da Agricultura, Pecuaria e Abastecimento. Secretaria de produçao e agroenergia, Brasil.
- www.fao.org/docrep/x5384s/x5384s03.htm (2009), Depósito de Documentos de la FAO, Vol. 11, No 3.
- Instituto Forestal de Chile, INFOR Estadísticas Forestales (2000), Boletín Estadístico Nº 79, Santiago de Chile, Chile.

SELECCIÓN DE UNA CEPA BACTERIANA Y UN MEDIO DE CULTIVO INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE POLIHIDROXIBUTIRATO.

SELECTION OF A BACTERIAL STRAIN AND INDUSTRIAL CULTURE MEDIA FOR POLYHYDROXYBUTYRATE.

Arianna Núñez, Marta González, Emilia Carrera, María Teresa Fernández y Georgina Michelena.

Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar.
e.mail: arianna.nunez@icidca.edu.cu.

Resumen

La búsqueda de nuevos microorganismos y de medios de cultivo económicos, que garanticen la calidad y eficiencia de los procesos fermentativos, constituye una actividad de vital importancia para la Biotecnología. El Poli-β-hidroxibutirato es un biopolímero producido por una variedad de microorganismos en condiciones desbalanceadas del medio de cultivo y se acumula intracelularmente como reserva de carbono y energía. El mismo es objeto de estudio por sus propiedades termoplásticas semejantes a la de plásticos convencionales, su biocompatibilidad y su biodegradabilidad. Su uso se ve limitado por los costos no competitivos frente a los plásticos convencionales. En este trabajo se realizó a través de un diseño estadístico de experimentos, la selección de la cepa de *Bacillus subtilis* B/ 23-44-4 y un medio de cultivo compuesto por miel final de caña al 1%, hidrolizado de levadura y sal común para la producción de poli-β-hidroxibutirato; con el objetivo de reducir los costos de producción a través de la sustitución de las fuentes de carbono y nitrógeno que hasta ahora se habían empleado.

Palabras claves: Plásticos biodegradables, poli-β-hidroxibutirato, *Bacillus subtilis,* miel final de caña.

Abstract

The use of new microorganisms and economic culture media in order to guarantee the quality and efficiency of different fermentative processes constitutes an activity of primary importance for the Biotechnology. Poly (3-hydroxybutyrate) is a biopolymer produced by a variety of microorganisms in unbalanced conditions wich accumulates intracellularly as carbon and energy. It is study for its thermoplastic properties similar to those of conventional plastics, its biocompatibility and biodegradability. Its use is limited by the non competitive with conventional plastics. In this work we made through statistical design of experiments the selection of a strain of *Bacillus subtilis* B/ 23-44-4 and a culture medium consisting of cane molasses 1%, yeast hydrolysate and salt for production of poly -β-hydroxybutyrate; with the objective of reducing the production costs through the substitution of the sources of carbon and nitrogen that up to now had been used.

Key words: biodegradable plastics, poly -β-hydroxybutyrate, *Bacillus subtilis,* cane molasses.

Introducción

La industria química es un sector de producción y desarrollo importante, sin embargo es una fuente de generación de desechos que ocasiona un impacto negativo en el medio ambiente. Para disminuir este efecto es necesario desarrollar procesos químicos sustentables que minimicen los residuales con menor consumo de energía, por lo que cada día son 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.

En la sociedad actual se ha hecho imprescindible el uso de los plásticos en distintas aplicaciones que incluyen la industria de la construcción, la alimenticia, la farmacéutica y la del transporte, que presentan múltiples ventajas en relación a materiales tradicionales como los metales, vidrio y papel. Sin embargo, la mayoría de los polímeros utilizados en la actualidad permanecen en la naturaleza por largos períodos de tiempo y por tanto se acumulan, lo cual genera grandes cantidades de residuos sólidos. Esta situación ha impulsado la necesidad de desarrollar biomateriales como los plásticos biodegradables que brindan la posibilidad de reducir los daños medioambientales que causa la continua producción y acumulación de plásticos petroquímicos en los ecosistemas.

Los polihidroxialcanoatos (PHAs) son polímeros biodegradables de origen microbiano según *Lee (1996)*. Ellos son sintetizados por diversos microorganismos, como polímeros de reserva de carbono y energía, pudiendo después de su extracción alcanzar propiedades semejantes a la de los plásticos convencionales. Dentro de los PHAs más estudiados, destaca el polihidroxibutirato (PHB) *Sudesh (2000)* que posee gran aplicabilidad en varias esferas por ser no tóxico y biocompatible según *Gómez (2003)*.

El PHB tiene propiedades similares al polipropileno, aunque es más duro y quebradizo porque el 100% de sus carbonos asimétricos están en configuración D (-). Es un termoplástico que puede ser procesado por técnicas de extrusión e inyección, altamente cristalino y muy frágil, mientras que el copolímero de PHB con PHV es menos cristalino, más flexible y más fácil de procesar según *Rozsa (2004)*.Algunas propiedades de los polihidroxibutiratos de mucha utilidad son su resistencia a la humedad y su poca solubilidad en agua, además muestra una aceptable impermeabilidad al oxígeno según *Holmes (1998)*. El PHB en condiciones aeróbicas se degrada a dióxido de carbono y agua y en ausencia de oxígeno se degrada a metano por *Thoen (2006)*.

A pesar de esta posibilidad de aplicación, la sustitución de los plásticos químicos por los biopolímeros aún no es viable por las competencias de costos. La producción de PHAs está costando entre US$ 4 y 10 /kg frente a los polímeros sintéticos que cuestan alrededor de US$ 1/kg.

Para esto, la comunidad científica internacional ha enfocado sus investigaciones en tres líneas fundamentales: la búsqueda de nuevas cepas salvajes capaces de acumular mayores niveles de PHB, el desarrollo de procesos fermentativos más eficientes utilizando materias primas más baratas y la implementación de procesos de recobrado del polímero más sencillos y económicos.

El presente trabajo considera estas líneas de trabajo y específicamente tiene como objetivo de estudiar la producción de PHB en tres cepas que ya fueron seleccionadas como productoras de PHB en un trabajo realizado anteriormente por *Bello (2008)* en un medio de cultivo con características industriales y por consiguiente realizar una selección de la mejor variante para futuros estudios.

Materiales y métodos

Microorganismos utilizados en el estudio

Anteriormente a este estudio se realizó una selección de microorganismos productores de PHB partiendo de 17 cepas que *Bello (2008) seleccionó*. De las cepas procedentes de la Colección de Cultivos Microbianos del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) se seleccionaron las siguientes tres bacterias que con el objetivo de seleccionar una para los posteriores estudios.

Tabla I- Bacterias empleadas en los estudios de selección de microorganismos productores de PHB y método de conservación

Cepas	**Conservación(-20ºC y -80ºC)**
Bacillus subtilis B/ 23-44-4	Glicerol 20% en caldo nutriente
Bacillus licheniformis B/ 23-26-4	Glicerol 20% en caldo nutriente
Azospirillum brasilense 8i	Glicerol 20% en caldo nutriente

Conservación de microorganismos

El medio de cultivo empleado para la conservación de los microorganismos empleados en este estudio tuvo la siguiente composición: Medio Caldo Nutriente (CN) (para un litro):Peptona 5 g/L(Biocen)**,**Extracto de levadura 2 g/L(Biocen),NaCl 5 g/L(Scharlau),Extracto de carne 1g/L(Biocen),Agar 15 g/L(Biocen) pH 7.0 ± 0.1.

Las cepas fueron cultivadas en placas a 30 °C por 24 h y conservadas a 4 °C durante 6 meses. Para la preparación de los inóculos se tomaron dos asadas de cultivo de los microorganismos y se inocularon en caldo nutriente. Los inóculos se crecieron a 37ºC, 150 $r.min^{-1}$ durante 18 horas en *Erlenmeyers* de 150 mL con un volumen de trabajo de 15 mL.

Producción de polihidroxialcanoatos

Los siguientes medios fueron utilizados para promover la producción de polihidroxialcanoatos en cultivo líquido (para un litro).

Medio A *Bello (2008)*
Sacarosa 1%
Extracto de levadura $1,0x10^{-3}$ kg (Biocen)
NaCl $2,5x10^{-3}$kg (Scharlau)
pH 7,0 ± 0,1

Medio B
Miel final de caña de azúcar 1%
Hidrolizado de levadura $1,0x10^{-3}$ kg
Sal común $2,5x10^{-3}$ kg (industrial)
pH 7,0± 0,1

Medio C
Miel final de caña de azúcar 3%
Hidrolizado de levadura $1,0x10^{-3}$ kg

Sal común $2,5*10^{-3}$ kg (industrial)
pH 7,0 ± 0,1

La miel final de caña de azúcar proviene de un mismo lote de producción de la empresa azucarera Héctor Molina, de Cuba (5 -10 marzo/2010).
El hidrolizado de levadura se preparó con levadura de miel procedente de la Empresa Mielera Ciro Redondo con 8,07 % de nitrógeno según caracterización de *Rodríguez (2003)*.

Procedimiento experimental para la selección de la cepa y el medio de cultivo

Se realizó a nivel de zaranda un diseño de experimentos 3^2 con réplica en cada punto con el objetivo de seleccionar una cepa y un medio de cultivo para los posteriores estudios en microplanta. Las variables que se evaluaron fueron la cepa y el medio de cultivo y como variable respuesta se consideró la producción de PHB (%PHB/p.s.). En la tablaII se muestran los niveles para cada variable.

Tabla II- Niveles para cada variable estudiada.

Variables	**Nivel (-1)**	**Nivel (0)**	**Nivel (1)**
Cepa (X1)	*Bacillus subtilis* B/ 23-44-4	*Azospirillum brasilense* 8i	*Bacillus licheniformis* B/ 23-26-4
Medio (X2)	A	B	C

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 2equiv/L. Se incubó la mezcla a 100°C durante 30 minutos y se agitó cada 10 minutos en Vortex Uzusio VTX-3000 (Japón). Las muestras se enfriaron en hielo, se neutralizaron con 0,5 mL de HCl 2equiv/L y se centrifugaron a 10000 $r.min^{-1}$, 20 minutos, 4ºC en centrífuga Eppendorf 5415D (Alemania). Se recuperó el sobrenadante celular y se filtró por filtros de nylon 0.45µm Milipore (Irlanda) según *Brandl (1993)*. La ecuación utilizada fue:

$$\%PHB/p.s = \frac{\frac{2 \cdot D.O - 0{,}015}{0{,}776}}{Peso\,\mathrm{sec}\,o} \cdot 100$$

Donde:
D.O: Densidad óptica
Se detectó por incremento en la absorbancia a una longitud de onda de 210 nm en Espectrofotómetro UV – Visible modelo Ultrospec 2000 Pharmacia Biotech (Suecia) según lo obtenido por *Slepecky (1960)*. La curva de calibración se realizó con patrón puro de PHB de Aldrich®.
El procesamiento de los datos se llevó a cabo por el programa estadístico computarizado STATGRAPHICS PLUS para Windows 5.1.

Resultados y Discusión

A partir del estudio histoquímico y de evaluación de 17 cepas bacterianas de diferentes géneros entre los que se encontraban: *Azospirillum, Rhizobium, Bacillus y Pseudomonas*, realizado por *Bello (2008)* se determinó el efecto de las variables cepa productora (X1) y medio de producción (X2) de acuerdo a un diseño 3^2 completamente aleatorizado donde la variable respuesta observada fue la producción de PHB, dada en %PHB/p.s. Los valores promedios de dos mediciones para las diferentes variantes aparecen en la tabla III. De la ejecución del diseño experimental 3^2 con dos réplicas se obtuvieron los resultados en la concentración de PHB que se muestran en la tabla III.

Tabla III- Resultados de la producción de PHB según las corridas experimentales correspondientes al diseño experimental 3^2.

Corridas	**Cepa (X1)**	**Medio de cultivo (X2)**	**%PHB/p.s.**
1	-1	-1	27,03
2	0	-1	19,39
3	1	-1	26,21
4	-1	0	24,84
5	0	0	18,41
6	1	0	25,20
7	-1	1	24,15
8	0	1	16,30
9	1	1	22,87
10	-1	-1	30,23
11	0	-1	20,04
12	1	-1	25,38
13	-1	0	25,43
14	0	0	17,63
15	1	0	22,61
16	-1	1	26,20
17	0	1	15,80
18	1	1	20,70

El análisis de varianza que descompone el efecto de cada variable determinó que el medio de cultivo entre las cepas y dentro de cada grupo no ofrece diferencia estadísticamente significativa para las medias de producción de PHB para un 95% de confianza. El análisis de varianza indica un error estándar de 1,2539 y el

estadígrafo Durbin-Watson muestra la no existencia de correlación entre los residuos del modelo, por lo que se puede considerar adecuado la descripción de la concentración de PHB.

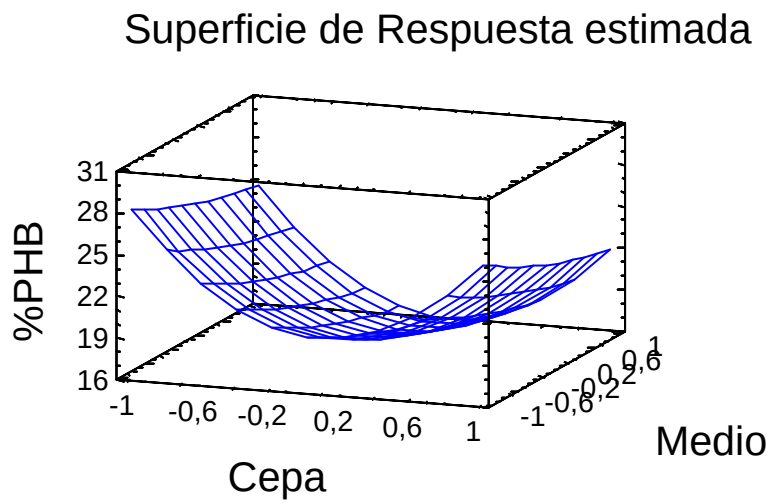


Figura 1- Influencia de la cepa y el medio de cultivo sobre la producción de PHB en zaranda a 37°C y 150 r.min^{-1}.

En general, de este análisis se puede considerar que las condiciones evaluadas para las variables cepa y medio de cultivo permiten producciones de PHB promedio en los valores entre 16 y 31 % en base seca según se muestra en la figura 1. El gráfico de Cajas y Varianzas para cada una de las variables analizadas obtenido según el programa STATGRAPHICS (figura 2), la variable cepa tiene un p-valor inferior a 0,05 indicando que tiene significación sobre la producción de PHB mientras que el medio de cultivo no resultó significativo.

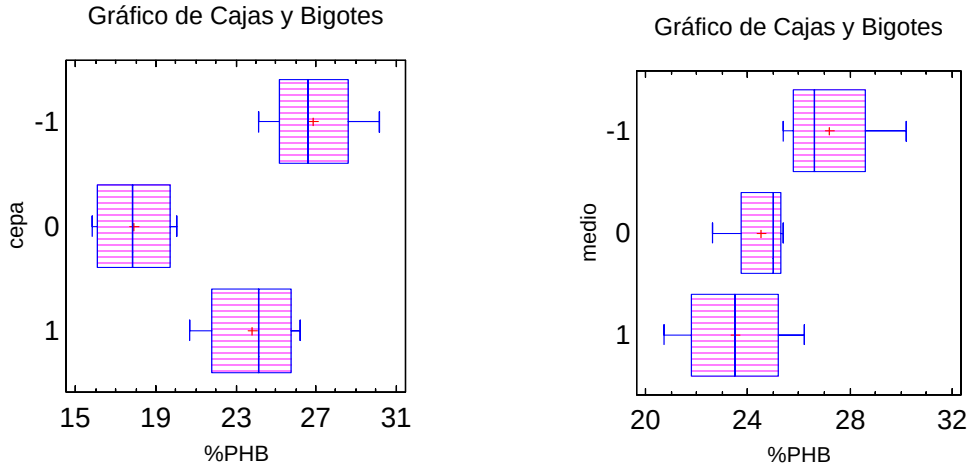


Figura 2a y 2b Gráfico de cajas y bigotes estandarizado para la obtención de PHB.

Al demostrar que el medio no tiene efecto significativo en las modalidades evaluadas para la obtención del PHB, se propone establecer la producción del PHB con el medio B que sustituye la sacarosa por miel al 1%, el extracto de levadura reactivo por el hidrolizado de levadura según procedimiento empleado *Rodríguez (2003)*, y el NaCl por la sal común, lo cual incidirá en la reducción de casi 6 veces el costo de producción considerando solamente materias primas.

El uso de fuentes carbonadas y subproductos industriales ha sido estudiado por *Bogardts (1998)*. Existen modelos de integración del proceso biológico de producción de PHB a partir de suero de leche, glicerol, hidrolizados de la industria del cítrico y otros según experiencia de *Lee (2008),* enfocando la conversión del residual agroindustrial como una solución medioambiental y obteniendo producciones entre 25 y 30 %PHB/p.s. Aunque la miel de caña no es un residual, sino un coproducto de la producción de azúcar, altamente competitivo como fuente de sustrato para otras fermentaciones y comprometido con la producción de alcohol, alimento animal y la exportación, no resulta ocioso considerar su uso potencial en la producción de PHB.

La sustitución total del extracto de levadura por el hidrolizado es también positiva, por cuanto es una fuente de nitrógeno, de fácil elaboración y tecnología sencilla pues se produce a partir de levadura forrajera y de un costo significativamente inferior. Otros autores como *Yüksekdağ (2004)*; encontraron en un estudio de fuentes de carbono y nitrógeno que incorporar fuentes complejas mejoraban la producción de PHB más de 10 veces en relación con el uso de reactivos puros. Estos autores indicaron que la peptona proteasa producía las máximas acumulaciones de PHB.

Otro aspecto a considerar es que el PHB producido por una bacteria Gram + como lo es el *Bacillus subtilis* tiene mejores propiedades de biocompatibilidad para aplicaciones biomédicas que el producido por bacterias Gram - .

Por tanto, la producción de PHB a partir de *Bacillus subtilis* B/23-444 utilizando un medio de cultivo con potencialidad industrial en 24 horas de tiempo de fermentación es un aporte para este campo ya que lo convierte en un candidato para estudios futuros de optimización y escalado del proceso.

Conclusiones

1. Se seleccionó la cepa *Bacillus subtilis* B/23-444, una bacteria Gram+ que favorece la biocompatibilidad del PHB para aplicaciones biomédicas.
2. Se escogió el medio de cultivo industrial compuesto por miel final de caña al 1% de azúcares reductores totales, hidrolizado de levadura y sal común, por su menor costo en comparación con un medio de componentes grado reactivo.

Referencias

Bello, D. (2008), Producción microbiológica y caracterización de poli-ß-hidroxibutirato a partir de mieles finales de remolacha y caña de azúcar. Tesis presentada en opción al título de Master en Bioquímica, mención Bioquímica básica. Facultad de Biología, Universidad de La Habana.

Bogardts, P., Krischke, W., Trosch, W., (1998), Integrated bioprocess for the simultaneous production of lactic acid and dairy sewage treatment. *Bioprocess Engineering* 19: p.321-329.

Brandl, H. (1993), A sensitive method for the detection of short-side-chain poly (3-hydroxyalkanoates). In: Schlegel HG, Steinbüchel A. (Ed.) Proceedings of the International Symposium on Bacterial Polyhydroxyalkanoates. Golze-Druck, Gottingen, p. 441-442.

Gómez, G. (2003), Algunos factores influyentes en el mejoramiento de la producción de PHB a escala de laboratorio. Tesis de diploma. Facultad de Biología, Universidad de La Habana.

Holmes, P. (1998), Biologically produced (R)-3-hydroxyalkanoate polymers and copolymers. *Developments in crystalline polymers* (London) 2: p.1-65.

Lee, S. (1996), Plastic bacteria Progress and prospects for polyhydroxyalcanoate production in bacteria. *Trends in Biotechnology* 14: p. 431-438.

Lee, W. (2008), Biosynthesis of polyhydroxyalkanoate copolymers from mixtures of plant oils and 3-hydroxyvalerate precursors. *Bioresource Technology* 99: p. 6844-6851.

Rodríguez, D. (2003), Formulación de un medio de cultivo para la producción industrial de un biopreparado de bacterias lácticas. Informe de investigación parcial. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.

Rozsa, Ch. (2004), Miscibilidad de mezclas poliméricas de polihidroxialcanoatos. *Iberoamericana de polímeros* 5(2):p.55-66.

Slepecky, R. (1960), A rapid spectrophotometric assay for alpha, beta-unsaturated acids and beta-hydroxy acids. *Analitics Chemical* 32:p. 1697-1699.

Sudesh, K., Abe, H., Doi, Y. (2000), Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: Biological polyesters. *Progress Polymers Science*. 25: p. 1503-1555.

Thoen, J. (2006), Industrial chemicals from biomass Industrial concepts.Biorefineries - industrial processes and products: Status Quo and Future Directions (Germany) 2(13):p. 978-1027.

Yüksekdağ, Z. (2004), Effect of carbon and nitrogen sources and incubationtimes on poly-beta-hydroxybutyrate (PHB) synthesis by *Bacillus subtilis* 25 and *Bacillus megaterium* 12. *African Journal of Biotechnology* 3(1):p. 63-66.

EVALUACION DE UNA LEVADURA OLEAGINOSA AISLADA DE MIELES EN MEZCLAS VINAZA/GLICEROL PARA LA PRODUCCION DE LÍPIDOS

EVALUATION OF OLEAGINOUS YEAST ISOLATED FROM MOLASSES IN VINASSE/GLYCEROL MIXTURES FOR MICROBIAL LIPID PRODUCTION

Evelyn Faife, Aidín Mtnez, Miguel A. Peña, Mayrelis Mesa, Silvia Armenteros, Mercedes Díaz, Laura Lami, Yanay Martínez, Miguel A. Otero, Amaury Alvarez

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Via Blanca 804 y Carretera Central, 11000 Habana, Cuba

Email : evelyn.faife@icidca.edu.ecu

Palabras clave: levaduras, lípidos, fermentación, biodiesel

Key words: yeasts, lipids, fermentation, biodiesel

RESUMEN

El empleo de cepas oleaginosas en efluentes o co-productos industriales como las vinazas de destilerías de alcohol y el glicerol industrial para la producción de aceites microbianos con vistas a la producción de levadura forrajera o a la sustitución de los aceites vegetales en la producción de biodiesel resulta una alternativa atractiva desde el punto de vista tecnológico y medio ambiental. En el presente trabajo se realizó la evaluación de la cepa *Rhodotorula mucilaginosa* L/24-26-1 en glicerol, glicerol industrial y mezclas de vinaza-glicerol, con vistas a determinar la capacidad de crecimiento y acumulación de triglicéridos (TGC) de esta cepa para su aplicación a escala industrial. Los resultados obtenidos demuestran que esta cepa alcanza valores superiores de los parámetros cinéticos y de acumulación de TGC cuando se emplea glicerol industrial respecto al glicerol refinado. Se muestra que es posible alcanzar concentraciones de biomasa celular en mezclas vinaza-glicerol suplementadas con sulfato de amonio superiores a los 30 g/L y contenidos de lípidos superiores al 30 % (p.s). La composición de ácidos grasos de los aceites obtenidos es similar a la de aceites vegetales y los valores de remoción de la carga orgánica (DQO) fueron superiores al 60 %.

ABSTRACT

The use of oleaginous yeasts in industrial effluents or co-products as vinasses and crude glycerol for production of microbial oils to use it in single cell protein (SCP) production for animal food or single cell oils (SCO) for biodiesel production is an attractive alternative considering technological and environmental aspects. In the present work, evaluation of *Rhodotorula mucilaginosa* L/24-26-1 in glycerol, raw glycerol and mixtures vinasse-glycerol was realized to determine the capacity of the yeast to growth and accumulate lipids in this media as a promising candidate for prospective industrial applications. Results showed that this yeast is able to reach higher values of the kinetic parameters and lipid content in crude glycerol respect to refined glycerol. It is possible to reach values of biomass concentration and lipids content superior to 30 g/L and 30 % (wt), in mixtures vinasse-glycerol supplemented with ammonia sulphate. Fatty acids composition

of the lipids was similar to edible oils and the chemical oxygen demand (COD) remotion values were higher than 60 %.

INTRODUCCION

La protección del medio ambiente y la búsqueda de nuevas fuentes de combustibles se han convertido en uno de los retos que enfrenta hoy la humanidad. Durante la última década, la producción de biocombustibles y en especial del biodiesel, atrajo la atención cada vez mayor de los investigadores como una fuente renovable y biodegradable de energía.

Los aceites o grasas de origen vegetal y animal constituyen la fuente principal en la producción de biodiesel, sin embargo esta producción presenta algunas limitaciones respecto al precio competitivo de los combustibles fósiles. Este conflicto conlleva a la disminución de la atracción del biodiesel como alternativa a la producción de combustibles a partir del petróleo.

Para la producción de aceites es posible emplear otras fuentes además de las plantas oleaginosas. Se conoce que los microorganismos son capaces de producir una amplia gama de productos. Sin embargo, solo un pequeño número de especies naturales son capaces de transformar los carbohidratos en lípidos y utilizarlos como fuente de energía bajo ciertas condiciones ambientales.

El potencial de microorganismos oleaginosos para la producción de lípidos como fuente alternativa a los aceites vegetales ha sido periódicamente evaluado durante muchos años por varios autores: Woodbine (1959), Birch y col (1976), Ratledge y Wilkinson (1989). Se han encontrado numerosas especies de levaduras oleaginosas capaces de acumular entre un 20 - 70 % de su biomasa en condiciones de cultivo apropiadas. Dentro de estas se incluyen las especies *Cryptococcus albidus, Lipomyces lipofera, Lipomyces starkeyi, Rhodosporidium toruloides, Rhodotorula glutinis, Trichosporon pullulan, y Yarrowia lipolytica* las cuales han sido reportadas por Liu y col (2000), Li y col (2008), Liang y col (2006) entre otros. La mayor parte de estos lípidos son triglicéridos que contienen ácidos grasos de cadena larga los cuales son similares a los que conforman los aceites vegetales por lo que la producción de lípidos a partir de microorganismos pudiera ser una opción para la producción de biodiesel.

El desarrollo de nuevas fuentes de aceites empleando cultivos microbianos que ofrezcan ventajas respecto a los métodos tradicionales pudiera ser de gran utilidad para la producción industrial de biodiesel. Según Ratledge (2004), de esta forma se lograrían producir productos de alto valor en tiempos relativamente cortos, a bajo costo y sin las adversidades de las estaciones del tiempo, por lo que este enfoque ofrece una alternativa para obtener biocombustibles.

La producción de biomasa microbiana para la producción de lípidos a partir de fuentes de bajo costo o desechos industriales tiene muchas ventajas. Ykema y otros (1988), Liu y Zhao (2007), Beopoulos y otros (2009) plantean como ventajas el corto ciclo de vida, las pocas afectaciones locales y la posibilidad de realizar procesos escalables. Según Ratledge y Wynn (2002) los lípidos obtenidos por esta vía pueden ser empleados satisfactoriamente para producir biodiesel mediante la trans-esterificación con alcoholes de cadena corta.

Varios autores como Martínez y col (2004), Cazzetta y Celligoi (2006) y Otero y col (2003, 2008, 2010) han reportado el empleo de los mostos residuales de las destilerías de alcohol (vinaza) como sustrato para la producción de proteína celular (SCP). Estos cultivos microbianos están ganando interés para su aplicación como fuente proteica de alto valor nutricional y para el control de la contaminación ambiental.

El objetivo del presente trabajo es realizar la evaluación de la cinética de crecimiento y de acumulación de lípidos de una cepa *Rhodotorula mucilaginosa* empleando 2 residuales o subproductos industriales: la vinaza, residual procedente de las destilerías de alcohol, y el glicerol crudo subproducto obtenido durante el proceso de transesterificación industrial de los propios triglicéridos para la producción del biodiesel.

MATERIALES Y METODOS

Microorganismos y reactivos

Se empleó la cepa L/24-26-1 aislada a partir de una muestra de miel procedente de la Empresa Azucarera cubana "Antonio Sánchez" de la provincia Cienfuegos. Esta cepa ha sido clasificada como *Rhodotorula mucilaginosa* mediante el sistema API AUX 20. El mantenimiento de la misma se realizó mediante siembras periódicas en cuñas de medio YPG agar (Merck, 2002), incubadas a 30 ºC durante 24 - 48 horas y conservadas en cámara fría a temperaturas entre 6 – 8 ºC.

Proceso de fermentación

La propagación del inóculo se inició mediante la incubación de la cepa en cuñas con medio YEPD (Merck) durante 2 días a 30 ºC. A continuación se transfirió el cultivo a frascos de 250 mLs conteniendo 50 mL de medio de inóculo YPG a 30 ºC y 150 rpm durante 24 horas para producir el preinóculo.

Los ensayos de evaluación a escala de laboratorio se realizaron en erlenmeyers de 1L conteniendo 250 mls de volumen de trabajo y una relación 1:10 respecto al volumen de inóculo (1:10 v:v). Se emplearon medios de propagación enriquecidos compuestos por 10 g/L de extracto de levadura, 20 g/L de peptona y 20 g/L de glicerol grado reactivo o 25 g/L de glicerol industrial (80 % de glicerol). Para la evaluación de la acumulación de grasas en condiciones de limitación de nitrógeno se emplearon los medios limitantes M1, M2, M3 y M4 con composición similar en cuanto al contenido de sales: 1,5 g/L $MgSO_4.7H_20$, 0,7 g/L NH_4SO_4 y 0,4 g/L $(NH_4)_2HPO_4$, pero variando la fuente de energía (M1: glucosa 50 g/L, , M2: glicerol grado reactivo 50 g/L, M3: glicerol industrial 60 g/L. En el medio M4 se utilizó glicerol grado reactivo, 50 g/L y se sustituyó el sulfato de amonio por urea 0,31 g/L.

Para los experimentos de fermentación se emplearon fermentadores de 5 L, (Marubishi MD 5, Tokyo, Japan) con volumen de trabajo de 2,5 L de medio de fermentación. En la inoculación de los mismos el volumen total de los erlenmeyers (250 mL) garantizando relación de inóculo 1:10 (v/v). Los parámetros de operación fueron ajustados a 1,2 ppm, 600 rpm, 30 °C y pH 4 durante todo el cultivo. Como fuentes de nitrógeno y fósforo se emplearon 4,6 y 1,0 g/L de NH_4SO_4 y $(NH_4)_2HPO_4$, respectivamente.

Métodos analíticos

Determinación de concentración de biomasa

Se colectaron muestras por duplicado de 5 mL de cultivo y se centrifugaron a 5000 rpm durante 5 min. El sobrenadante obtenido fue separado para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). La biomasa se lavó dos veces con 5 mL de agua destilada y a continuación la concentración de biomasa gravimétrica (MSG) fue determinada en una balanza infrarroja (Sartorius GmbH, Germany) a 105 ºC.

Determinación del contenido de lípidos

Los lípidos de la biomasa fueron extraídos y pesados de acuerdo al método modificado de Bligh y Dryer (1959). Primeramente se tomaron y centrifugaron 50 mL del cultivo, se procedió al lavado con 50 mL de agua destilada y secado de la biomasa de modo similar a la técnica para la MSG. Se tomó 1,0 g de la misma, se le añaden 10 mL de HCl 4M y se incuba a 60 °C durante 2 h con agitación. A continuación este hidrolizado es mezclado con 10 mL de la mezcla clroroformo/methanol (2:1) a temperatura ambiente durante 3 h y posteriormente se centrifuga a 5000 rpm durante 10 min. La fase inferior que contiene los lípidos es recuperada con ayuda de una pipeta Pasteur para luego ser evaporada bajo presión reducida durante 10 min aproximadamente. Mediante esta vía se extraerán los solventes presentes en la fase y solo quedarán las grasas, las cuales serán pesadas al terminar la operación

Determinación de ácidos grasos por cromatografía gaseosa (GC)

A alrededor de 150 mg de aceite se le adicionan 5 ml de solución metóxido de sodio en metanol al 10% y se coloca en un termostato en un tubo sellado herméticamente seco a 85 ^{o}C por 2 h con agitación vigorosa ocasional. Se saca del termostato y se deja enfriar a temperatura ambiente. Se le adicionan 5 ml de n-hexano y 5 ml de agua destilada y se agita durante 1 minuto. Se deja reposar para que se separen las dos fases. Se extrae una alícuota de 4 mL de la fase orgánica (superior) hacia otro tubo de ensayo y se desecha el resto. Al segundo tubo de ensayo se le adicionan 5 ml de n-hexano y 5 mL de hidróxido de sodio en metanol 1 N, se sella y se agita en zaranda por 1 minuto. Se deja reposar para que se separen las fases y se extrae una alícuota de 2 mL de la fase orgánica (superior) hacia un vial y se pone a secar en centrifuga evaporadora al vacío para eliminar el solvente. Se resuspenden los ésteres metílicos en el solvente deseado para analizar en el cromatógrafo de gases

Caracterización de los ácidos grasos

Para la caracterización de los ácidos grasos que componen los aceites extraídos se empleó un cromatógrafo de gases GC-17ª (Shimadzu) con autoinyector AOC-20S acoplado a un espectrofotómetro de masas MS-QP5050A. El equipo emplea una fuente de ionización electrónica y está acoplada a un analizador cuadrupolo. Para el análisis de las muestras se utiliza el software GCMS Solution. Se utilizó una columna apolar DB-1 de 30 m de longitud y 0,25 mm de diámetro.

Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El procedimiento aplicado corresponde al método de Conde (1978). En resumen, se toma 1 mL de sobrenadante del medio fermentado y se hace reaccionar con 0,04 g de $HgSO_4$ (II) en un frasco cónico de 25 mL. A continuación, se añade 1 mL de 0,04 M de dicromato de potasio y varias perlas de vidrio para evitar las burbujas y lentamente 3 mL de H_2SO_4 (d=1,84) en presencia de 9,9 g/L de $AgSO_4$. La mezcla se agita durante 12 – 15 min y una vez enfriada se añaden 100 mL de agua destilada. El exceso de dicromato es determinado con sulfato de amonio ferroso en presencia de ferroina como indicador. Como muestra blanco se emplea 1 mL de agua destilada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la concentración de glicerol

El efecto de la concentración de glicerol en el crecimiento de la cepa L/24-26-1 fue evaluado mediante el cultivo en frascos erlenmeyers de 250 mL por triplicado, empleando un rango de concentración entre 20 y 120 g/L. En la tabla 1 aparecen los resultados de los parámetros cinéticos calculados.

En la tabla 1 aparece un resumen de los parámetros cinéticos fundamentales. Estos resultados permiten afirmar que la cepa L/24-26-1 es capaz de crecer satisfactoriamente cuando se emplea el glicerol como única fuente de energía en concentraciones de 20 - 120 g/L, no observándose inhibición del crecimiento. El mayor valor de la velocidad específica máxima (μmax) fue 0.26 h^{-1} y la concentración celular alcanzó 17,76 g/L. Sin embargo, se produce una disminución del rendimiento biomasa-sustrato con el incremento de la concentración de glicerol.

Tabla 1: Resultados de la evaluación cinética de la cepa L/24-26-1 empleando glicerol como único sustrato a las 24 horas

Conc. glic (g/L)	Conc. Cel (g/L)	Veloc. esp (h^{-1})	Y x/s (%)
20	7,34 ± 0.26	0,15	36,7
40	9,15 ± 0.21	0,16	22,8
60	10,3 ± 1.61	0,18	17,2
80	12.08 ± 1,98	0,21	15,1
100	15,74 ± 1,38	0,20	15,7
120	17,76 ± 2,08	0,26	14,8

No todas las levaduras son capaces de propagarse en glicerol como sustrato. Papanikolau y Aggelis (2002) reportaron un notable crecimiento de una cepa *Yarrowia lipolytica* durante la propagación en un cultivo continuo simple etapa en presencia de glicerol como única fuente de carbono. Easterling *y col*. (2009) reportan el efecto del glicerol como único sustrato en una cepa *Rhodotorula glutinis*.

Efecto del glicerol industrial en el crecimiento celular

La producción del glicerol refinado es un proceso relativamente caro y de larga duración por ello su uso industrial no ha sido difundido ampliamente. Meesters y col. (1996) también demostraron que el glicerol es un sustrato adecuado para diferentes especies de levaduras, sin embargo el glicerol industrial obtenido como subproducto de las trans-esterificaciones contiene impurezas y contaminantes que son generalmente deprimentes para el crecimiento microbiano.

En los últimos años han aparecido nuevos reportes de autores como Papanikolaou y Aggelis, (2002) y Chatzifragkou *y col*, (2011) sobre la asimilación de glicerol industrial de algunas especies de levaduras entre las que se encuentran *Rhodotorula glutinis*, *Candida aloleophila*, *Candida curvata*, *Candida pulcherrima*, *Yarrowia lipolytica* y *Pichia membranifaciens*. El efecto del glicerol industrial en el comportamiento de esta cepa se determinó mediante la evaluación del crecimiento celular a concentraciones de 75, 100 y 120 g/L de glicerol industrial (80 % de pureza: 60, 80, 100 g/L de glicerol).

En concordancia con lo planteado por otros Liu (2012) y Xu (2012), los resultados obtenidos en este ensayo (Tabla 2) demuestran que la presencia de pequeñas cantidades de otros compuestos como metil esteres de ácidos grasos, glicéridos, sales de sodio y componentes de jabones en el glicerol industrial procedentes de la reacción de trans-estetrificación contribuyen a un incremento de parámetros de cultivo como la concentración máxima de biomasa, la velocidad específica de crecimiento y el rendimiento biomasa/sustrato, respecto a concentraciones similares en la evaluación con el glicerol puro.

Sin embargo, aún con los efectos positivos de las compuestos presentes en el glicerol industrial, solo se alcanzan valores de rendimiento biomasa-sustrato superiores al 25 % en concentraciones inferiores a los 60 g/L de glicerol. Los resultados experimentales obtenidos a nivel de frascos erlenmeyers pueden ser superados cuando se emplean sistemas de mayor escala (bioreactores) debido a un mejoramiento de las condiciones de aireación y agitación bajo un ambiente más controlado (pH, densidad de oxígeno, entre otros), por lo que se considera que el glicerol industrial puede emplearse como sustrato principal para la etapa de crecimiento o propagación de la cepa *Rhodotorula* mucilaginosa L/24-26-1.

Tabla 2. Resultados de la evaluación cinética de la cepa L/24-26-1 empleando glicerol industrial como único sustrato a las 24 horas

Conc. Glic (g/L)	*Biomasa. Cel (g/L)*	*Veloc. esp (h-1)*	*Y x/s (%)*
60	15,90 ± 2.90	0,23	26,5
80	17,40 ± 1,75	0,22	21,8
100	17,60 ± 1,10	0,25	17,6

Petitdemange y col. (1995) han obtenido varias cepas de *Clostridium butyricum* que no crecen en glicerol industrial, mientras que Papanikollaou y otros (2002) han demostrado que la *Y Lipolytica* puede crecer en medios que contienen glicerol industrial como fuente de carbono. Estos autores refieren la *Y. Lipolytica* como un potencial productor de ácido cítrico a partir del glicerol como materia prima. Sin embargo, comentan que este resultado es inesperado, por lo que no es posible predecir hasta el momento cuando un microorganismo crecerá en un medio en presencia de glicerol industrial.

Evaluación en mezclas vinaza/glicerol

La capacidad de propagación de las levaduras oleaginosas en mezclas de vinaza/miel, vinaza/glicerol y glicerol ha sido demostrada anteriormente por varios autores como Papanikolau y Aggelis (2002), Cazetta y Celligoi (2006), Faife (2011).

La evaluación del crecimiento celular en diferentes mezclas vinaza/glicerol se realizó a escala de fermentadores con un volumen de trabajo de 2,5 L. La influencia de la composición de vinaza y glicerol se evaluó al comparar los resultados obtenidos en las mezclas con proporciones 30:70, 15:85 y 5:95 de vinaza-glicerol en base a la demanda química de oxígeno total (DQO) de la mezcla, cuyo valor fue ajustado a 60 g/L en los medios iniciales y corresponden a valores de glicerol en el medio de 40, 50 y 60 g/L respectivamente.

La figura 1 y la tabla 3 muestran los resultados de los parámetros cinéticos obtenidos en esta evaluación. Los *valores* máximos de concentración celular máxima (MSG), velocidad específica de crecimiento y rendimiento biomasa/sustrato $Y_{X/S}$ se obtuvieron en la condición de la mezcla con proporción 15:85 logrando valores de 48,3 g/L; 0,086 h^{-1} y 80,8 %, respectivamente. El comportamiento celular en la mezcla vinaza:glicerol 5:95 difiere completamente de las mezclas vinaza: glicerol 30:70 y 15:85. Este comportamiento puede deberse a un efecto inhibitorio del glicerol cuando excede una concentración de 50 g/l. Puede incidir además, la ausencia de promotores de crecimiento celular que están presentes en la vinaza ya que en este medio en particular el volumen de vinaza empleado es ínfimo, mientras que en el resto de los medios el volumen de vinaza es aproximadamente entre el 15-35 % del volumen total.

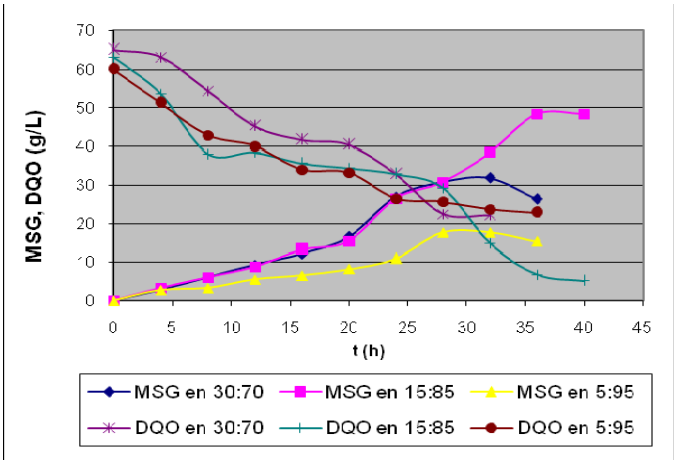


Figura 1: Comportamiento cinético del crecimiento celular y la demanda química de Oxígeno (DQO) de la cepa L/24-26-1 en las mezclas vinaza/glicerol de composición 30:70, 15:85 y 5:95.

Uno de los parámetros más importantes a considerar en cualquier proceso donde se utilizan desechos industriales es la reducción de la carga orgánica de los mismos después del ciclo productivo. No obstante, en la literatura técnica aparecen solo algunos reportes que abordan la reducción de la DQO a partir de la degradación de la mezcla de sustratos y efluentes industriales. En las variantes evaluadas se obtuvieron valores de remoción de la carga orgánica superiores al 60 %. Llama la atención que la remoción de DQO en la mezcla con proporción 15:85 alcanzó un valor superior respecto al resto de las mezclas, lo cual es un resultado muy satisfactorio.

El carbono presente en estas mezclas fue capaz de sostener el crecimiento de las levaduras y además se obtuvo una considerable reducción de la DQO. Esto significa que el proceso en su conjunto tiene un valor adicional como tratamiento de residuales de la industria alcoholera.

Tabla 3. Parámetros cinéticos de la cepa L/24-26-1 en las mezclas vinaza: glicerol en relación 70:30, 15:85 y 5:95 respecto a la DQO total.

Relación de DQO vin:glic	MSG max (g/L)	μ (h^{-1})	$Y_{X/DQO}$ (%)	Qx/DQO (gcel./gd)	Remoción DQO (%)	Cont Lípidos (%)
30:70	31,8	0,08	70,6	0,36	66,0	8,72
15:85	48,3	0,08	80,7	0,46	91,8	8,02
5:95	17,6	0,07	43,2	0,22	62,0	8,54

De acuerdo con los estudios realizados por Leesing y Karraphan (2011), las altas concentraciones de sustrato en los procesos en modo discontinuo constituyen un obstáculo en el escalado de una producción de lípidos a partir de microorganismo oleaginoso ya que la alta velocidad de consumo de sustrato unido a una concentración alta de glucosa y una baja concentración de nitrógeno, resulta en la poca producción de biomasa. Es por ello que para estimular la concentración de lípidos se propone el empleo de sistemas incrementados con un medio inicial rico en nitrógeno en la etapa inicial del crecimiento hasta obtener una alta densidad celular y luego suministrar una alta concentración de la fuente de carbono. Esta estrategia ha sido aplicada por Li y col. (2007). Este autor reporta además, la posibilidad del desarrollo de una tecnología

para el tratamiento de vinazas mediante la fermentación de levaduras en mezclas de residuales de destilería y glicerol, con el objetivo de la producción simultánea de alimento animal y biodiesel (2006).

Evaluación de la cepa en condiciones de limitación de nitrógeno

Efecto de la fuente de energía

Diversos estudios han demostrado que el proceso de acumulación de lípidos requiere el agotamiento de uno de los nutrientes, generalmente nitrógeno, lo cual posibilita un exceso de carbono (Tao y col., 2006; Beltran y col., 2008).

Para determinar el efecto de la fuente de energía en condiciones de limitación de nitrógeno se realizó un ensayo en frascos erlenmeyers por triplicado empleando glucosa, glicerol reactivo y glicerol industrial. Como se muestra en la figura 2 existe una diferencia marcada del comportamiento del crecimiento celular y la acumulación de lípidos al emplear glucosa o glicerol. Los valores máximos de la concentración máxima de biomasa (14,5 g/L), la velocidad específica máxima de crecimiento (0,032 h^{-1}) y del coeficiente de rendimiento celular (24,4%) se alcanzan en presencia de glucosa. La máxima acumulación de lípidos correspondiente al 34,8 % (p.s), se alcanzó también en este a los 8 días de cultivo. Wiebe y col. (2012) obtuvieron también resultados superiores empleando glucosa respecto a los obtenidos en xilosa, arabinosa o sus mezclas.

El análisis comparativo de los resultados obtenidos del glicerol reactivo y el glicerol industrial muestran un incremento de la concentración de biomasa desde 7,9 a 8,24 g/L, de la velocidad específica de crecimiento desde 0,013 a 0,0156 h^{-1} y del contenido de lípidos de 20,6 a 25,2, lo cual equivale a incrementos del 3,27; 17,3 y 18,3 %, respectivamente, respecto al medio con glicerol reactivo, por lo que se considera que el empleo de glicerol industrial en condiciones de limitación de nitrógeno también tuvo un efecto positivo en los parámetros de crecimiento y en la acumulación de lípidos.

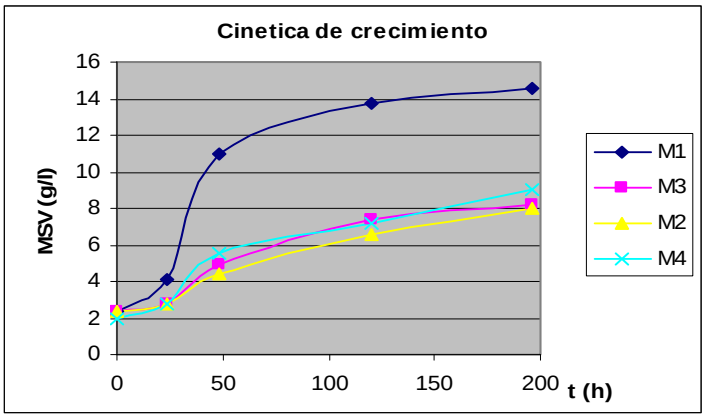


Figura 2: Comportamiento cinético de la cepa L/24-26-1 en medios con limitación de nitrógeno

En los últimos años aparecen reportes de varios investigadores Easterling (2009), Xu y col. (2012) Louhasakul y Cheirsilp (2012) con resultados satisfactorios en cuanto al efecto positivo del empleo de glicerol industrial en la acumulación de triglicéridos con diferentes especies de levaduras oleaginosas como *Rhodosporidium toruloides, Rhodotorula glutinis y Yarrowia lipolytica*

Efecto de la fuente de nitrógeno

Al comparar los resultados obtenidos en los medios M2 y M4 en la figura 3 se observa que la sustitución del sulfato de amonio por urea en condiciones limitantes de nitrógeno incidió directamente en el incremento de la concentración de biomasa de 7,9 a 9,0 g/L y un ligero aumento de la velocidad específica de crecimiento desde 0,013 a 0,015 h^{-1} o sea un incremento del 12,2 y 13,3 %, respectivamente. Se observa además un impacto considerable en el contenido de lípidos aumentando en un 32 % desde 20,6 hasta 30,3 g/L.

En la literatura aparece reportado por Huang y otros (1998) que las fuentes inorgánicas de nitrógeno favorecen el crecimiento microbiano pero no favorecen la acumulación de lípidos, mientras fuentes orgánicas como la peptona y el caldo favorecen la acumulación de lípidos pero no el crecimiento. La incidencia de la fuente de nitrógeno en la acumulación de lípidos ha sido reportada por Evans y Ratledge (1983), evidenciando incrementos considerables desde un 18 % (p.s) con NH_4Cl hasta por encima del 50 % (p.s) cuando se emplea glutamato, urea o arginina en la cepa *Rhodosporidium toruloides.*

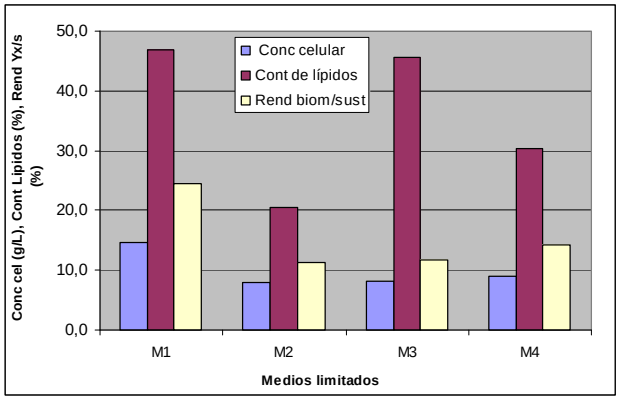


Figura 3: Representación grafica de los niveles de concentración celular (g/L), contenido de lípidos (% p.s) y rendimiento biomasa-sustrato (%) de la cepa L/24-26-1 en condiciones de limitación de nitrógeno: medios M1 – M4.

Efecto de la composición de la mezcla vinaza-glicerol y la concentración de sulfato de amonio.

La concentración de nitrógeno y de carbono son factores críticos que inciden en la producción de lípidos de microorganismos oleaginosos Para determinar el efecto de la composición de la mezcla vinaza/glicerol y la concentración de sulfato de amonio en condiciones de limitación de nitrógeno se realizó un diseño experimental factorial 2^3 en frascos erlenmeyers. Se emplearon mezclas de vinaza/glicerol reactivo con composiciones: 70:30, 35:65 y 5:95 en base a una DQO total de 60 g/L y tres niveles de concentración de sulfato de amonio: 0,4, 0,8 y 1,2 g/L. En la tabla 4 aparece un resumen de las diferentes condiciones evaluadas y los resultados obtenidos.

Los resultados después de 6 días de cultivo muestran que se produce un incremento de la concentración de biomasa con el aumento de la concentración de sulfato de amonio (1,2 g/L) sin embargo el contenido de lípidos disminuye, obteniéndose los mayores valores de concentración de biomasa en los medios donde se empleó 0,8 g/L de sulfato de amonio. Se puede observar además, que produce una inhibición del crecimiento celular a valores de concentración de glicerol por encima de los 78 g/L. El efecto de la concentración de sustrato y de nitrógeno en condiciones de limitación de nitrógeno fue evaluado recientemente por Leesing y Karraphan (2011) de forma independiente en una cepa oleaginosa *Torulaspora maleeae* empleando glucosa y diferentes concentraciones de $(NH_4)_2SO_4$. El efecto del aumento de concentración de sulfato de amonio y

de la fuente da carbono en este estudio fue similar, o sea, a partir de un valor determinado de la concentración de la fuente de carbono y de la concentración de sulfato de amonio (nitrógeno), la biomasa celular y la acumulación de lípidos disminuyen.

Tabla 4: Resumen de la composición de la mezcla, la concentración de sulfato y los resultados obtenidos en cuanto a biomasa celular, contenido de lípidos y remoción de la DQO

Medio	Mezcla	Conc sulfato de amonio (g/L)	Conc inicial de glicerol (g/L)	MSG (g/L)	Cont lípidos (%)	Remoción DQO (%)
1	*70:30*	*0,4*	26,4	8,24	15,0	78,7
2	*70:30*	*0,8*	26,4	10,87	17,4	78,6
3	*70:30*	*1,2*	26,1	12,62	14,8	78,3
4	*35:65*	*0,4*	46	11,15	12,4	90,6
5	*35:65*	*0,8*	53,9	13,42	31,8	83,7
6	*35:65*	*1,2*	51,7	16,26	19,2	61,8
7	*5:95*	*0,4*	90,35	12,17	17,5	49,8
8	*5:95*	*0,8*	85,8	12,63	25,5	62,6
9	*5:95*	*1,2*	78,28	19,77	14,5	56,4

Análisis del perfil de ácidos grasos.

El aumento del interés en el empleo de los componentes hidrocarbonados de fuentes biológicas está directamente relacionado con la producción de combustibles como biodiesel y jet diesel, debido precisamente a que los mismos constituyen una materia renovable capaz de remplazar los combustibles fósiles y son favorables desde el punto de vista ecológico, según Trimbur y col. (2009), Roden y Butz (2010), Benning y Younger (2009).

Algunos investigadores como Li (2007), Liu y Zhao (2007) y Easterling (2009) entre otros, reportan que los principales ácidos grasos obtenidos de las levaduras oleaginosas son: ácido mirístico (C14:0), ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0), ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2) y ácido linolénico (C18:3), por lo que pueden ser empleados como materia prima en la producción de biodiesel.

En la tabla 5 aparece un resumen de la composición de ácidos grasos de los aceites obtenidos en diferentes mezclas vinaza/glicerol (relaciones de DQO: 70:30, 15:85, 5:95). Los resultados muestran que en las tres mezclas evaluadas el contenido de ácidos grasos comprende el rango establecido por la norma ASTM D6751 establecida para los aceites vegetales empleados para la producción de biodiesel. Sin embargo, existen diferencias significativas en cuanto a la composición de los ácidos grasos insaturados entre las diferentes mezclas, fundamentalmente del ácido oleico y linoleico. En la mezcla de relación de DQO 15:85 el contenido de los mismos fue superior (88,3 %), en el resto de las mezclas no alcanzó el 80 % (77,7 y 78,6 %, respectivamente).

Tabla 5: Composición de ácidos grasos de los lípidos obtenidos en las diferentes mezclas vinaza-glicerol evaluadas

Acidos grasos / Composición vinaza-glicerol	70:30	15:85	5:95
Mirístico, C14:0	0,34	0,06	0,70

Palmítico, C16:0	12,77	8,2	14,31
Palmitoleico, C16:1	0,62	1,06	0,96
Esteárico, C18:0	7,58	3,03	5,01
Oleico, C18:1	36,05	52,67	23,61
Linoleico, C18:2	41,04	34,58	53,56
Total (%)	98,4	99,6	98,15

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran la capacidad de propagación y de acumulación de triglicéridos de la cepa L/24-26-1 empleando glicerol como fuente de carbono única. La evaluación de esta cepa en presencia de glicerol industrial procedente del proceso de trans-esterificación de aceites vegetales para la producción demostró un efecto positivo de los compuestos o impurezas del glicerol industrial, tanto en los parámetros cinéticos de crecimiento como en la acumulación de triglicéridos.

Al emplear mezclas vinaza-glicerol pudo determinarse que esta cepa es capaz de alcanzar concentraciones de biomasa celular superiores a los 25 g/L y contenidos de lípidos en el orden del 30 % del peso seco a escala de laboratorio, por lo que consideramos que estos valores pueden ser superados en sistemas controlados como los bioreactores. Los principales ácidos grasos obtenidos fueron ácido palmítico, oleico y linoleico en una composición similar a los aceites vegetales, por lo que pudiera considerarse los aceites obtenidos mediante esta vía como una materia prima alternativa para la producción de biodiesel.

REFERENCIAS

- ASTM D6751-02 (2008). Specification for biodiesel, www.biodiesel.org/pdf_files/fuelasfactsheets/_-BDSpec.pdf consulta online Dec 2010
- Benning, C., Younger M.J. (2009), Method for producing biodiesel US2009/0061492 A1
- Beopoulos, A., Cescut J., Haddouche, R., Uribelarrea JL, Molina-Jouve C., Nicaud JM. (2009), Prog Lipid Res 48, 375-387.
- Birch CG., Parker, KJ, Worgan, JT. (Eds.) (1976), Food from Waste, Applied Science Publishers, London, UK, pp. 98–111.
- Bligh, EG., Dyer WJ. (1959), Can J Biochem Physiol. 37, 911–917.
- Cazetta, ML., Celligoi, MAPC (2006). Study of molasses/vinasse waste ratio for single cell protein and total lipids production Seminar: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, 27 (1):3-10
- Conde, J., Bartok, J., Reyes, A. (1978). Sobre los Deriv 12 (3):21-26
- Chatzifragkou, A., Makri, A., Belka, A. (2011).. Energy, 36, 1097 – 1108
- Easterling, E.R, French,T., Hernández, RW. Licha, M (2009). Bioresource Technology, 100(8): 356- 361.
- Evans, C., Ratledge, C. (1983) Journnal microbiology: Microbiology July vol.130 No 6, 1963 – 1704
- Faife, E., Otero, M.A., Alvarez, A. (2011) Int. Sugar Journal, 113: (1355), 786:791.
- Huang, JZ., Shi, QQ., Zhou, XL., Lin, YX., Xie, BF., Wu SG (1998), Microbiology 25(4),187–191
- Leesing, R., Karraphan, Ph. (2011) African Journal of Biotechnology Vol. 10 (63), 13867 - 13877
- Li, Q., Du, W., Liu, D. (2008), Appl Microbiol Biotechnol 80,749-756.
- Li ,YH., Liu, B., Zhao, ZB., Bai, FW. (2006), Chin J Biotechnol 22(4), 650–656
- Li Y.H., B. Liu, Z.B. Zhao, F.W. Bai (2007). Enzyme Microbial Technol. 41(3): 312-317.
- Liang, X.A., Dong, W.B., Miao, X.J., Dai, C.J. (2006). Food Res. Dev., 27 (3): 46-47.
- Liu, B., Zhao, ZK. (2007), J Chem Technol Biotechnol 82,775-780
- Liu, S.J., Yang, W.B., Shi, A.H. (2000). Microbiology 27 (2), 93-97.
- Liu D., Xu J., Zhao X., Wang W., Du W. (2012) Biochemical Engineering Journal 65, 30 – 36
- Louhasakul, Cheirsilp, (2012), Appl Biochem Biotechnol

- Martínez, J.A., Almazán, O.A., Saura, G., Otero, M.A. (2004). Zuckerindustrie 129 (2), 92-95
- Meesters, P., A.E.P, Huijberts, G.N.M., Eggink, G. Appl Microbiol Botechnol 45 (5), 575 - 579
- Otero, M.A., Almazan, O.A. (2010) XXVII ISSCT Congress, Veracruz, Mexico, March 2010.
- Otero, M.A., Saura, G., Martinez, J.A., Fundora, N., Reyes, E., Vasallo, M.C., Almazán, O.A. (2003), Int Sugar J 105 (1249), pp. 36-39
- Otero, M.A., Saura, G., Martinez, J.A., Almazan, O.A. (2008), Inter Sugar J 110 (1319), pp. 693-696
- Papanikolau, S., Aggelis, G. (2002). Bioresource Technol 82, 43-49
- Petitdemage, E. Durr C., Abbad-Adaloussi, S. J. Ind. Microbiol Biotechnol (1995), vol 15, pp. 498 - 502
- Ratledge, C., Wynn, J.P. (2002), Adv Appl Microbiol 51, 1-51.
- Ratledge, C. (2004), Biochimie 86, 807–815
- Ratledge, C., Wilkinson, S,G, (1989). Microbial Lipids, Academic Press, London, UK, pp. 555–697
- Roden, A., Butz, J. (2010). Method for producing biodiesel material US2010/0175312 A1
- Trimbur, D.E., In CS, Dillon HF, Day AG, Franklyn S, Caragliotti, A. (2009). Glycerol feedstock utilization for oil-based fuel manufacturing US 2009/0004715 A1
- Woodbine, M. (1959), Microbial Fat: Micro-Organisms as Potential Fat Producers. In: Progress in Industrial
- Microbiology, Vol. 1, D.J.D. Hockenhull (Ed.), Elsevier, London, UK pp. 181–245.
- Ykema, A., Verbree, E.C., Kater, M.M., Smit, H. (1988), Appl Microbiol Biotechnol 29, 211-218

METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

METHODOLOGY FOR THE IMPLEMENTATION OF AMBIENTAL MANAGEMENT SYSTEM IN THE SUGAR INDUSTRY

Autores: Cristina Gastón Peña, Felipe Eng Sánchez, Yaniris Lorenzo Acosta

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
cristina.gaston@icidca.edu.cu

Resumen

Se trata de una panorámica que recoge los pasos necesarios para la implementación del sistema de gestión ambiental (SGA) en la industria azucarera cubana. El trabajo recopila el cronograma de ejecución, la revisión ambiental inicial o diagnóstico y toda la fase de capacitación y asesoría que brinda el Centro de Gestión Ambiental (CENGMA) del ICIDCA a las empresas del grupo empresarial Azucarero (AZCUBA). Se señala la importancia del SGA como una importante herramienta para minimizar el impacto ambiental que ocasiona la producción de azúcar y derivados, así como el grado de compromiso de cada unidad empresarial de base (UEB) para dar solución a la problemática ambiental de su entorno. Se resalta la posibilidad de convertir está actividad en una ventaja competitiva para las empresas que decidan implementar el sistema, ya que el mismo repercute positivamente en la calidad de los productos y los servicios que puede brindar la industria.

Palabras Clave: Sistema Gestión Ambiental, industria azucarera

Abstract

This paper concerns with the necessary steps for implementation of the environmental management system (EMS) in the Cuban sugar industry. In this sense, we propose the development of a chronogram for this objective, the revision of the ambient diagnostic and the whole training phase and consultant ship that offer the Environmental Management Center for the Sugar Cane and Byproduct from of the Cuban Research Institute on Sugar Cane Byproducts to different sugar enterprises. It is pointed out the importance of the EMS as an important tool to minimize the environmental impact that causes the production of sugar and byproducts, as well as the grade of commitment of each enterprise to give a solution to the environmental problems. The possibility is to convert this approach in a competitive advantage for the companies that decide to implement the EMS since the same one rebounds positively in the products quality and the services that can offer this industry.

Key words: Environmental Management System, sugar industry

Introducción

La protección y conservación del medio ambiente es un tema que ocupa a la comunidad científica internacional, a políticos, a estadistas y ciudadanos en general.
Cuba, ha encaminado sus esfuerzos en el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente, en la educación ambiental de su población. Desde el punto de vista legislativo y constitucional existen leyes, decretos y resoluciones que abogan por la preservación y conservación del medio ambiente (Ley 81/1997; Ley 85/1998).
En 1994 es creado el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) como órgano rector de la política ambiental, en los años 1995 hasta el 1997 fue elaborada y aprobada la Estrategia Ambiental Nacional y en el 2007 se aprobó la nueva Estrategia Nacional, como instrumentación de esta estrategia cada organismo elaboró a los diferentes niveles, sus estrategias, objetivos y metas (CITMA 2007/2012).
El grupo empresarial AZCUBA juega un papel protagónico en lo que a la protección del medio ambiente se refiere por la gran extensión de suelos que ocupa y su industria ser la responsable de 1/3 de la contaminación originada en el país. Por tanto, poseer una estrategia ambiental que proponga metas y acciones con vista al desarrollo sostenible sin comprometer las futuras generaciones, constituyen tarea de primer orden (MINAZ, 2007).
AZCUBA cuenta con su estrategia ambiental a los diferentes niveles y dentro de los objetivos 2013 se trazó comenzar con la implementación del sistema de gestión ambiental (SGA) fundamentalmente en las empresas de occidente en una primera etapa y dar continuidad a este trabajo durante las siguientes etapas hasta lograr la solución integral de los residuales industriales en las empresas azucareras.
Los pasos y procedimientos para establecer el SGA así como la capacitación y asesoría constituyen el objetivo fundamental de este trabajo.

Desarrollo

La incorporación de la gestión ambiental en los procesos productivos y de servicios de las empresas, tiene el propósito de prevenir, reducir y finalmente eliminar los impactos negativos que estos procesos causan al medio ambiente. El cumplimiento de la legislación ambiental vigente, la introducción de la educación ambiental, así como el enfoque de una “Producción Más Limpia” que garantice la aplicación continua de una estrategia preventiva, integrada a los procesos, producciones y servicios, con vistas a incrementar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente son aspectos en los que debe sustentarse la actividad de la empresa.

El sistema de gestión ambiental (SGA) en la empresa:

1. Incorpora la dimensión ambiental en la planificación y administración de la empresa.
2. Identifica los aspectos e impactos ambientales, tanto negativos como positivos de aquellos procesos que los generan.
3. Identifica y selecciona las alternativas de solución a los impactos negativos, para lograr mejores resultados productivos que a su vez hacen que los productos o servicios que brinda la empresa sean más competitivos, con lo cual contribuye de forma efectiva a su desarrollo sostenible.
4. Revisa e implanta medidas para la mejora continua del sistema de gestión ambiental.

La norma ISO 14001 específica los requisitos de dicho SGA. La norma no establece requisitos categóricos para el comportamiento medioambiental más allá de los compromisos exigidos en la política medioambiental (NC ISO 14001, 1998)
Para ser efectivas, necesitan estar incluidas dentro de un sistema de gestión estructurado e integrado con la totalidad de las actividades de gestión (CITMA-ONN, 2000).

La norma ISO 14001 la utilizarán las organizaciones que necesiten:

- Implantar, mantener al día y mejorar un sistema de gestión medioambiental.
- Asegurarse de su conformidad con la política medioambiental declarada.
- Demostrar a terceros tal conformidad.
- Procurar la certificación/registro de su sistema de gestión medioambiental por una organización externa.
- Llevar a cabo una autoevaluación y auto declaración de conformidad con esta norma.

El objetivo final de la norma es apoyar la protección medioambiental y la prevención de la contaminación en equilibrio con las necesidades socioeconómicas.

Para la aplicación e implementación de un buen SGA en una empresa, la misma tiene que tener concebido una serie de etapas o procedimientos (IHOBE, 2000):

1. Definición de la política ambiental de la organización.
2. Evaluación ambiental inicial de la organización.
3. Establecimiento de objetivos y metas ambientales.
4. Formulación de un Programa de Gestión Ambiental o Plan de Acción.
5. Implementación del Programa de Gestión Ambiental o Plan de Acción.
6. Verificación y acciones correctivas.
7. Revisión y mejoramiento del SGA.

En el caso de las empresas azucareras de AZCUBA cuya estructura responde al sistema de Unidades Empresariales Básicas (UEB), se han conformado tres tipos de UEBs (de industria, de derivados y de los productores). Se han iniciado los diagnósticos ambientales en las provincias occidentales buscando crear las condiciones para dar cumplimiento a la implementación del SGA, primero en esta región y luego su extensión al resto de las provincias, teniendo en cuenta las experiencias adquiridas.
Para iniciar la implementación del SGA en la industria azucarera, se propuso el siguiente cronograma de trabajo como se muestra en la **Tabla I**.

Tabla I. Cronograma para iniciar la implementación del SGA en la industria azucarera

ACCIONES	**RESPONSABLE**	**FECHA (MESES)**
1. Obtener el compromiso de la Alta Dirección de la organización.	Alta Dirección de la empresa	Mes 1
2. Designar el coordinador ambiental de la empresa azucarera y de las UEBs.	Alta Dirección de la empresa	Mes 1
3. Capacitación del personal involucrado en la implementación.	Equipo y Alta Dirección	Mes 1-Mes 12
4. Realizar la revisión ambiental inicial (RAI).	Equipo	Mes 2 y 3
5. Definición de la política ambiental.	Alta Dirección y equipo	Mes 3
6. 1 Definir los aspectos ambientales, impactos y definir si son significativos. 6.1.1 Confeccionar un procedimiento para identificar los aspectos ambientales. 6.2 Confección de una biblioteca de requisitos legales y otros requisitos. 6.2.1 Confeccionar un procedimiento para la identificación y acceso a los requisitos legales y otros requisitos.	Equipo Jurídico	Mes 3 y 4 Mes1-Mes 3

6.3 Definición de los objetivos y metas (registrar en el programa medioambiental). 6.4 Confección del programa medioambiental (entradas del programa: acciones, objetivos, metas, responsable, fecha de ejecución, posibles ahorros, recursos necesarios).	Equipo Equipo	Mes 4 Mes 4-Mes 5
7.1 Confeccionar un procedimiento para la comunicación interna y externa 7.2 Confeccionar un manual del SGA 7.2.1 Confección de un procedimiento para el control de la documentación (procedimientos y registros). 7.3 Confeccionar procedimientos para el control operacional (incluir el mantenimiento). Definir previamente operaciones a controlar. 7.4 Confeccionar procedimientos para responder ante accidentes y situaciones de emergencia.	Especialistas Equipo Especialistas Especialista Salud y Seguridad del Trabajo	Mes 1-Mes 2 Mes 1-Mes 7 Mes 2-Mes 4 Mes 2-Mes 4
8.1 Confeccionar procedimientos para la medición y monitoreo de las operaciones y actividades 8.1.1 Confección del plan de calibración y verificación del equipamiento. 8.1.2 Confeccionar un procedimiento para la evaluación del cumplimiento de la legislación ambiental. 8.2 Confeccionar un procedimiento para definir la responsabilidad, la autoridad para controlar e investigar las no conformidades y tomar las acciones correctoras y preventivas. Confeccionar registro. 8.3 Confeccionar un programa de auditoría del SGA. 8.3.2 Confeccionar un procedimiento de auditoría.	Especialistas Especialistas Jurídico Alta Dirección, Documentado Auditor interno	Mes 3-Mes 4 Mes 5-Mes 6
9. Confección del plan de revisión por la alta Dirección. Realizar la reunión de revisión de la Alta Dirección.	Alta Dirección y Coordinador ambiental	Mes 2 Mes 12
10. Implantación y funcionamiento.	Equipo	Mes 7-Mes 12
11. Reiniciar el ciclo de trabajo, haciendo una revisión de todo el SGA teniendo en cuenta el principio de mejora continua.	Alta dirección y equipo	Mes 13 – 24
12. Proceso de acreditación.	Alta dirección y equipo	¿?

Conseguir el compromiso de la Alta Dirección es fundamental para asegurar el éxito del SGA. El rigor, y según lo demuestra ampliamente la práctica, dicho éxito depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización, pero especialmente de la más Alta Dirección. Se deberá contar con el compromiso de la empresa azucarera y el de las UEBs por separado. Se conoce que los beneficios potenciales de una gestión ambiental efectiva de la organización pueden ayudarla a incrementar sus ventas, a reducir los costos y a obtener ventajas competitivas.

El coordinador ambiental, de preferencia, estará subordinado directamente al director general. Se deberá designar el resto del grupo de trabajo (jurídico, económico, jefe producción, jefe capital humano, documentador, especialista de Seguridad del Trabajo y especialistas, etc.) y además registrar las responsabilidades del coordinador ambiental y del resto del equipo de manera que se cumplan las actividades programadas para la implementación. El coordinador deberá contar con conocimientos y experiencia en gestión ambiental, de salud y seguridad y de calidad (en ese orden). En caso de que la persona designada no sea competente, se deberán realizar acciones de capacitación al personal seleccionado con vistas a poder acometer efizcamente el proceso de implementación. En este sentido se realizó la capacitación de los coordinadores ambientales designados en una de las provincias seleccionadas para iniciar la implementación del SGA.
Es recomendable establecer contactos con los expertos pertinentes de la Oficina Nacional de Normalización, del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y del Comité Técnico de Normalización de Gestión Ambiental a los efectos de intercambiar las experiencias y, eventualmente, según se dispone en la Estrategia para la implementación de las normas NC ISO 14001 aclarar los procedimientos a utilizar y los aspectos de contenido que sean necesarios en las normas cubanas NC ISO 14001, NC ISO 14004 y otros documentos.

Se deberá confeccionar un plan de capacitación al equipo de trabajo que incluye a la Alta Dirección, los trabajadores; previa detección de las necesidades de capacitación y además de la confección de procedimientos para la concientización de la implementación del SGA.

La RAI (Metodología, 2012) según la NC-ISO 14004 abarcará los siguientes aspectos:

- Identificación de los requisitos legislativos y regulatorios aplicables.
- Identificación de los aspectos ambientales de sus actividades, productos o servicios para determinar cuales tienen o pueden tener, impactos ambientales significativos y responsabilidades.
- Evaluación del desempeño comparado con los criterios internos pertinentes, normas externas, reglamentaciones, códigos de prácticas y conjunto de principios y directrices.
- Consideración y prácticas de gestión ambiental existentes.
- Identificación de políticas y compras y actividades contratadas.
- Retroalimentación a partir de la investigación, de incidentes previos de no conformidad.
- Oportunidades de ventajas competitivas.
- Punto de vista de las partes interesadas.
- Funciones o actividades de otros sistemas organizativos que puedan facilitar o dificultar el desempeño ambiental.

Esta fase tiene como objetivo conocer los impactos ambientales de las empresas azucareras y de las UEBs, información que resulta básica para el posterior establecimiento y fundamentación de la política ambiental, documento que desempeñara el papel más importante en todo el proceso de implementación de la NC ISO 14001. Se trata de que la organización establezca la línea base o situación de partida, o sea, desde donde comenzar. A partir de esta línea base la organización puede desarrollar su SGA. Este sistema constituye un conjunto integral de prácticas, procedimientos para asegurar el cumplimiento de los requisitos legales y la política de la organización de una forma efectiva y consistente.
En la RAI o diagnóstico de las primeras empresas azucareras evaluadas, los principales los problemas ambientales que ocasionan impactos al medio ambiente fueron:
I. Tuberías en mal estado que requieren de aislantes para aumentar la eficiencia energética ya que es una manera de ayudar a mejorar las condiciones ambientales (**Figura 1**).
II. Salideros permanentes de agua por pilas, grifos o llaves sin zapatillas y tuberías con problemas (**Figura 2**).

III. Problemas de no utilización de los medios de protección en algunos lugares como la manipulación de la cal (**Figura 3**).
IV. Casa de bagazo desprotegidas con el riesgo de diseminar partículas de bagacillo al aire (**Figura4**).
V. Vertidos: las trampas de grasas y sólidos no funcionan correctamente por lo que el agua residual integral llega a las lagunas de oxidación con una alta concentración de sólidos y grasas en forma de bagacillo, de cachaza y grasas del equipamiento (**Figura 5**).

Figura 1. Tuberías en mal estado

Figura 2. Zanjas de salideros de aguas

Figura 3. Área de manipulación de cal

Figura 4. Bagacillo emitido al ambiente

Figura 5. Zanja con altos contenidos de grasas y sólidos.

La política medioambiental consiste en la declaración de las intenciones y principios de la organización en relación con su comportamiento medioambiental general, de manera que proporcione un marco para el establecimiento de sus objetivos y metas y para su funcionamiento.
La Alta Dirección debe definir la política medioambiental de la organización y asegurar que la misma:

- Es apropiada a la naturaleza, magnitud e impactos medioambientales de sus actividades, productos/servicios.
- Incluye un compromiso de mejora continua y de prevención de la contaminación.
- Incluye un compromiso de cumplir con la legislación y reglamentación medioambiental aplicable, y con otros requisitos que la organización suscriba.
- Proporciona el marco para establecer y revisar los objetivos y metas medioambientales.
- Está documentada, implantada, mantenida al día y se comunica a todos los empleados.
- Está a disposición del público".

Las empresas azucareras establecerán procedimientos para identificar los aspectos medio ambientales de sus actividades que pueda controlar y sobre los que se puede esperar que tenga influencia, para determinar aquellos que tienen o pueden tener impactos positivos sobre el medio ambiente. También asegurará que se consideren los aspectos relacionados con tales impactos significativos para fijar sus objetivos ambientales. Se debe tener en cuenta que los aspectos ambientales son las causas y los impactos ambientales son los efectos.

Algunos de los aspectos ambientales detectados en las primeras empresas azucareras evaluadas son los que se muestran en la **Tabla II**.

Tabla II. Resumen de los aspectos ambientales identificados

No.	**Aspectos Ambientales**	**Expresiones**
1	Emisiones a la atmósfera	Gases de la industria por la combustión del fuel-oil, bagazo y la leña, y de los vehículos automotores y ferroviarios.
2	Ruido	De equipos tecnológicos y auxiliares de la industria y vehículos.
3	Emisiones a las aguas	Residuos de productos de limpieza, grasas y aceites, hidrocarburos, vertimiento de aguas residuales de la industria a los cuerpos receptores y de la actividad agrícola.
4	Generación de residuos sólidos	Residuos de materias primas y materiales (bagazo, cachazas, cenizas, residuos de cosecha, materiales de oficinas, escorias del proceso de maquinado de metales) residuos sanitarios y de la poda del césped y árboles; etc.
6	Consumo de recursos naturales	Agua, combustibles fósiles y materias primas, energía eléctrica.
7	Fugas Energéticas	Salideros en válvulas, tuberías y conexiones, falta de aislante en tuberías y recipientes, etc.

La organización debe establecer y mantener documentados los objetivos y metas medioambientales, para cada una de las funciones y niveles relevantes dentro de la organización. Cuando se establezcan y revisen estos objetivos, la organización debe considerar los requisitos legales y de otro tipo, sus aspectos medioambientales significativos, sus opciones tecnológicas y requisitos financieros, operacionales y de negocio, así como la opinión de las partes interesadas. Los objetivos y metas deben ser consecuentes con la política medioambiental, incluido el compromiso de prevención de la contaminación".

El objetivo medio ambiental es el fin medioambiental de carácter general, que tiene su origen en la política medioambiental que una organización se marca a sí misma, y que está cuantificado siempre que sea posible. La meta medio ambiental es el requisito detallado de actuación, cuantificado cuando sea posible, aplicable a la organización o a parte de la misma, que proviene de los objetivos medioambientales y que debe establecerse y cumplirse para alcanzar dichos objetivos.

Los objetivos y metas deben:

1. Ser adecuados para conseguir el fin que persigue la organización y asegurar el cumplimiento de los compromisos.
2. Ser realistas y alcanzables.
3. Ser coherentes. No deben existir objetivos contrapuestos.
4. Ser claros en su definición.
5. Contener o deben ir unidos a un periodo de tiempo o fecha para su consecución.

6.- Ser medibles para poder verificar la extensión con la que se han alcanzado → Indicadores medioambientales.

La organización debe establecer y mantener al día un programa o programas para lograr sus objetivos y metas. Debe incluir:

a) Asignación de responsabilidades para lograr los objetivos y metas en cada función y nivel relevante de la organización.

b) Los medios y el calendario en el tiempo en que han de ser alcanzados

Si un proyecto se relaciona con nuevos desarrollos y actividades, productos o servicios nuevos o modificados, el programa (o programas) debe modificarse donde sea necesario, para asegurarse de que la gestión medioambiental se aplica a tales proyectos.

En el programa o plan de acción de la gestión ambiental se tendrá en cuenta lo siguientes aspectos:

- La asignación de responsabilidades para lograr los objetivos y metas medioambientales
- Establecer los medio y el calendario temporal.
- Flexibilidad para la adaptación a nuevos proyectos (por ejemplo la implementación de proyectos de Producción Más Limpias, proyectos que se pueden integrar al SGA.

Tabla III. Ejemplo de programa tabulado

Objetivo	Meta	Indicador	Acción	Responsable	Calendario
Disminución del consumo de agua	Reducción del consumo en un 15%	Consumo de agua por unidad de producción	Instalación de un equipo de reciclaje del agua de aclarado del proceso A para su uso en el proceso B	Sr. López: Jefe de Producción	Instalación en un plazo de 9 meses
Objetivo 2	Meta 2	Indicador 2	Acción 2	Responsable 2	Calendario 2
Objetivo n	Meta n	Indicador n	Acción n	Responsable n	Calendario n

A continuación se muestra un ejemplo de Programa:
La implementación del programa de gestión ambiental tendrá en cuenta las siguientes acciones:

- Definir, documentar e informar las responsabilidades a todos los niveles.
- Realizar la búsqueda de los recursos necesarios y el control efectivo de la marcha.
- Implementar un programa de capacitación.
- Realizar la comunicación a las partes interesadas externas.
- Establecer la documentación del SGA.

Para la confección del manual del SGA se tendrá en cuenta las siguientes entradas:

-Introducción de la organización

-Política ambiental

-Organigrama de responsabilidades

-Interrelación con otros sistemas enfocados a los requisitos de la norma

-Condiciones normales y anormales del funcionamiento, los incidentes, accidentes y posibles situaciones de emergencia.

Puede incluir además:

-Información de los procesos

-Diagramas organizativos

-Normas internas y procedimientos operacionales

-Planes de emergencias

Las auditorias son parte esencial de cualquier sistema de gestión, pues posibilitan el mejoramiento continuo del desempeño de la organización. En el caso de los SGA, su objetivo general es evaluar la idoneidad y los resultados del sistema o de una parte de él, es decir, permiten revisar la conveniencia de la política trazada por la organización, actualizan la evaluación de los impactos ambientales negativos y comprueban la eficacia de las auditorias y las acciones derivadas de ellas. Esto implica la formación de auditores internos a partir de la capacitación del personal adecuado con vistas a la realización de auditorias en las empresas azucareras y en las UEBs.
El plan de revisión por la alta Dirección tendrá las siguientes entradas: revisión de la política, objetivos, requisitos del SGA, grado de implantación del SGA, resultados de la auditoría, adecuación del sistema a las características de la organización, las circunstancias cambiantes y el compromiso de mejora continua. Confección de registro. Control periódico de la idoneidad del personal involucrado.

Conclusiones

- Se definió una metodología para la implementación del SGA en la industria azucarera.
- Se cuenta con un grupo de coordinadores ambientales y de directivos capacitados de una provincia para la implementación del SGA.

Recomendaciones

- Garantizar el compromiso de la Alta Dirección de las empresas azucareras y de las UEBs para implementar el SGA.
- Es necesario diseñar una política ambiental acorde a los impactos generados en cada una de las empresas y las UEBs que sea de conocimiento de los obreros, directivos, la comunidad y otras partes interesadas.

- Confeccionar la documentación necesaria para llevar a cabo la implementación del SGA teniendo en cuenta las experiencias de otros sectores que hayan desarrollado este tipo de gestión y los requisitos de la norma NC ISO 14001.
- Se hace necesario establecer una relación de trabajo estrecha entre la empresa azucarera y las UEBs a fin de garantizar la implementación del SGA teniendo en cuenta que el alcance de este sistema es en toda la organización y la extensión de algunas de las empresas azucareras seleccionadas.

Referencias

- CITMA (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente). 2007. Estrategia Ambiental Provincial Sancti Spíritus 2007/2010. Unidad de medio ambiente Sancti Spíritus, Cuba.
- CITMA-ONN. 2000. Guía para la implementación de la NC-ISO14001. La Habana.
- Gaceta Oficial. Ley 81/1997. Del medio ambiente. Vig. Julio 1997.
- Gaceta Oficial. Ley 85/1998. Ley Forestal. Vig. Agosto 1998.
- IHOBE, S A. 2000. Manual IHOBE ISO 14001: Operativa de implementación. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. País Vasco. España.
- Metodología para la ejecución de los diagnósticos ambientales para la obtención reconocimiento ambiental nacional (RAN) Enero 2012.
- MINAZ. 2007. Estrategia ambiental nacional para el Ministerio del Azúcar. 2007/2015.
- NC ISO 14001:1998 Sistema de gestión ambiental. Especificaciones y directrices.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LAS VINAZAS DE DESTILERÍA. EXPERIENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES

ALTERNATIVES FOR TREATMENT OF THE DESTILLERY VINASSE. NATIONAL AND INTERNATIONAL EXPERIENCES

Juana M. Chanfón Curbelo[1], Yaniris Lorenzo Acosta[1]

[1]Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la caña de Azúcar. ICIDCA
juana.chanfon@icidca.edu.cu
yaniris.lorenzo@icidca.edu.cu

RESUMEN

Los impactos ambientales de la industria azucarera provocan una incidencia directa en la población, ya sea por la emisión de partículas, gases contaminantes y residuales sólidos o líquidos que dificultan el saneamiento ambiental de los asentamientos. Esto es provocado principalmente por el atraso tecnológico de la industria y la escasa educación ambiental de los colectivos laborales y de la población en general. Por lo anterior se hace inevitable prestar un gran interés al impacto ambiental que los residuales provocan desde la fase agrícola hasta la fase industrial del proceso.La agroindustria azucarera tiene la particularidad que al diversificarse para la obtención de energía y derivados produce residuos secundarios, siendo las vinazas de destilería el de mayor impacto. Sin embargo su gestión eficiente puede producir beneficios como es el caso de la producción de biogás o la producción de levadura forrajera Torula, donde se propone que los efluentes de estas producciones sean utilizados para el fertirriego como opción de "cierre de ciclo" evitando así la contaminación del medio ambiente.Hemos querido ejemplificar cómo el hombre puede manejar los residuos industriales para disminuir los impactos negativos sobre el medio ambiente y aprovechar su composición a favor del ecosistema.

Palabras clave: Vinazas, Fertirriego, Torula.

ABSTRACT

The environmental impacts of the sugar industry cause a direct incidence in the population, either for the emission of particles, polluting gases and liquids or solids residues that hinder the environmental reparation of the establishments due to the technological backwardness of the industry and the scarce of environmental education at the labor communities and general population. Do to the former information is necessary to take into account a great interest in decrease the environmental impact since the agricultural stage until the industrial one. The diversified sugar cane industry together with its own develop a group of news residues are going to appear being the vinasses the ones that produces the higher environmental impact. However the efficient management of this residues can produce a very high benefits if we decided to produce Biogas or Fodder Yeast where the finals effluents streams can be use as irrigation water like a cycle closing option avoiding in this way the environmental pollution .With this work we wanted to show how the man can handle the industrial waste in order to diminishes the environmental impact in the most friendly way.

Key words: vinasse, Fertirriego, torula yeast

INTRODUCCIÓN

La dimensión ambiental debe analizarse en un sentido amplio, tanto en sus aspectos naturales (flora, fauna) como desde el punto de vista de la posible contaminación (aire, agua y suelo), y sus efectos e implicación sobre la salud humana y ambiental.
El tratamiento de aguas residuales es un área de trascendental importancia para la conservación del medio ambiente. De hecho la gestión eficiente de las aguas residuales y efluentes industriales líquidos se han convertido en uno de los principales problemas de contaminación a resolver a nivel internacional.
En los últimos años el incremento del conocimiento en esta área ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos para un mejor tratamiento de los efluentes líquidos.
La agroindustria azucarera y de derivados produce residuos secundarios y efluentes, a los que hay que darle tratamiento ó un adecuado uso para evitar la contaminación del medio ambiente.
Las vinazas de destilerías son los efluentes líquidos más contaminantes de este sector, por su gran volumen de generación, alta carga orgánica, color oscuro, lo que hace muy difícil su degradación. De ahí la necesidad de un adecuado tratamiento y disposición final.
Entre las acciones, tomadas por el grupo empresarial AZCUBA para disminuir el impacto ambiental de los residuales de la industria azucarera están: Medidas industriales internas para disminuir y prevenir estos efluentes, la reutilización del agua, el incremento de la superficie boscosa, la conservación de la diversidad biológica y el aumento de la efectividad de los pronósticos climáticos.
En el presente trabajo se realiza el análisis de datos, a partir de la revisión de fuentes bibliográficas nacionales e internacionales, con el objetivo de realizar el estudio crítico del impacto ambiental como un elemento de especial importancia en la gestión del medioambiente para analizar la utilización de los subproductos que genera el proceso de la industria azucarera, en especial las vinazas.

Vinazas y su impacto ambiental

Las vinazas de destilería son los efluentes líquidos que se derivan de la fermentación alcohólica de las mieles de caña de azúcar. Constituye un serio problema medio ambiental por el gran volumen en que son generadas (de 15 a 18 veces mayor que el alcohol producido), por su alta carga orgánica (valores de DQO de hasta 100 000 mgL^{-1} y por el color marrón oscuro que las caracteriza por Satyawali y Balakrishnan (2008). El color se debe a la presencia de varios compuestos como melanoidinas, fenoles (ácido tánico y húmico), caramelos y derivados furánicos, por Kort (1979).
Las melanoidinas pueden llegar a constituir el 2% de las vinazas. Se forman por la reacción del grupo carbonilo de los azúcares y el amino de los aminoácidos y proteínas, conocida como reacción de Maillard. Son polímeros de estructura compleja, tóxicos para muchos organismos y resistentes a la degradación. Se plantea que su composición química y características espectroscópicas son similares a la del ácido húmico, por lo que han sido llamadas el ´humus acuoso.
En dependencia de los sustratos utilizados para la producción de alcohol va a variar las concentraciones de los diferentes componentes de las vinazas generadas (Tabla I).
En la tabla II se muestran diferentes parámetros de interés ambiental de la producción de azúcar, alcohol y levadura para la alimentación animal. Se aprecia la capacidad de remoción que tiene la producción de Biomasa forrajera sobre la carga orgánica de las vinazas de destilería (Residual alcoholero).

Tabla I. Composición media de los residuales de alcohol a partir de diferentes sustratos; CENGMA, informe interno (2005)

Determinación		**Vinaza Mieles**	**Vinaza Jugos**
DQO	g/l	71,20	35,06
DBO	g/l	30,00	18,00
pH		4,47	3,78
ST	g/l	52,67	24,86
STF	g/l	12,61	4,20
STV	g/l	40,06	20,66
Sulfatos	g/l	2,9	1,56
Nitrógeno	g/l	0,21	0,38
Potasio	g/l	2.5-4.3	0,13-1,5
Fósforo	g/l	0.21	0,27
Calcio	g/l	0,55	0,59
STV/ST		0,75	0,83
Volumen m^3 / ton		1,2	1,2

Tabla II. Composición de diferentes corrientes de la Industria Azucarera y derivados; por Martínez (2006).

Parámetros	Azúcar	Alcohol	Levadura
DQO (mg/l)	5000	60000	10000
Temperatura (^oC)	38	77	35
pH	6.1	4.0	5.0
S Totales (mg/l)	4360	35400	9224
S Disueltos (mg/l)	3750	57040	2396
S Fijos (mg/l)	1120	14370	2416
S Volátiles (mg/l)	3550	47090	6808
S Sedimentable (mg/l)	28	442	42
Nitrógeno (mg/l)	50	900	105
Fósforo (mg/l)	75	320	130
Índice (m^3/-)	0.5-/ton	1.6-/hl	80-/ton

La gestión no eficiente de las vinazas trae una serie de consecuencias negativas entre las que se encuentran: Las emisiones de CH_4, H_2S, CO_2, y de compuestos volátiles provenientes de procesos de tratamiento, la contaminación de los suelos y/o subsuelo. Por otro lado la calidad de los cuerpos receptos puede verse afectada en actividades específicas de importancia económica como el cultivo de peces y mariscos. Con respecto a la Flora y Fauna pueden existir también alteraciones, en el primero de los casos con el deterioro de la calidad de las especies vegetales circundantes en el área y en el segundo con la reproducción y alimentación de vectores en los sitios de deposición no controlada. Otras afectaciones están relacionadas con el medio socioeconómico e urbanístico con alteraciones en la infraestructura y los servicios, el paisaje, la población, la destrucción accidental de los recursos culturales (sitios arqueológicos u otros) y las molestias e impactos estéticos adversos, percibidos o reales, en las cercanías de las instalaciones de generación.

Manejo integral de las vinazas.

En la figura 1 se muestra las alternativas para la utilización de las vinazas sometidas a un pre tratamiento. Las mismas pueden ser utilizadas en la producción de levadura torula como alimento animal, en la producción de biogás como fuente de energía y así minimizar los costos. Otra alternativa de tratamiento de la vinaza es su concentración lo que permite su uso como alimento animal o enmienda orgánica. La producción de compost es uno de los tratamientos utilizados como portador de nutrientes y agua, en la descomposición aeróbica de otros residuos sólidos. En la figura 1 se puede apreciar como cada una de las alternativas puede "cerrar el ciclo" con la utilización de todos los subproductos como enmienda orgánica, lo que permite obtener "0 residuos". CENGMA, informe interno (2005)

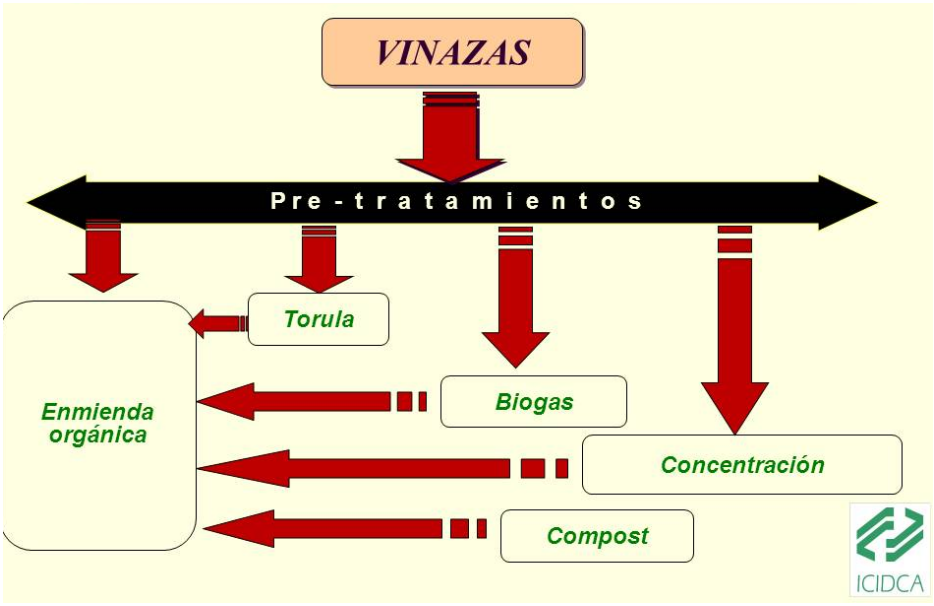


Figura 1. Alternativas para el manejo y utilización de las vinazas.

En Cuba la agroindustria azucarera tiene como principio de cierre de ciclo reutilizar todos sus efluentes líquidos y sólidos para generar un producto de valor económico y de bajo impacto ambiental. Las vinazas de destilería tienen como propuestas de solución: la producción de biogás y la producción de levadura torula. Sus efluentes se disponen en los campos de caña como opción final de tratamiento, solución que contribuye a no utilizar fertilizantes químicos ni agua de riego (Figura 2).

Figura 2. Alternativas para el manejo y utilización de los efluentes de la agroindustria azucarera cubana.

Producción de Biogás

El biogás es una mezcla de gases compuesta por CH_4, H_2S, CO_2 que se obtiene de la digestión anaerobia de la materia orgánica por parte de una microbiota diversa en estas condiciones.
El tratamiento anaeróbico de las vinazas con la obtención de biogás, lodo fertilizante y agua tratada reduce el 70% de la carga orgánica del residual. En este proceso se obtiene aproximadamente 20m^3 de biogás/m^3 de vinaza tratada. La inversión de la planta está entre 3700-3800 USD/m^3 de vinaza.
La composición de biogás comprende: metano: 54 – 70 %; dióxido de carbono: 27 – 45 %; hidrógeno: 1 - 10 %; nitrógeno: 0,5 – 3 % y ácido sulfhídrico: 0,1 %.
El consumo de los diferentes compuestos utilizados en la producción de Biogás se muestra en la siguiente tabla.

Tabla III. Índices de consumo en la producción de biogás.

ÍNDICES DE CONSUMO		
Vinazas	92,59	(m^3/t)
H_2SO_4 (98%):	50,00	(kg/t)
NH_4SO_4	350,00	(kg/t)
$(NH_4)_2HPO_4$	110,00	(kg/t)
Nutriente lev.	4,00	(kg/t)
Antiespumante :	15,00	(kg/t)

Producción de Levadura a partir de vinazas de destilería

La tecnología para la obtención de levadura forrajera permite reducir la carga orgánica de las vinazas hasta un 70 % de remoción.
La levadura es un producto de alto valor nutricional muy utilizado en la alimentación animal y en diferentes campos dentro de la industria farmacéutica y química. Tabla IV

Tabla IV. Porcentage de los componentes de la levadura obtenida de la melaza, vinaza de melaza y vinaza de jugo de caña.

% Componentes	**Levadura de melaza**	**Levadura de vinaza (melaza)**	**Levadura de vinaza (jugo de caña)**
Proteína bruta (N* 6.25)	47.0	45.0	46.0
Fósforo (P_2O_5)	3.5-4.0	3.0-3.3	3.0-3.3
Cenizas	6-8	8-11	5-8
Fibra bruta	0.57	0.63	0.70
	Aminoácidos		
Isoleucina	2.00	1.95	1.87
Leucina	4.06	3.90	3.87
Lisinaa	4.05	4.07	4.00
Metionina+ cistina	0.99	1.08	0.95
Treonina	2.13	2.19	2.21
Triptófano	1.12	1.07	ND
Valina	2.17	2.29	2.15

La inversión de una planta de torula donde se utilice 800 m3/d de vinaza es de 1.5 millones USD/m^3 de vinaza.

Fertirriego

El fertirriego es un proceso mediante el cual los efluentes a regar son los suministradores de nutrientes por lo que en muchos casos no es necesario una suplementación química para satisfacer las necesidades de N, P; K de los suelos y cultivos. Ello es posible por la frecuencia del riego que está en dependencia de las características del efluente que se utilice para este fin.
La aplicación (frecuencia y dosis) depende de las características de los suelos. Se utiliza sin diluir (50-100 m^3/ha.año), diluida (1:7 ó 1:10; 4000–5000 m3/ha.año).

Entre las ventajas de este proceso están:

- Incrementos en la producción de caña.
- Mejora en las condiciones físicas del suelo.
- Incremento de las cantidades regulares de N, P, K, así como de S y Fe.
- Mejora de las propiedades químicas de los suelos de media y baja fertilidad.
- Incrementos de tenores de micro-nutrientes en el suelo.

Las aguas residuales deben de cumplir una serie de parámetros para su utilización en los suelos como son la baja conductividad, baja concentración de sales y un pH cercano a neutro Tabla V.
Para evaluar los análisis de suelo y determinar la influencia de los residuales sobre ellos, pueden utilizarse los siguientes criterios:

Valores de pH

En aguas más adecuadas para el cultivo de la caña están comprendidos entre 6 y 7.

La influencia beneficiosa o perjudicial del residual dependerá del valor de pH inicial que tenga. Todo residual que disminuya el pH a valores menores que 6 ó lo aumente sobre 7, se considerará como perjudicial. Todo residual que aumente el pH a 6 ó lo disminuya hasta 7 se considerará con efecto beneficioso.

Acidez hidrolítica.

Los aumentos de la acidez hidrolítica siempre se considerarán perjudiciales y las disminuciones se estimarán como beneficiosas.

Sales solubles totales.

El aumento de las sales solubles totales por el efecto de los riegos o residuales siempre se valoran como preocupante y se hará el siguiente análisis:

En todos los casos se consideran efectos desfavorables si las sales solubles totales (SST) adquieren valores superiores a 1500 ppm.

Cuando los aumentos de las SST sean inferiores a 1500 ppm se considerarán beneficiosas si se deben a los aumentos de Ca, Mg y K y se evaluarán como perjudiciales cuando hayan sido provocadas por los aumentos de Na, HCO_3 y cloruros.

Potasio

El aumento de los contenidos de K se evaluará como beneficioso, pero en los casos en que se utilicen residuales de la producción de alcohol o levadura torula, los aumentos que se obtengan pueden ser excesivos y perjudiciales para el cultivo, especialmente en suelos con bajos contenidos de Ca y Mg.

Tabla V. Criterios de evaluación de las aguas residuales para su uso en el fertirriego

Criterio	Conductividad eléctrica(CE) mmhos/cm	Sales Solubles Totales (SST) ppm	Relación de Abs. de Sodio (RAS	pH
Bueno	< 1.50	<960	<4	6-7
Regular	1.50-1.80	960-1150	4.7	5-6 7.7-8
Malo	1.80-2.40	1150-1530	7-10	4.5 7.8-8.4
No se debe utilizar	>2.4	>1530	>10	<4 >8.4

Richards (1954); López Ritas (1967); Jackson (1970); Pizarro F.(1985); Israelsen D.W(1969,); Richards(1954).

CONCLUSIONES

1. Las vinazas provocan impactos negativos sobre el medio ambiente principalmente en el aire, la población, la calidad del agua, la flora y fauna de los cuerpos receptores; sin embargo, produce beneficios sobre el suelo, los rendimientos agrícolas cañeros y el uso del agua, si se hace una adecuada utilización de las mismas.
2. El hombre puede manejar los residuos industriales supuestamente agresivos para disminuir los impactos negativos sobre el Medio Ambiente y aprovechar su composición a favor del Ecosistema.

REFERENCIAS

1. Gómez, CA. (1988), Primera Jornada Internacional sobre Energía y Ambiente Córdoba, Argentina Fuente CETESB (BR).
2. Obaya, M. C; Valdés, E. (1988), Valor Biofertilizante de los residuales de las destilerías de alcohol. Sobre los Derivados. XXII, (2).
3. Israelsen DW. (1969), Principios de Aplicaciones del Riego, (Israelsen D.W, Hansen V. Eds). La Habana. Ediciones Revolucionarias.
4. Jackson M L. (1970), Análisis Químico del Suelo (Jackson M. L ed.) - La Habana: Ediciones Revolucionarias.
5. Kort, M.J (1979), Colour in the sugar industry: (Birch, G.G ; Paker K.J eds.). Sugar: Science and Technology. Applied Science London, pp, 97-130.
6. López, R. J (1967), El Diagnóstico de Suelos y Plantas (López, R J. ed.). Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
7. Martínez, J.A; Otero M.A.(2006),Workshop for Soil and water remediation PNUD. Guanajuato Mexico.
8. Pizarro, F. (1985) Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos (Pizarro, F. ed.). Madrid: Ed. Agrícola España. .
9. Richards, L.A, (1954), Diagnosis and improvement of saline and alkaline soil. Agriculture Hand Book, Washington, pp,60.
10. Satayanali, Y; Balakrishnan, M (2008), *J. Environ. Management* 86, 481-497.

SOLUCION INTEGRAL MEDIOAMBIENTAL PARA UN COMPLEJO AGROINDUSTRIAL DE DERIVADOS DELA CAÑA DE AZÚCAR

ENVIRONMENTAL COMPREHENSIVE SOLUTION AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX FOR DERIVATIVES DELA CANE

Fidel Doménech López*, Yaniris Lorenzo Acosta,

*ICIDCA, Vía Blanca 807 esq. a Carretera Central, P.O. Box 4026, C. Habana, Cuba;
e-mail: fidel.domenech@icidca.edu.cu

RESUMEN

En el presente trabajo, se estudia un esquema tecnológico integrado por: planta procesadora de caña - fábrica de etanol - planta de levadura forrajera – planta para la producción de compost, producción de alimento animal, propiciado por la fabricación de piensos con base proteica (Torula) y se propone la concepción general de la solución integral de los residuales del complejo agroindustrial, la cual responde a conceptos del diseño que garantizan la disminución del impacto ambiental y la consecuente producción y consumo sostenible. El complejo agroindustrial genera una diversidad de corrientes residuales sólidas, líquidas y gaseosas, que son precisadas en cantidad y composición, para definir la solución integral de las mismas. Se demuestra que se cierra el ciclo de los efluentes líquidos y gaseosos y co-productos sólidos que se generan. Además, se cumplen con las regulaciones ambientales establecidas.

Palabras claves: Emisiones, Contaminantes, Industria Azucarera

ABSTRACT

In this work, we study a scheme composed technology: sugar cane processing plant - ethanol distillery - fodder yeast plant – compost production, animal feed production, driven by the manufacture of protein-based feed (Torula) and proposes the general concept of the residual solution of the agroindustrial complex, which responds to design concepts that guarantee the reduction of environmental impact and the consequent production and sustainable consumption. The agro-industrial complex generates a variety of solid waste streams, liquid and gas, which are specified in quantity and composition, to define the solution of the same. We show that closes the cycle of liquid and gaseous effluents and solid co-products that are generated. In addition, compliance with environmental regulations established.

Key words: Emissions, Pollutants, Sugar Industry

I. INTRODUCCIÓN

Entre los retos actuales de la humanidad se encuentran los problemas relacionados con la producción de alimentos y la protección del medio ambiente. El desarrollo económico en los últimos años y el uso indiscriminado e ineficaz de los recursos naturales, ha causado un acelerado deterioro de los ecosistemas. El efecto invernadero es un resultado de este desarrollo.

La creciente preocupación por desarrollar una adecuada gestión medioambiental, ha tenido gran influencia en el diseño y operación de plantas industriales, específicamente en la reducción o eliminación de las emisiones contaminantes con el cierre de ciclos, uso eficiente de materias primas, de energía, del agua, entre otros. En la actualidad los Mecanismos de Producción más limpia tienen gran importancia.

Internacionalmente, se realizan incesantes esfuerzos para mejorar los diseños de plantas industriales, en función de la protección del ambiente, explotación racional de recursos naturales, la eficiencia del proceso productivo, la eficiencia energética y la seguridad y protección de salud.

Históricamente, la industria azucarera ha tenido una imagen negativa desde el punto de vista ambiental. Son conocidas las afectaciones que provocan por ejemplo: los residuales líquidos de las fábricas de azúcar y destilerías de etanol (vinaza) cuando no existe un adecuado manejo de los mismos, provocando emisiones gaseosas producto de la digestión anaerobia espontánea y la contaminación del manto freático. A pesar de estos inconvenientes, la industria azucarera y sus derivados puede lograr esquemas tecnológicos eficientes, donde se cierre el ciclo de los efluentes líquidos, gaseosos y co-productos sólidos generados, cumpliendo con las regulaciones ambientales establecidas. y generación de ingresos.

El objetivo del presente trabajo es .realizar análisis de soluciones integrales de los efluentes líquidos y gaseosos y co-productos sólidos generados por la producción de azúcar y sus derivados, que permita el cierre de ciclo, la sostenibilidad de esta industria y su compatibilidad con el medio Ambiente. Figura 1.

Figura 1. Ciclo cerrado de la Agroindustria Azucarera

II. CONSIDERACIONES SOBRE LA ESTRATEGIA MEDIO AMBIENTAL DE UN PROYECTO

Para lograr el desarrollo sustentable de una industria se deben definir objetivos, metas económicas, sociales y medioambientales.

2.1 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO.

- Desarrollar una producción estratégica de combustibles renovables y compatibles con el medio ambiente (Etanol combustible y energía eléctrica).
- Promover la creación de nuevas fuentes de alimentos.
- Potenciar el desarrollo de los recursos humanos.
- Aprovechar integralmente los co-productos y residuales del Complejo Agroindustrial de Derivados de la Caña de Azúcar, logrando la sostenibilidad de esta industria y su compatibilidad con el medio Ambiente.

2.2 UNIDADES QUE CONFORMA EL COMPLEJO.

Es este caso de estudio se definen como unidades productivas:

1- Unidad: Procesadora de Caña
- 1.1- Área Recepción y Preparación de Caña
- 1.2- Área Planta Moledora.
- 1.3- Área Purificación
- 1.4- Área Concentración del jugo.
- 1.5- Área Planta producción de Miel Invertida (HTM)

2- Unidad: Destilería
- 2.1- Área Fermentación
- 2.2- Área Destilación.
- 2.3- Área Deshidratación

3- Primer tratamiento biológico de la vinaza: Unidad: Planta Levadura forrajera (Torula) o digestión anaerobia con producción y aprovechamiento del biogás en la generación de electricidad.

4- Unidad: Planta de pienso animal.

5- Unidad: Compost

6- Servicios auxiliares.
- 6 a Planta de generación de vapor.
- 6 b Planta eléctrica.
- 6 c Sistema de suministro de agua, planta de tratamiento de agua y protección contra incendios.
- 6 d Taller y bases de operaciones.
- 6 e Laboratorios.
- 6 f Cocina – Comedor – Cafetería.
- 6 g Servicios sanitarios.

2.3 ACCIONES ENCAMINADAS A UN ADECUADO DESEMPEÑO AMBIENTAL DEL PROGRAMA.

- Cumplir con las exigencias de la Ley de Ambiente, del Sistema de Gestión Ambiental implementado, así como de todas las normas y regulaciones establecidas en el país.

- Realizar estudios de impacto ambiental por entidades acreditadas y obtener las licencias de construcción, emitidas por los organismos competentes.

- Definir el esquema integral de proceso. Unidades productivas que conforman el complejo industrial.

- Definir los puntos críticos en cada etapa del proceso productivo. Determinar y caracterizar los efluentes líquidos y gaseosos y los co-productos sólidos que se generan.

- Aplicar las herramientas de Producción Mas Limpia (PML) en las definiciones tecnológicas de todo el proyecto, tomando acciones preventivas que correspondan como:

    - El ahorro y re-uso de recursos naturales como agua (Planta moledora, Plantas de derivados y Riego).

    - El mejoramiento y conservación de suelos (Aplicación de compost, laboreo mínimo, aplicación de medios biológicos, fertirriego).

    - Disminución de las emisiones de CO_2 (Uso de biomasa en la generación de energía, eficiencia energética, y el uso de fuentes no convencionales de energía, etc.).

2.4 CONCEPTUALIZAR EL SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUALES.

Tener en cuenta la reducción al mínimo de las afectaciones resultantes del procesamiento de la caña de azúcar, la producción de etanol combustible, levadura torula o biogás, compost, la generación de energía y la fertirrigación de los residuales de la torula o del biogás, en los diversos ecosistemas, elevando al máximo las posibilidades de supervivencia de todas las formas de vida.

- EFLUENTES LIQUIDOS: En el caso de efluentes líquidos, principalmente las vinazas de destilería, se propone, como primer tratamiento, para disminuir la carga orgánica la producción de levadura torula, la cual constituye un excelente alimento animal por sus características y composición (fuente de proteína y vitaminas) o la digestión anaerobia con producción de biogás. Los residuales líquidos emitidos por estas plantas serán dispuestos junto con los residuales del ingenio y las flemazas de la destilería en embalses estabilizadores, para su posterior fertirrigación en las áreas cañeras.

- CO-PRODUCTOS SÓLIDOS: En el caso de los residuos sólidos (Cachaza y cenizas de las calderas), se propone la producción de compost, el cual será utilizado como fertilizante orgánico de la caña de azúcar. El bagazo será utilizado para la generación de energía.

- ELUENTES GASEOSOS: En el caso de las emisiones gaseosas, prever, la instalación de sistemas de depuración de los gases, emitidos por las calderas, en la quema del bagazo. El CO_2 producido en la fermentación alcohólica, la producción de torula y la quema del bagazo en la generación de energía, cierra el ciclo del carbono a través de la fotosíntesis, llevada a cabo por la planta de la caña de azúcar.

2.5 ACCIONES PARA LA EJECUCION DEL PROYECTO

- Confeccionar las tareas técnicas de la solución de manejo de residuales.
- Desarrollar los proyectos de ingeniería para la construcción de las obras.
- Ejecución de obras: Capacitación del personal vinculado con la actividad medio ambiental. Procura de equipos, contratos ejecutivos, control de autor y ejecución de obras.
- Puesta en marcha y monitoreo de la actividad ambiental.

III. BASES CONCEPTUALES DEL PROYECTO DE SOLUCION INTEGRAL DE LOS RESIDUALES.

La concepción general de la solución integral de los residuales del complejo agroindustrial responde a conceptos del diseño que garantizan disminuir del impacto ambiental y la consecuente producción y consumo sostenible.

Para cumplir este objetivo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Segregación de los efluentes líquidos generados en el proceso según sus características.

2. Empleo de sistemas de enfriamiento con agua tratada y circuitos cerrados para el uso eficiente del agua: Ej. En la planta moledora, las aguas de enfriamiento de los molinos, turbogeneradores, bombas de vacío, compresores; y en la destilería, condensadores y control de la temperatura de los fermentadores.
3. Recuperación al máximo de los condensados que permita su utilización como agua de alimentación a las calderas y como uso tecnológico.
4. Disminución al mínimo indispensable de las aguas empleadas en la limpieza de los equipos del proceso y recuperar como agua dulce los enjuagues: Por ejemplo, el uso de la flemazas para la limpieza de fermentadores.
5. La cachaza en todos los casos deberá ser extraída en seco y nunca ser diluida.
6. Las fugas de jugos azucarados deben ser reducidas al mínimo.
7. Mantener una estricta vigilancia en los parámetros de operación.
8. En la etapa constructiva las facilidades temporales serán las imprescindibles, así como las áreas de oficina y talleres, minimizando las instalaciones de aguas blancas y negras, ejecutándose como parte integrante de la solución de residuales definitiva.
9. Los bancos de préstamos o cantera que se abran serán tapados con la capa vegetal sobrante del movimiento de tierra, después de utilizar la necesaria para las áreas verdes previstas.
10. Garantizar niveles suficientemente altos para evitar inundaciones, el drenaje pluvial será por medio de un sistema de canales.
11. Utilización de concreto premezclado evitando manipulación de los materiales que lo componen. En caso de no ser posible; la planta que se instale cumplirá con las medidas necesarias para evitar la contaminación.
12. Las instalaciones del sistema de recolección de residuales interiores tendrán las zanjas y canales tapados, diseñados con pendiente óptima.
13. La necesaria higiene y asepsia del proceso de molienda se logra, con agua caliente a presión y vapor de escape sin la aplicación de productos químicos.
14. El bagazo, al salir de la planta moledora es conducido por transportadores de arrastre cerrados (a través de galerías cubiertas) a las calderas para su combustión. El sobrante, para evitar la contaminación ambiental, se almacena en la casa para bagazo que se hermetizará y cuando el proceso lo requiera, es retroalimentado a las calderas.
15. Tanto la ceniza de las calderas como la cachaza, coproductos del proceso productivo, se almacenan en tolvas y se trasladan a la planta de compost para utilizarlos como fertilizantes, lo que ayuda a restituir los nutrientes a los campos de cultivo.
16. Control automático de los procesos basado en el empleo de técnicas digitales, con un alto nivel de integración, flexibilidad y versatilidad que permite la comunicación entre todos los niveles de control posibilitando que la toma de decisión se ajuste más a la realidad sin la necesidad de la intervención del hombre, aunque no la excluye y garantice la optimización de todos los recursos que intervienen en el proceso.
17. Instalación de un sistema de protección contra incendios y se mantendrá siempre la reserva de agua desde el inicio de la obra.
18. Instalación de un sistema de malla de tierras y pararrayos.
19. Aislamiento térmico de todos los equipos y tuberías que lo requieran, de acuerdo a las temperaturas que manejan los distintos fluidos del proceso, tanto por ahorro de energía, como por protección a los trabajadores.
20. Para la disminución de los niveles de ruidos, los equipos que lo requieran tendrán aislamiento acústico.
21. Las áreas con peligro de explosión tendrán sus equipos con seguridad intrínseca.
22. Garantizar un sistema adecuado de colores de equipos y tuberías y el de señales, con el fin de evitar accidentes.

23. Los residuos sólidos generados en todo el complejo como basura, recipientes, cubiertas, embalajes de materias primas y residuales de oficinas (papeles y cartón), serán recogidos, clasificados y se dispondrán fuera de la planta. Se conveniará con la empresa recicladora de materias primas los residuales sólidos con valor comercial.

IV- DEFINICION DE LOS RESIDUALES

En cada etapa del proceso productivo se determinan características principales de todas las corrientes y su disposición.

4.1- DEFINICION DE LOS CO-PRODUCTOS SÓLIDOS.

- **Bagazo:** se usa como combustible, para producir Compost y en el proceso tecnológico, como parte del proceso de filtración de la cachaza.

- **Cachaza:** toda se utiliza para producir Compost.

- **Cenizas:** toda se utiliza para producir Compost.

- **Otros** residuos sólidos lo constituyen la basura y los recipientes, cubiertas y embalajes de las sales y otras materias primas, estos en dependencia de su composición serán recogidos y clasificados para su posterior disposición en vertederos o ventas como materia prima para su reciclaje.

4.2- DEFINICION DE LOS EFLUENTES LIQUIDOS.

- **Planta procesadora de caña:** Residuales líquidos azucarados procedentes del área de fabricación, con grasas y jugos procedentes de los molinos y residuales con alto contenido en sales procedentes de la limpieza de los filtros de la planta de tratamiento químico y de las purgas continúas de las calderas. Los residuales industriales líquidos, después de ser sometidos a tratamiento primario se unirán en un colector que los conducirá hasta un punto donde se almacenarán para su posterior utilización en fertirriego.

- **Destilería:** el efluente líquido son las Vinazas, en su totalidad se empleará para producir Torula. Otros residuos son: Flegmazas, las cuales son aguas con poco contenido de alcohol que se emplean en la limpieza de los fermentadores, el aceite fusel y cabezas se comercializan como subproductos y el CO_2 será emitido a la atmósfera.

- **Planta de Torula:** los efluentes de la Torula se destinan para el fertirriego. El riego de las áreas cañeras será con estos efluentes lo mas frescos posible, para evitar su descomposición.

- **Planta de Biogás:** los efluentes del biogás se destinan para el fertirriego. El riego de las áreas cañeras será con estos efluentes lo más fresco posible, para evitar su descomposición.
- Residuales procedentes de la Planta de tratamiento químico, planta de tratamiento térmico y planta de vapor, estos se unen y son enviados al sistema de fertirriego.

- **Residuales de limpieza química** de equipos proveniente del sistema de limpieza in situ (CIP). Esta corriente de ácidos y bases agotadas, se enviará a un depósito ecualizador para su neutralización y su dosificación posterior al sistema de fertirriego.

- **Aguas servidas.** Los volúmenes de aguas servidas dependen de la cantidad de trabajadores de la Planta, previa consulta con las normas y decretos vigentes en el país sobre el consumo de agua y efluentes líquidos. El destino de aguas servidas, serán sometidas a un tratamiento primario y tratamiento biológico, las aguas tratadas serán utilizadas en las áreas verdes del complejo.

4.3- DEFINICION DE LOS RESIDUALES GASEOSOS

- **Gases de la planta de generación de vapor** (Calderas) serán tratados convenientemente para lograr los parámetros establecidos en las normas venezolanas de gases.

- **Dióxido de carbono:** Procedente del proceso de la fermentación serán limpiados y envía a la atmósfera.

V- ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES LIQUIDOS, GASEOSOS Y CO-PRODUCTOS SÓLIDOS.

En la Figura 2, se muestra el esquema de tratamiento como solución integrada medioambiental.

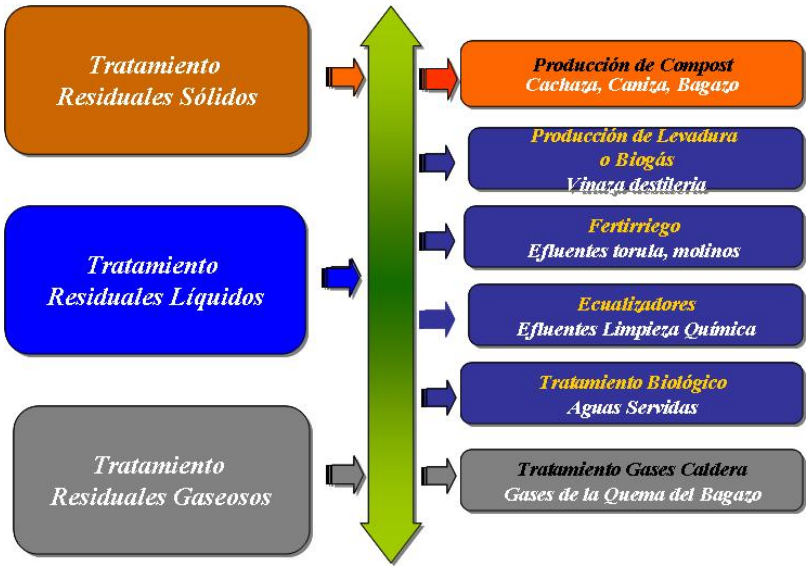


Figura 2. Tratamientos para los diferentes efluentes y co-productos generados en el complejo.

5.1- TRATAMIENTO CO-PRODUCTOS SÓLIDOS.

5.1.1- Producción de Compost a partir de Cachaza, Ceniza y Bagazo.

- La producción de abono orgánico (Compost) es una alternativa de solución al uso de los residuales, contribuyendo al saneamiento ambiental y al mejoramiento del suelo, con el consiguiente efecto positivo sobre los rendimientos agrícolas. Brinda soluciones para la aplicación de los fertilizantes orgánicos.
- Producir un fertilizante que permita reciclar al suelo una fracción importante de los compuestos químicos extraídos por la caña, reduciendo la necesidad de aplicar fertilizantes químicos.
- Proceso de descomposición aeróbica de materiales orgánicos, en forma controlada, por microorganismos.
- La tecnología propuesta de producción de compost considera la utilización total de la cachaza, las cenizas y parte del bagazo generados en el proceso. Estos materiales serán conducidos al área mediante camiones.
- Transformar la totalidad de la cachaza producida en materia orgánica estable con una reducción significativa de su capacidad contaminante, al disminuir su DQO, su relación DBO/DQO y una fracción del bagazo equivalente en masa al 12,5% de la cachaza transformada.
- Se aplica directamente en el campo o se comercializa en sacos.

5.2- SOLUCIONES AMBIENTALES A LAS CORRIENTES LÍQUIDAS.

5.2.1- Producción de Levadura forrajera TORULA a partir de vinaza de destilería. Constituye el primer tratamiento de las vinazas de la destilería**;** entre sus ventajas se encuentran:

- Reducir la carga orgánica contaminante de las vinazas hasta un 70 %.
- Obtener levadura forrajera con un alto valor nutricional para la alimentación animal y en aplicaciones farmacéuticas y químicas.
-

5.2.2- Producción de BIOGAS a partir de vinaza de destilería, pudiera constituir un tratamiento primario o secundario de las vinazas de la destilería, entre sus ventajas se encuentran:

- Reducir la carga orgánica contaminante de las vinazas hasta un 70 % a través de la digestión anaerobia.
- Obtener biogás como energía renovable, con alto poder calórico, el cual puede usarse para la generación de energía eléctrica.
- Producción de lodos biofertilizantes y aguas residuales para fertirriego.

5.2.3- Solución de los efluentes líquidos con carga orgánica contaminante (fertirriego).

Esta alternativa permite reponer al suelo, parte de la materia orgánica e inorgánica extraída con la caña de azúcar. Además, esta solución tiene un fin económico, ya que, sustituye fertilizantes y agua, necesarios para los cultivos. Para aplicar esta técnica, es imprescindible tener en cuenta las características del suelo y el cultivo para definir las normas de aplicación. Así como también las regulaciones medio ambientales vigentes.

Entre los principales efectos de la fertirrigación al suelo de los residuales generados en la planta procesadora de caña, destilería y producción de torula o biogás, se encuentran:

- Es un fertilizante y a la vez favorece el crecimiento de los microorganismos, actuando sobre diversos procesos biológicos como mineralización e inmovilización del nitrógeno orgánico, desnitrificación y fijación biológica.
- Su materia orgánica, promueve una mejoría de las condiciones físicas de los suelos arenosos, mejor desenvolvimiento de la actividad microbiana resultante del proceso de humidificación y una movilización de los nutrientes, en función de la mayor solubilidad proporcionada por este líquido.
- La aglutinación de las partículas del suelo y el aumento de la estabilidad estructural producto de la metabolización de compuestos de cadenas cortas por los microorganismos.
- No presenta actividad cementante por ser altamente biodegradable y promover la mejoría de los atributos físicos del suelo, principalmente la porosidad total.
- Restauración de la fertilidad del suelo a través de la recuperación y el incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico (permitiendo una menor lixiviación de cationes debido a la predominancia de cargas negativas del suelo) esto es debido a la presencia de materia orgánica de características coloidales o próximas a ellas.
- La estimulación de crecimiento de poblaciones de microorganismos al suelo como *Aspergillus y Penicillium, Neurospora spp, Mucor spp y Streptomyces* en climas tropicales, mientras que en climas templados, proliferan bacterias reductoras. La vinaza incorporada al suelo es atacada por enzimas de estos hongos, permitiendo la formación de humus, neutralizando la acidez del medio y prepara las condiciones para la proliferación de bacterias hasta un conteo del orden de los 25-335 millones de microorganismos por gramo de suelo (un suelo con fertilidad baja puede contener de 10-40 millones de microorganismos por gramo de suelo).
- Se favorece además el crecimiento de bacterias fijadoras de nitrógeno como *Beijerinckia, Azotabacter y Azopirillium.*
- Mejoras de las propiedades químicas como elevación del contenido de potasio, fósforo, calcio, magnesio. Esta mejoría de estas condiciones se obtiene en suelos de fertilidad baja a media, en suelos con alta fertilidad la incorporación de vinaza debe realizarse con precaución. En suelos hidromórficos caracterizados por poseer altos contenidos de calcio, magnesio, sodio y potasio no es recomendable la adición de grandes cantidades de vinazas. El incremento de la salinidad de los suelos no implican riesgos para las plantas, a dosis de 100 m^3/ha.año y sí para dosis de 1000 m^3/ha.año. También permite incrementar los tenores de micronutrientes como Zn, Fe, Mn y Cu.

5.2.4- Ecualizadores para Efluentes de Limpieza Química (Cleaner in Place)

Para garantizar un proceso microbiológicamente limpio y remover los residuos de los intercambiadores de calor, tanques, fermentadores, evaporador, secador, se han previsto tres sistemas de limpieza en el lugar (CIP). Uno en la destilería y dos en la torula. Estos sistemas combinan la limpieza con agua potabilizada (Dureza menor que 100 mg/l $CaCO_3$). El retorno del CIP es enviado a los correspondientes tanques.

Una vez agotados estos productos químicos se envían a un depósito ecualizador. Los ácidos y bases agotados se mezclan hasta su neutralización. El agua se dosifica de manera paulatina al sistema de tratamiento biológico y la sal que se deposita en el fondo es extraída y puesta a secar por auto evaporación, la misma se puede utilizar posteriormente en la alimentación animal.

5.2.5- Tratamiento Biológico de la Aguas Servidas.

Las aguas albañales y residuales de la cocina, comedor, cafetería y el laboratorio serán pre-tratadas en un sistema mecánico compuesto por: desarenador, trampas de grasas y medidor de flujo, lo que contribuirá a rectificar el trabajo de los sistemas anteriores, además de contabilizar la cantidad de residual emanado.

Posteriormente se empleara un sistema de tratamiento biológico (Biodiscos) con alta capacidad de remoción de materia orgánica, alta eficiencia y baja producción de lodos.

Las aguas tratadas en este sistema, cumplirán con la norma para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, y se utilizaran en las áreas verdes del complejo.

5.3. SOLUCIONES AMBIENTALES A LAS CORRIENTES GASEOSAS.

5.3.1- Solución de los efluentes gaseosos emitidos en la caldera

La quema del bagazo de caña en las calderas de vapor, constituye una fuente potencial de contaminadores atmosférico. 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 biomasa lignocelulósica, en este caso el bagazo está constituida en gran parte por las paredes vegetales de las plantas cosechadas. Químicamente, las paredes vegetales comprenden tres constituyentes principales: celulosa, hemicelulosa y ligninas.

Los factores de emisión expresan la cantidad de diferentes contaminantes emitidos por unidad de producto o unidad de combustible. Los componentes fundamentales de las emisiones gaseosas son partículas (cenizas volátiles), CO_2, óxidos de nitrógeno y hidrocarburos aromáticos policíclicos no controlado, entre otros. 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

Las emisiones de los compuestos mencionados anteriormente son significativamente inferiores que los que emiten las calderas que emplean combustibles fósiles para la generación de vapor. La solución propuesta para la eliminación de los compuestos contaminantes de los gases emitidos en la caldera será la instalación de equipos separadores de partículas, que pueden ser con lavado seco o húmedo. Estos equipos son de amplio conocimiento y uso en la industria azucarera.

VI. CONCLUSIONES

Se ha demostrado que es posible logra un manejo integrado de los co-productos y residuales de Complejos Agroindustriales de Derivados de la Caña de Azúcar, y alcanzar así, el cierre de ciclo de los co-productos y efluentes generados en la producción de jugo- etanol-Torula. Lo que garantiza alcanzar, la sostenibilidad de esta industria y su compatibilidad con el medio Ambiente.

Las soluciones previstas de los residuales sólidos, líquidos y gases, responden al cumplimiento de las normas medioambientales establecidas y cerrando los ciclos de las producciones.

VII. Bibliografía

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.

Colectivo de autores. (2000), Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar (MINAZ ed.). Ciudad Habana, pp. 485. Agregar en el texto

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.
Gómez R**,** *Proteína unicelular. Problemáticas y posibles soluciones,* Conferencias de Ciencias Naturales. Universidad de La Habana, Cuba, 1986.
Almeida, I. *Técnicas Actualizadas para el Diseño de Plantas Industriales.* ISPJAE, 2007.
Brisuela E. *Aspectos fundamentales de diseño de plantas industriales.* Tomo2, ISPJAE,1987
Hand BooK of Cane Sugar Engineering. E. Hugot, Edición de 1986.

Otros derivados

PRESERVACIÓN Y DISPONIBILIDAD DEL PATRIMONIO CIENTÍFICO DEL ICIDCA
PRESERVATION AND READINESS OF THE ICIDCA SCIENTIFIC PATRIMONY

Oscar Almazán del Olmo, Grizel Delgado Arrieta, Hermys Rojas Núñez, Aurora Martín González

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
Vía Blanca # 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. La Habana. Cuba
e-mail: oscar.almazan@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se analiza la contribución del conocimiento generado por los especialistas del ICIDCA al patrimonio de dicha institución. Se estudia la composición de los fondos documentales de su Centro de información y sus principales fuentes de adquisición. Se establecen medidas encaminadas a lograr la recuperación de este legado y se mencionan los impactos económico y social de estas acciones. Se evidencia la importancia de la preservación del patrimonio, el grado de compromiso que deben tener los autores y la necesidad de incorporar otros mecanismos para lograr estos objetivos.

Palabras clave: preservación, disponibilidad, patrimonio.

ABSTRACT

The contribution of the knowledge generated by ICIDCA specialists to the patrimony of this institution is analyzed. The composition of the documental funds of their Center of Information and their main sources of acquisition are studied. Measures guided to recover this legacy are established, and the economic and social impacts of these actions are discussed. The importance of the preservation of the patrimony, the grade of commitment that should have the authors are evidenced, as well as the necessity of incorporating other mechanisms to achieve these objectives.

Keywords: preservation, readiness, patrimony.

INTRODUCCIÓN

Durante casi 50 años el ICIDCA ha llevado a cabo un profundo y sistemático proceso de investigación y desarrollo sobre varias temáticas, como son los bioproductos (levaduras, etanol, metabolitos, etc), alimento animal, energía, industrialización del bagazo, entre otras; lo que ha generado un considerable volumen de conocimientos y resulta, de hecho, un verdadero patrimonio de inapreciable valor intrínseco y un respaldo útil y poderoso al desarrollo perspectivo en estos campos, tanto en Cuba como en otros países, especialmente en los emergentes y en vías de desarrollo, con considerable significación en el proceso integrador del Proyecto del ALBA.

El ICIDCA se encuentra en una etapa de recambio generacional, que obliga a mantener la cadena de transmisión de conocimientos, con vistas a poder fundamentar nuevas tecnologías sobre la base de las ya existentes, en las temáticas que ha abordado este Centro de Investigaciones.
En la actualidad, en el Instituto se implementa una política de desarrollo de la gestión del conocimiento, que abarca no solo la protección de sus resultados científicos, sino también su recuperación, organización y divulgación. Este trabajo propone un análisis de los impactos económico y social que se derivan de estas acciones.
Sin dudas, hoy para el ICIDCA, integrado, multiplicado, más diverso, enriquecido, regresado a sus orígenes fundacionales, resulta un reto ineludible el rescate, ordenamiento, valoración y contextualización de su obra científica de Investigación-Desarrollo-Innovación.

DESARROLLO

Fondo documental del ICIDCA

El fondo documental del ICIDCA en la actualidad está constituido por una diversa gama de fuentes y productos informativos, según se muestra en la figura 1. Es importante el considerable porciento que existe ya en formato digital (figura 2), gracias al constante trabajo de digitalización que se ha propuesto como acción de rescate de los documentos escritos cuando aun no se contaba con las nuevas tecnologías de la información.

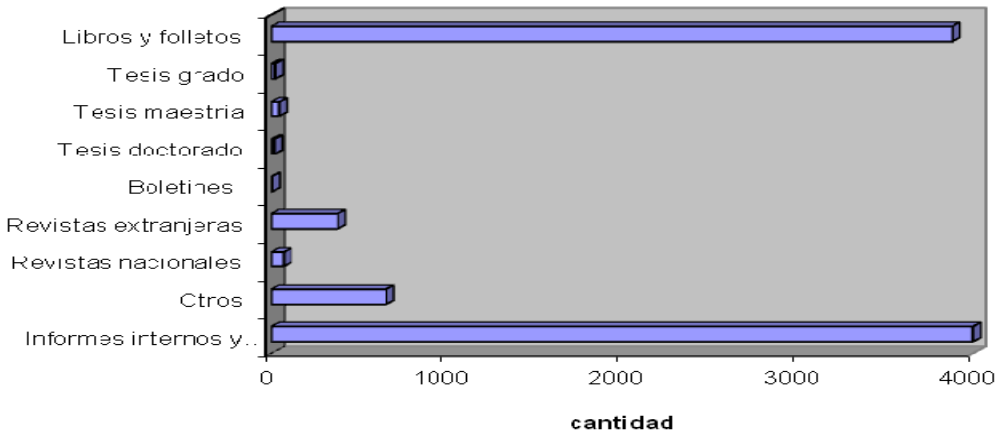


Fig 1: Composición del fondo documental almacenado en el Centro de Información.

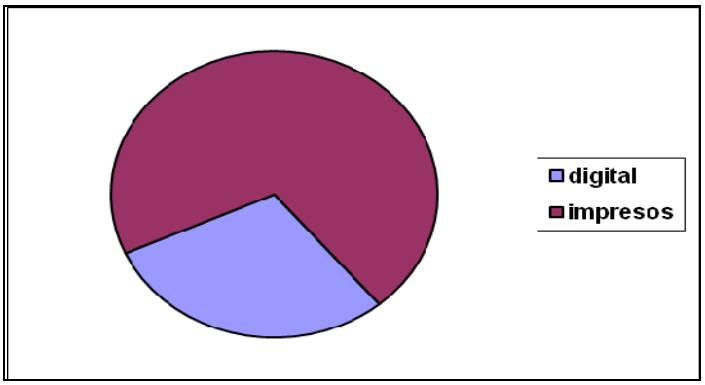


Fig 2: Distribución por soporte de los fondos documentales.

Las fuentes fundamentales de adquisición se reflejan en la figura 3. Entre las más importantes se destacan los acuerdos de intercambio entre instituciones, las donaciones de los investigadores y otras organizaciones, así como también, las publicaciones generadas por la casa editorial ICIDCA.

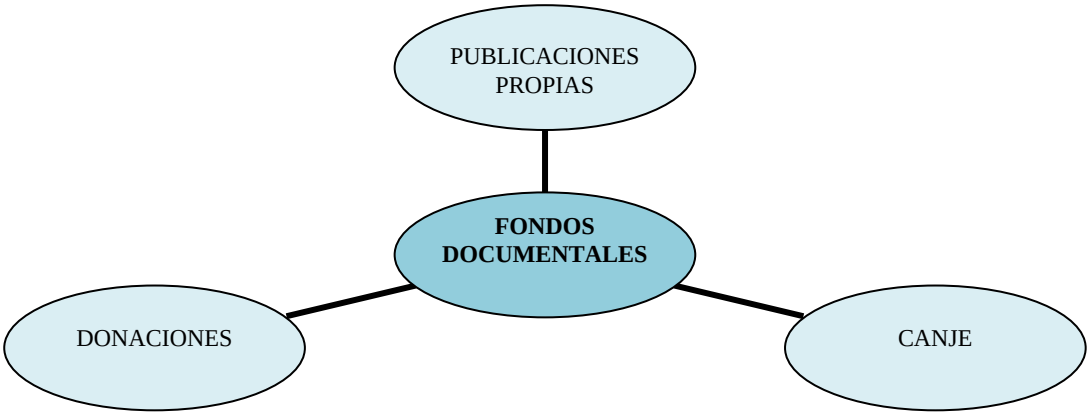


Fig 3: Fuentes fundamentales de adquisición del Centro de Información.

La editorial ICIDCA genera diferentes productos informativos, tanto impresos como en formato digital, que se muestran en la figura 4.

La revista **ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar** es el principal producto informativo y de mayor impacto en la divulgación de los resultados científicos. Es la publicación seriada que identifica el quehacer científico del instituto y se ha mantenido de forma interrumpida durante 46 años.

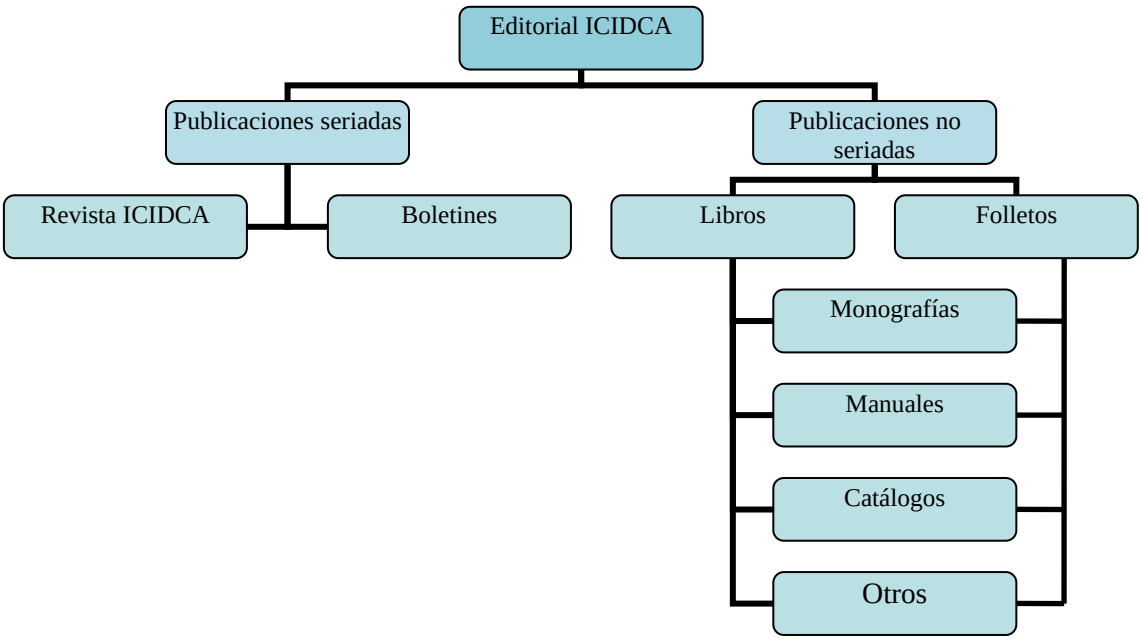


Fig 4: Tipos de productos informativos publicados por la Editorial ICIDCA.

La comercialización de estos productos informativos es insuficiente, según se refleja en la figura 5, pues conspiran los mecanismos burocráticos que entorpecen la gestión comercial, lo cual debe ser equilibrado con mayor audacia y conocimiento del mercado.

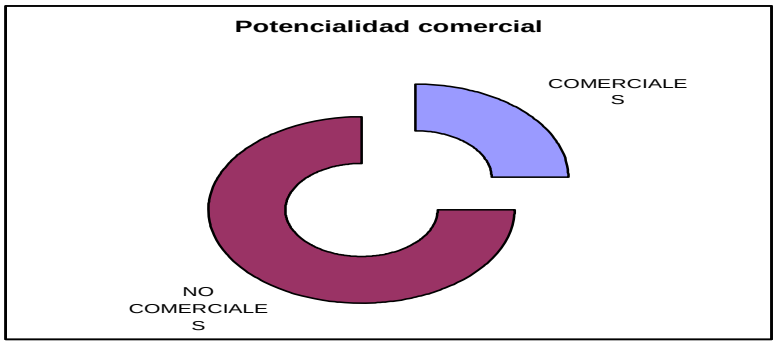


Fig 5: Distribución por carácter comercial que presentan las fuentes y productos informativos

Acciones de recuperación y preservación

Hoy el ICIDCA, toma medidas encaminadas a garantizar la recuperación y preservación del patrimonio científico, generado en el transcurso de su existencia como centro de investigaciones aplicadas. Entre las que se pueden destacar las siguientes:

- Instrumentar la entrega obligatoria al centro de información del ICIDCA, por parte de los autores, de los informes finales de proyectos, tesis, artículos publicados en revistas nacionales y extranjeras, libros u otros, que hayan sido generados bajo relación contractual con el Instituto.
- Implementar un plan de rescate, de similares productos informativos, que permita al centro de información recuperar, al menos las fuentes generadas por autores del ICIDCA en los últimos 10 años, lo

que se puede lograr mediante búsquedas temáticas o de autor a través de Internet, así como recurrir a la colaboración de los propios autores aun contratados en el ICIDCA y también aquellos que se puedan contactar aunque no formen ya parte de dicho colectivo.

- El diseño e implementación del software BIBLIO (Sistema Integrado para la Gestión Bibliotecaria), por investigadores del propio ICIDCA, han permitido agilizar y facilitar la consulta de las fuentes y productos informativos.
- Emplear eficazmente las figuras de la propiedad intelectual para proteger el conocimiento novedoso generado por el ICIDCA, ya sea en el campo de la propiedad industrial como por solicitud de los derechos de autor según corresponda.
- La elaboración de compendios monográficos, donde especialistas en la temática compilen las fuentes o productos informativos generados por autores del ICIDCA y enlacen sus contenidos de forma coherente, y creen una nueva obra que pueda servir para la ágil toma de decisiones, y constituir un nuevo producto informativo comercializable.
- Crear las condiciones de almacenamiento o depósito de los documentos impresos se hace imprescindible para lograr la preservación de los originales durante el mayor tiempo posible.
- Crear las condiciones de almacenamiento o depósito de las colecciones digitales para garantizar un mayor tiempo de conservación y de esta forma, proteger su valor perdurable.

Fisuras que provocan pérdidas

Existen fisuras que aun permiten la pérdida temporal o definitiva de parte del patrimonio, las cuales tienen diversas índoles. Para sellarlas es imprescindible primero identificarlas. Las que se relacionan a continuación son objeto de análisis con vistas a tomar medidas para su eliminación:

- Los autores aun no mantienen la disciplina de entrega al centro de información del ICIDCA, de los informes de proyectos, tesis y artículos publicados en revistas externas.
- El no reconocimiento de la importancia de preservar este patrimonio no es solo de aquellos que lo generan, sino inclusive del personal administrativo a cargo de ser más exigente con el cumplimiento de las medidas adoptadas, para evitar las pérdidas ya mencionadas.
- Tampoco se logra aun que los autores interioricen sobre la importancia de aplicar las formas de protección a la propiedad intelectual y de conformar productos tecnológicos terminados o carpetas tecnológicas que puedan comercializarse.
- No se ha logrado aplicar, totalmente, todas las medidas de seguridad de la información, para el mantenimiento de algunos secretos empresariales.

Acciones de divulgación y comerciales

Las acciones de divulgación y comerciales que el ICIDCA implementa en la actualidad, están encaminadas a aumentar la disponibilidad de las fuentes de información que recogen el conocimiento generado por sus autores, logrando además un beneficio económico aun incipiente, pero de visible potencialidad.
Entre dichas acciones se destacan las siguientes:

- Canje y donaciones de la revista ICIDCA y otros productos informativos.
- Venta de los productos informativos de manera presencial o por medio del comercio electrónico.
- Las transferencias de tecnologías son las acciones de mayor beneficio económico ya que permite transferir el conocimiento generado por el ICIDCA a la práctica social.

Impactos económico y social

El impacto económico de las acciones de preservación, protección y disponibilidad del patrimonio científico del ICIDCA se refleja en los siguientes aspectos:

- Permite lograr ingresos directos que pueden contribuir, de forma cotidiana, a incrementar el salario de los trabajadores y el aporte estatal. También pueden ser revertidos en mejorar las condiciones de trabajo del Instituto y en específico, las condiciones de preservación y disponibilidad del patrimonio.
- Contribuye al proceso de conversión del conocimiento en innovación y por tanto su introducción en la practica social, así como al desarrollo industrial.
- Contribuye al incremento de la visibilidad e imagen del Instituto y de la ciencia cubana.
- Induce al aumento de clientes de los servicios científico técnicos que brinda el ICIDCA.

Igualmente se refleja como impacto en la esfera social, ya que permite que las fuentes de información, durante el proceso investigativo, se conviertan en conocimiento útil tanto práctico como teórico.
Las fuentes de datos contenidas en dicho patrimonio, reflejan el desarrollo histórico del ICIDCA, de la industria azucarera y sus derivados. A su vez permite la formación de nuevos investigadores y técnicos.

CONCLUSIONES

1. Se constatan los impactos económico y social de la preservación y disponibilidad del patrimonio científico del ICIDCA. Pero aun se requiere implementar acciones que contribuyan a ese fin.
2. La conservación del patrimonio científico-documental del ICIDCA depende, en gran medida, de la concientización de los recursos humanos, más que de los medios existentes.
3. Se deben desarrollar, de forma sistemática y coherente, mecanismos de rescate y preservación del patrimonio que permitan salvaguardar la memoria científica y faciliten la mejor comprensión de lo que ha sido nuestro devenir histórico-cultural durante medio siglo.

RECOMENDACIONES

- Destinar financiamiento para las acciones de preservación y disponibilidad del patrimonio, considerándolo como una inversión futura.
- Estimular a los autores y especialistas a que promuevan y compartan sus conocimientos teóricos y técnicos.
- Valorar periódicamente la efectividad de las acciones implementadas para lograr los objetivos de incrementar., preservar y disponer, para su mejor uso, el conocimiento generado por el ICIDCA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Keefer, A.; Gallard, N. (2007). La preservación de recursos digitales. El reto para las bibliotecas del siglo XXI. Editorial UOC. Barcelona.
2. Rothenlong, D. (1995). ¿Son perdurables los documentos digitales? Investigación y Ciencia, marzo, 8-13.
3. Fernández de Zamora, R. M.; Budnik C. (2000). Preservación del pasado para el futuro *Innovaciones en Ciencias de la Información*, 13(4).
4. ONU. (2002). División de la Sociedad de la Información. *Memoria del Mundo; Directrices para la Salvaguardia del patrimonio Documental*. Preparado por Ray Edmondson. Washington. p. 5.

5. Vergara Peris, J. (2002). Conservación y Restauración del Material Cultural en Archivos y Bibliotecas. Valencia: Biblioteca Valenciana, p. 191.
6. Ritzenthaler, M. (1993). Preserving Archives and Manuscripts. Chicago: Society of American Archivists. p.7.

DEPOLIMERIZACIÓN DE LIGNINA: OPORTUNIDADES Y PERSPECTIVAS.

LIGNIN DEPOLIMERIZATION: OPPORTUNITIES AND PERSPECTIVES.

Msc. Yelenys Hernández, Lic. Daisy Dopico, Msc. Eduardo Bordallo, Tec. Maria Isabel Céspedes, MSc. Laura Lamí.

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
yelenyshernandez@hotmail.com

RESUMEN

En el tratamiento químico de los materiales lignocelulósicos para obtener celulosa se genera un residuo denominado lignina. Este polímero se ha convertido en un producto atractivo por constituir una fuente potencial de precursores de alto valor agregado, a partir de su depolimerización, obteniéndose compuestos aromáticos de bajo peso molecular. En este trabajo se realizó la hidrólisis alcalina de la lignina de bagazo, utilizando una solución de NaOH al 7%, un hidromódulo 1:10, a temperaturas entre 100 y 180 ºC respectivamente, por un periodo de 6h, durante el cual ocurre la ruptura de los enlaces C-C y C-O. Posteriormente, se realizó extracción en tolueno y la fase orgánica se caracterizó por cromatografía gaseosa acoplado a espectrometría de masa (GC-MS).

Palabras clave: bagazo, lignina, despolimerización.

ABSTRACT

A residue, called lignin, is generated in the chemical treatment of lignocellulosic materials in order to obtain cellulose. Lignin has become an attractive product because it constitutes a potential source of precursors of high added value, from its depolymerization, by obtaining aromatic compounds of low molecular weight. In this work, is realized the alkaline hydrolysis of bagasse lignin by using a sodium hydroxide load of 7 %, a solid to liquid ratio of 1:10, temperatures at 100 and 180 °C respectively, for 6 h, in such a way that occurs the rupture of C-C and C-O bonds. Subsequently extraction in toluene was realized and the organic phase was characterized by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS).

Keywords: bagasse, lignin, depolymerization.

INTRODUCCIÓN

La valorización de todos los componentes de la biomasa lignocelulósica es esencial para una biorrefinería económicamente viable. Dado que la lignina es un componente principal de la biomasa, la biorrefinería recibe en sus procesos enormes cantidades de este producto, y su conversión es imprescindible para lograr rentabilidad económica, aunque esto constituye un reto debido a la complejidad de su estructura. *Cherubini (2011).* La lignina presenta una estructura compleja, siendo un polímero tridimensional altamente ramificado

compuesto por unidades de fenilpropano, denominados alcohol coniferílico, alcohol sinapílco, y alcohol p-cumarílico, acoplados a través de enlaces carbono-carbono y carbono-oxígeno (figura 1) *Nenkova (2011).*

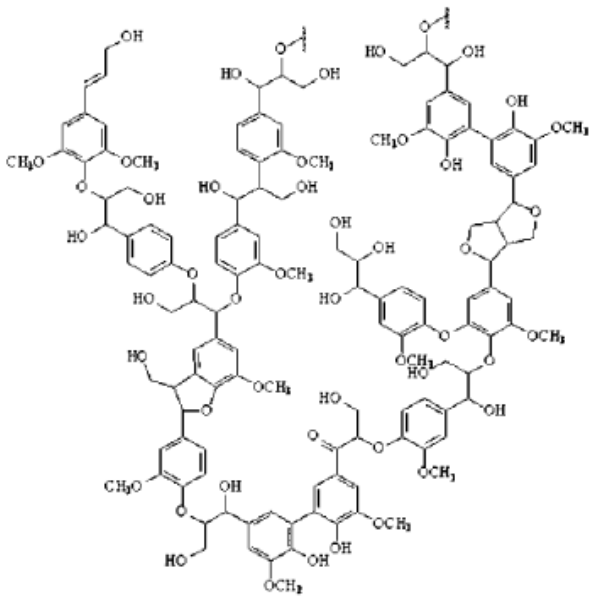


Figura 1: Representación esquemática de la estructura de lignina.

Su depolimerización incluye reacciones que implican la formación de monómeros por el rompimiento de los enlaces C-C y C-O, formándose compuestos aromáticos como fenoles, benceno, tolueno, o xileno La conversión completa de lignina a compuestos fenólicos, es importante por su uso como materia prima en la obtención de productos químicos de alto valor agregado como antioxidantes, tintes, medicamentos, etc. *Nenkova (2011).*

En la figura 2 se representan los posibles productos que pueden obtenerse a partir de la lignina.

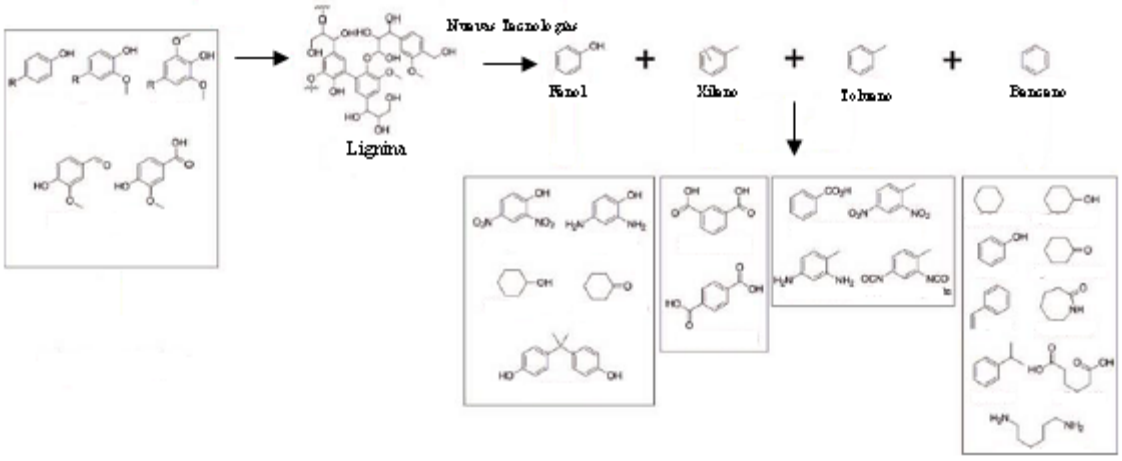


Figura 2: Productos que se pueden obtener a partir de la lignina.

En la literatura se reportan varios métodos para la depolimerización de la lignina, uno de ellos es el tratamiento alcalino con o sin catalizador. Se han estudiado diferentes concentraciones de NaOH, tiempo,

temperatura e hidromódulos y posteriormente se realiza extracción con tolueno, donde se han identificado compuestos monoméricos tales como: 2-metoxifenol, 2,6-dimetoxifenol, 4-hidroxi-3-etoxibenzaldehído, 1-(4-hidroxi-3-metoxifenil) etanona, 4-hidroxi-3,5-dimetoxibenzaldehído, entre otros, utilizando la técnica de cromatografía gaseosa acoplado a espectrometría de masa (GC-MS). *Nenkova (2010)*

La pirólisis o termólisis representa el tratamiento térmico (temperaturas mayores que 400ºC) de la biomasa o la lignina en la ausencia de oxígeno, con o sin catalizador. Este es el método más estudiado para la conversión de la biomasa a compuestos de menor peso molecular. Los principales productos de la pirólisis de la lignina incluyen hidrocarburos gaseosos como monóxido y dióxido de carbono, líquidos volátiles (metanol, acetona y acetaldehído), monolignoles, los monofenoles (guayacol fenol, syringol y catecol), y otros fenoles polisustituidos. *Ragauskas (2012)*

Existen otros tratamientos para la depolimerización de la lignina, uno de ellos es la Hidrogenólisis o hidrocraqueo, *Madhav (2011)* que consiste en un tratamiento térmico en presencia de hidrógeno, que provoca la ruptura de los enlaces. Este proceso puede realizarse a temperaturas más bajas (300-600°C) que en la pirólisis, obteniéndose mayores rendimientos de fenoles monoméricos.

Otra novedosa propuesta es la solvólisis, que es un método que implica el tratamiento térmico de la lignina a temperaturas de 350–400 ^{o}C en un reactor a altas presiones, con un reactivo que actúa como donor de hidrógeno, por ejemplo con ácido fórmico y etanol como disolvente. Durante el calentamiento, el ácido fórmico se descompone completamente en hidrógeno y CO_2, siendo el hidrógeno el que realiza el ataque nucleofílico, donde se observa que los fragmentos se separan en dos fases. En la fase orgánica se encuentran los compuestos fenólicos y en la acuosa los alifáticos.

Un esquema del mecanismo de descomposición de lignina en presencia de ácido fórmico se muestra en la figura 3.

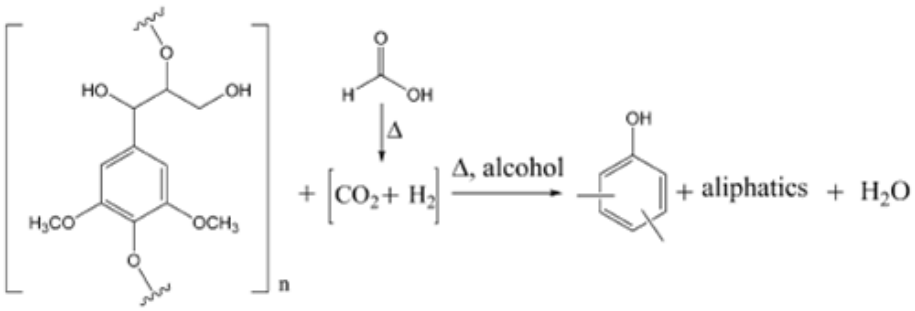


Figura 3: Esquema de la descomposición de la lignina con ácido fórmico.

Varios investigadores han estudiado la conversión de biomasa y lignina, utilizando agua supercrítica. *Ehara (2005), Wahyudiono (2007).* Se plantea que el agua se convierte en fluido supercrítico cuando su temperatura y presión superan su punto crítico (Tc = 374,15°C y Pc=22.1MPa). El agua supercrítica tiene características únicas en términos de densidad, constante dieléctrica, viscosidad, conductividad eléctrica y capacidad de solvatación.

Los procesos de descomposición de lignina se puede considerar que ocurren en dos etapas: primero, la disolución de la lignina en el disolvente y segundo, la formación de productos más ligeros. Los productos obtenidos se han identificados como catecol, fenol, m-cresol, p-cresol y o-cresol por HPLC y GC-MS.

En el artículo de *Zakzeski (2010)* se hace referencia a la utilización de agua supercrítica en un reactor discontinuo para descomponer un compuesto modelo de lignina, donde se encontró que controlando la

temperatura y la presión se favorece la formación de fenoles. Además se utiliza agua supercrítica como solvente para la oxidación de lignina organosolv catalizada por NaOH y ZrO_2, donde se encontró que la presencia de los catalizadores aumentan considerablemente el rendimiento.

Tsujino (2003) y su grupo estudiaron metanol supercrítico en lugar de agua para la descomposición de lignina. El tratamiento térmico se realizó en un reactor discontinuo con metanol supercrítico a 270°C, observándose una rápida depolimerización debido a la ruptura de los enlaces β-O-4. *Saisu (2003)* y colaboradores reportaron la descomposición de la lignina a compuestos químicos en mezclas supercrítica fenol-agua.

Otro autor *Wang (2011)* propone la descomposición de la lignina a compuestos fenólicos utilizando etanol supercrítico como solvente, que con ácido fórmico se genera hidrógeno in situ. Los rendimientos de compuestos fenólicos aumentan con el aumento de ácido fórmico.

Un método novedoso es el reportado por *Yoshikawa (2013),* en el que se obtienen fenoles a partir de lignina en dos etapas de reacción. En la primera ocurre una hidrólisis de la lignina utilizando solución de agua/1 butanol y sílica alúmica como catalizador y posteriormente se realiza un craqueo catalítico usando óxido de hierro como catalizador.

El objetivo de este trabajo ha sido la obtención de monómeros fenólicos de bajo peso molecular realizando hidrólisis alcalina a la lignina hidrolítica de bagazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la presente investigación se utilizó como material de partida lignina hidrolítica de bagazo con 82.1 % de lignina y 2.5 % de cenizas.

Hidrólisis Alcalina

Para el tratamiento alcalino se tomaron 25g de lignina base seca en un balón y se le añadió una solución de NaOH al 7 %, hidromódulo 1:10. Se calentó hasta 100ºC, durante 6h. Transcurrido el tiempo se le adiciona H_2SO_4 hasta pH~ 2, se filtra, el filtrado se neutraliza y se extrae con una mezcla tolueno/agua 1:4 por tres veces.

Posteriormente se realizó el tratamiento alcalino variando la temperatura. Se pesaron 2.5 g de muestra y se añadieron en una microdigestor. Se le adicionó la solución de NaOH al 7 % y se calentó hasta 180ºC durante 6h en un baño de glicerina. Transcurrido el tiempo se siguió el procedimiento descrito anteriormente.

Análisis por GC-MS

Las muestras de lignina fueron analizadas en un equipo GC-MS de la Shimadzu con un CG-17 A y un Masa QP5050 todas bajo las mismas condiciones de una Columna **Rxi^{R} -5ms** con una rampa de temperatura 60 - 260 ºC; inyector y detector a 250 ºC; utilizando He como portador a la presión de 56.7 kPa y flujo de 51.2 mL/min, con un tiempo programado de 60 min. La identificación de los productos se realizó mediante el empleo de la Biblioteca NIST-MS Search 2.0 que forma parte tanto de los Programas GC-MS del equipo como del Programa AMDIS 32.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó el tratamiento alcalino de la lignina hidrolítica de bagazo y el extracto se analizó utilizando la técnica de GC-MS, obteniéndose los cromatogramas que se presentan en la figura 4.

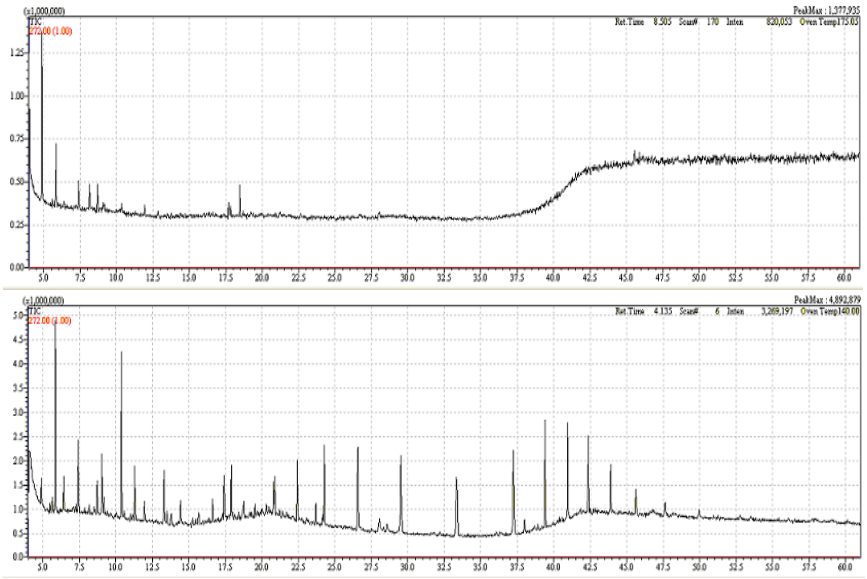
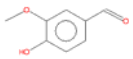
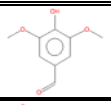
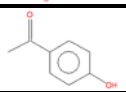
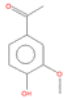
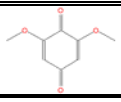
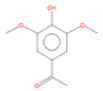


Figura 4: Cromatogramas obtenidos por GC-MS en fase tolueno a 100 y 180ºC respectivamente.

Se observa que aumentando la temperatura de 100 a 180 ºC se obtiene una mayor cantidad de compuestos ya sea hidrocarburos o monómeros y esto resulta lógico pues a temperaturas mayores se favorece la ruptura de los enlaces en la fuerte estructura de la lignina.

Se identificaron los picos observados en los cromatogramas, obteniéndose hidrocarburos saturados e insaturados que son característicos del bagazo y los productos que evidencian la depolimerización se presentan en la Tabla I, que como se puede apreciar ocurrió depolimerización de la lignina, pues se obtuvieron compuestos de bajo peso molecular a partir de este polímero, por rompimiento de los enlaces C-C y C-O de su estructura.

Tabla I: Compuestos aromáticos identificados por GC-MS.

Compuesto	Fórmula Molecular	Estructura
4-hidroxi-3-metoxibenzaldehido	$C_8H_8O_3$	
4-hidroxi-3,5-dimetoxibenzaldehido	$C_9H_{10}O_4$	
p-hidroxiacetofenona	$C_8H_8O_2$	
Acetovainillina/4-hidroxi-3-metoxiacetofenona	$C_9H_{10}O_3$	
2,6-Dimetoxibenzoquinona	$C_8H_8O_4$	
1-(4-hidroxi-3,5-dimetoxifenil)etanona	$C_{10}H_{12}O_4$	

CONCLUSIONES

- Realizando tratamiento alcalino con NaOH 7% durante 6h a 180ºC es posible depolimerizar la lignina, obteniéndose compuestos aromáticos de bajo peso molecular.
- La depolimerización de lignina es una oportunidad para obtener monómeros que sirvan de partida en la formación de productos de alto valor agregado y así sustituir a los derivados del petróleo.

RECOMENDACIONES

- Variar las condiciones experimentales en la hidrólisis alcalina de la lignina (%NaOH, tiempo, hidromódulo).
- Investigar otros tratamientos reportados para obtener compuestos de bajo peso molecular y realizar un estudio comparativo de los resultados.
- Usar otros derivados de lignina como material de partida.

REFERENCIAS

1. Cherubini, F.; Strømman, A.H. (2011), Chemicals from lignocellulosic biomass: opportunities, perspectives, and potential of biorefinery systems. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 5, 548–561.
2. Ehara, K.; Takada, D.; Saka, S. J. (2005), GC-MS and IR spectroscopic analyses of the lignin-derived products. *Wood Sci.*51, 256.
3. Madhav, P.; Chang, S. (2011), Review. Lignin Depolymerization and Conversion: A Review of Thermochemical Methods. *Chem. Eng. Technol*. 34, 29–41.

4. Nenkova, S.; Radoykova, T.; Stanulov K. (2011), Preparation and antioxidant properties of biomass low molecular phenolic compounds (review). *Journal of the University Chemical Technology and metallurgy*, 46(2), 109-120.
5. Nenkova, S.; Radoykova, T.; Stanulov K. (2010), Production of phenol compounds by alkaline treatment of poplar wood bark. *Chemistry of Natural Compounds.* 46(5), 807-807.
6. Ragauskas, A.J.; Ben, H. (2012), Pyrolysis of Kraft Lignin with Additives. *Energy Fuels*. 25(10), 4662-4668.
7. Saisu, M.; Sato, T.; Watanabe, M., Adschiri, T. and Arai, K. (2003), Conversion of Lignin with Supercritical Water-Phenol Mixtures. *Energy & Fuels*. 17, 922.
8. Tsujino, J; Kawamoto, H.; Saka, S. (2003), Reactivity of lignin in supercritical methanol studied with various lignin model compounds. *Wood Sci. Technol.* 37, 299.
9. Wahyudiono; Sasaki, M.; Goto, M. (2007), Decomposition of lignin alkaline and chemicals recovery in sub- and supercritical water. *Eng. Technol*. 30, 1113.
10. Wang, M.C. (2011), Reductive degradation of lignin in supercritical solvent and application in phenolic resin synthesis. *Acta polymerica sinica,* 0(12), 1433-1438.
11. Yoshikawa, T.; Yagi, T.; Shinohara, S.; Fukunaga, T.; Nakasaka, T.; Tago, T.; Masuda, T. (2013), Production of phenols from lignin via depolymerization and catalytic cracking. *Fuel Processing Technology.* 108, 69–75.
12. Zakzeski, J.; Pieter, C.; Bruijnincx, A.; Jongerius, L.; Weckhuysen, B. (2010), The Catalytic Valorization of Lignin for the Production of Renewable Chemicals. *Chemical Reviews,* 110(6), 3552-99.

EVALUACIÓN DEL PRODUCTO BAGAZO MINERALIZADO – CONCRETO.

EVALUATION OF THE PRODUCT MINERALIZED BAGASSE-CONCRETE

Autor: Juan Fernández Rodríguez[1] Nelson Díaz Brito [2]

[1]Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana 11000. Cuba
[2] CECAT (CUJAE), Calle 114 Marianao, La Habana, Cuba
E-mail: Juanfernandez5212@yahoo.com.mx

Resumen

Se evaluó la fibra de bagazo de caña de azúcar, mineralizada con silicato de sodio, utilizada en la elaboración de materiales compuestos en matrices cementicias que presentan propiedades mecánicas aceptables. El material compuesto de bagazo mineralizado-concreto, con porcentajes de fibra del 10 % en relación al peso total del cemento, permite reducciones en la densidad, a los 28 días de curado, que varían entre 9.65 % y 10.72 % para los tamaños de partículas de las fibras de 3.15 y 8.5 mm, respectivamente, con respecto a probetas patrones cuya densidad promedio es de 2165 kg/m^3, aspecto importante para la elaboración de paneles y tableros utilizados en paredes divisorias y falso techo. La resistencia a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña mineralizadas es inversamente proporcional al porcentaje de la fibra adicionada y a la longitud promedio de las mismas y a medida que se compacta la probeta hecha de material compuesto, en el rango de 1 a 5 kg/m^2, se obtienen incrementos de compresión cercanos al patrón, en tanto que la resistencia a flexotracción supera a la del patrón, lo que permite su uso en sistemas constructivos de bajo costo.

Palabras claves: material compuesto, concreto fibroreforzado, bagazo de caña, propiedades físicas mecánicas.

Abstract

It was evaluated the bagasse fiber, mineralized with sodium silicate, used in the elaboration of compound materials based on cementitious matrix, which shows suitable mechanical properties. The obtained material, with a fiber load of 10 % in relation to the total weight of cement, enables reductions in density, at 28 days of cured, which vary between 9,65 % and 10,72 % for composite made from bagasse with particles sizes of 3,15 and 8,5 mm, respectively, regarding standard test tubes having average density of 2165 kg/m^3. This is an important aspect for the elaboration of panels and boards used in dividing walls and ceiling roof. The compression resistance of the reinforced concrete with mineralized bagasse fibers is inversely proportional both to the percentage of the added fiber and to the average length of them. When the compaction of compound material is increased, in the range from one to five kg/m^2, it provokes an increment in compression resistance, by reaching similar values to the standard tube, made without fibers, while the flexotraction is superior in the compound material, what is interesting in the construction of low-cost housing.

Key words: Compound material, fiber reinforced concrete; bagasse fiber; physical and mechanical properties

Introducción

En términos del volumen usado, los materiales cementicios, principalmente en la forma de concreto, son los materiales más exitosos a escala mundial (Scrivener, 2008). El concreto es un material bastante rígido pero no lo suficientemente fuerte en tensión como para resistir la fractura (Kurtis, 2007) por lo que la adición de fibras puede reducir la fisuración provocada por el encogimiento plástico o retracción del cemento.

Los primeros productos de materiales compuestos a partir de matriz cementicia contenían una gran proporción de cemento (2 partes de cemento: 1 parte de arena), debido a ello se le dio el nombre de «fibrocemento». La nueva generación de compuestos reforzados con fibra compactados mecánicamente contienen sólo 1 parte de cemento: 1 a 2 partes de arena (dependiendo de la calidad del cemento), de ahí que el nombre de «fibroconcreto» se hiciera más apropiado.

La proporción de cemento necesita ser mayor si la arena no tiene una buena granulometría y si no se puede hacer la compactación con una máquina vibradora. Para la compactación manual mediante apisonado la relación cemento: arena debe ser 1:1. La idea de reducir la cantidad de cemento sustituyéndola por su equivalente en arena responde a la necesidad de disminuir los costos de producción.

Los tipos y características del fibroconcreto son extremadamente diversos, dependiendo del tipo y cantidad de fibra empleada, del tipo y cantidad de cemento, arena y agua, los métodos de mezclado, colocación y curado, y - no menos importante - de la destreza en la producción, supervisión y control de calidad.

Actualmente se fabrican distintos tipos de paneles y tableros obtenidos a partir de un material compuesto de fibra y de un aglutinante inorgánico como el cemento Pórtland, la magnesita o el yeso. Los componentes fibrosos más empleados son la lana de madera, las virutas de madera, la celulosa de maderas coníferas y otros materiales lignocelulósicos como la cáscara de arroz, el bagazo, el tallo del algodón, etc.

En el uso del bagazo no existe una gran experiencia, como en el caso de la madera, en la producción de productos aglomerados con aglutinantes inorgánicos. Se señalan como positivos los trabajos realizados en Cuba (ICIDCA, 1986) en la década de los 80, los trabajos del CECAT (Acevedo, 2000) en la CUJAE, que también emplearon fibra de coco y los trabajos en Colombia (Osorio, 2007)

El desarrollo de la tecnología de producción de paneles y tableros de bagazo mineralizado-concreto y su implementación en la práctica social representa una alternativa ventajosa para dar solución a programas de construcción masivos de viviendas de bajo costo.

El presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la potencialidad del bagazo mineralizado utilizando silicato de sodio como aditivo químico para mejorar las propiedades de las fibras y su compatibilidad en la formación del material compuesto (fibroconcreto) en su combinación con cemento Pórtland, arena y agua.

Materiales y métodos

En el trabajo experimental se empleó bagazo fresco del central Manuel Fajardo. El bagazo se desmeduló en suspensión hasta un contenido de fibra del 82 %.

Como componentes del material compuesto se utilizó el bagazo tratado con silicato de sodio, el cemento Pórtland del Mariel y la arena de la cantera Victoria en Pinar del Río.

Metodología experimental.

a) **Acondicionamiento del bagazo.**

1- Desmedulado del bagazo.

El bagazo integral con dos meses de almacenamiento a granel se desmeduló en equipos de planta piloto. El tratamiento de desprendimiento de la médula se realizó en suspensión con agua en un hydrapulper de 60 L de capacidad, el cual cuenta con una propela vertical y bafles en las paredes para permitir un fuerte trabajo de fricción sobre los paquetes de fibras. La consistencia de operación fue de 4 % durante 10 minutos. La separación mecánica de la médula se realizó en una zaranda vibratoria de 2 mm de diámetro de la criba, bajo una corriente de agua que también favoreció la eliminación de sólidos solubles que resultan dañinos para el fraguado del concreto.

2- Molida de las fibras del bagazo.

El bagazo desmedulado después de secarse al aire ambiente en condiciones naturales, con una humedad del 11.8 %, se molió en seco, en una sola etapa, en un molino Spruot Waldron con discos del tipo D2A507 de 30 cm de diámetro a una separación entre discos igual a 0.635 mm.

3- Clasificación de las fibras

Después de molido, el bagazo se clasificó manualmente en dos tamaños de partículas. Las partículas más grandes se obtuvieron pasando varias veces el bagazo por el tamiz de 8 mm de diámetro de huecos, el retenido se desechaba y el que pasaba se cernía por un tamiz de 5 mm de diámetro de hueco y el retenido en este tamiz formaba parte de la fracción fibrosa más grande utilizada en la formación de los compuestos cementicios.

Las partículas más pequeñas se obtuvieron pasando por un tamiz de 2.83 mm de diámetro de hueco la fracción que pasaba por el tamiz de 5 mm. El retenido se rechaza y el aceptado se pasa por un tamiz de 1.66 mm de diámetro de hueco, rechazando todo el material fino que pasa por este tamiz y aceptando el material retenido en el tamiz de 1.66.

4- Determinación del tamaño promedio de partícula de los paquetes fibrosos de bagazo.

De cada muestra representativa, del retenido en los diferentes tamices predeterminados se midieron su longitud y diámetro en un lector óptico milimetrado. Se midieron 300 partículas fibrosas de cada muestra. Los datos se procesaron estadísticamente mediante el Programa STATGRAPHIC para estimar la media y la desviación estándar.

5- Impregnación de las fibras de bagazo con el silicato de sodio.

El bagazo, con los tamaños de partículas preestablecidos, se impregnó con una solución de silicato de sodio para provocar un cambio superficial en la partícula y facilitar la compatibilidad física y la adherencia con la matriz cementicia.

Se aplicó un 20 % en peso de silicato 41° Be en base a fibra completamente seca. El volumen de silicato correspondiente a dicho porcentaje en peso se diluyó en agua, formando una mezcla, en la que el silicato ocupa el 22 % en peso. Esta mezcla se le adicionó a la fibra de bagazo que contenía un 10 % de humedad y se mezcló durante 3 minutos en un equipo macerador de celulosa.

6- Secado de las fibras impregnadas.

El secado superficial se realizó en una estufa de tiro forzado a 60°C durante 30 minutos. Después del secado, el material se desmenuzó manualmente para evitar auto-adherencia y amontonamiento por la acción del agente mineralizante.

b) Mezclado de los componentes del material compuesto:

El mezclado se realizó en un mezclador vertical que se muestra en la figura1, siguiendo la siguiente secuencia:

1. Cemento + Agua – 30 segundos (Velocidad lenta)
2. Adición de la fibra en 30 segundos (Velocidad lenta)
3. Adición de la arena en 30 segundos (Velocidad lenta)
4. 30 segundos de velocidad rápida
5. Parar 60 segundos para remover los materiales y observar si ocurre falso fraguado.
6. 60 segundos de velocidad rápida

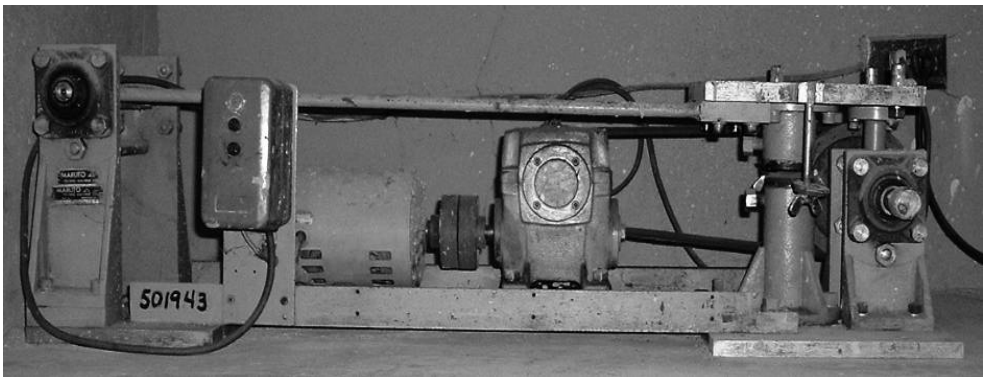
Figura 1. Mezcladora de eje vertical

c) Compactación y moldeado.

Las probetas de ensayo se prepararon en moldes metálicos desarmables que contienen tres probetas de 16 x 4 x 4 cm.

Para la compactación se procedió a depositar la muestra en el molde, que previamente se colocó y se ajustó en la compactadora (figura 2). El molde se limpió y se engrasó con agentes desencofrantes antes de que se depositara la mezcla.

Figura 2. Compactadora



Para el llenado de los moldes, primero se llena el molde hasta aproximadamente la mitad de cada uno de sus compartimientos, a continuación se deja caer el tablero de la compactadora 60 veces en un minuto. Una segunda capa de mortero se coloca y se compacta de la misma forma.

Después se retiró el molde de la compactadora y se enrasó el mortero con el canto de la regla metálica, la cual se trasladó unidireccionalmente en la dirección longitudinal del molde. Por último, se alisó la cara superior de las probetas con la misma regla como se puede apreciar en la figura 3.

Figura 3. Enrase de las probetas en el molde desarmable.

Todas las probetas se dejaron curando en condiciones de humedad relativa y temperatura preestablecidas. Los ensayos se realizaron a los 7 días y a los 28 días de curado. En los ensayos físico-mecánicos de las probetas se emplearon las normas ASTM; en tanto que para los ensayos

de la arena se aplicaron las normas cubanas NC-181, NC-182, NC-184 y la NC-186, todas del 2002

Para la determinación de la resistencia del cemento se aplicó la norma cubana NC 95:2001. De acuerdo con esta norma, dicha determinación se realiza en mortero patrón de relación en peso: 1 cemento, 3 arena, 0,5 agua. (450g: 1350g: 225ml)

Resultados

En la tabla I se muestra la longitud promedio y el diámetro promedio de los dos tamaños de partículas seleccionados para el estudio

Tabla I. Dimensiones de las partículas del bagazo mineralizado.

Fibras de bagazo	Tamaño de partícula I	Tamaño de partícula II
Longitud promedio (mm)	3.15	8.5
Desviación estándar	0.504	0.850
Diámetro promedio (mm)	0.89	1.25
Desviación estándar	0.0712	0.096

En la tabla II se presentan las dosificaciones de cada uno de los componentes del material compuesto, como se aprecia, para cada uno de los distintos tamaños de partículas del bagazo mineralizado se fue sustituyendo parte del árido por fibras, con el fin de estudiar el efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas del fibroconcreto producido. La carga de cemento se mantuvo constante en todos los experimentos, al igual que la relación agua/cemento que fue igual a 0.5.

Tabla II. Dosificaciones para un molde de tres probetas

Dosificación (g)			Longitud promedio 3.15 mm				Longitud promedio 8.5 mm			
Componentes	Patrón	%	Exp.1	%	Exp.2	%	Exp.3	%	Exp.4	%
Cemento	856.8	39	856.8	39	856.8	39	856.8	39	856.8	39
Arena	912.0	41.5	869.2	39.6	826.4	37.6	869.2	39.6	826.4	37.6
Agua	428.4	19.5	428.4	19.5	428.4	19.5	428.4	19.5	428.4	19.5
Fibra	0.0	0	42.8	1.94	85.6	3.89	42.8	1.94	85.6	3.89

La proporción de cemento necesita ser mayor si la arena no tiene una buena granulometría y si no se puede hacer la compactación con una máquina vibradora. En este caso como se estaba trabajando con arena de una granulometría gruesa se escogió relación arena/ cemento cercana a 1:1. Los resultados del análisis granulométrico de la arena utilizada se muestran en la tabla III.

Tabla III. Granulometría de la arena de la Cantera Victoria

Tamiz	Peso retenido en cada tamiz (g)	Peso retenido Acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasado (%)
3/8”	-	-	-	100
#4	15	15	3	97
#8	136	151	30,2	69,8
#16	111	262	52,4	47,6
#30	96	358	71,6	28,4
#50	68,5	426,5	85,3	14,7
#100	43	469,5	93,9	6,1
Fondo	28			`
∑total	497,5		336,4	

Demasiado arena generará un producto poroso y frágil. Muy poca arena implica desperdicio del cemento que es más caro y una mayor tendencia a desarrollar grietas durante el fraguado.
Para productos de fibrocemento se recomienda emplear arena con granulometría entre 0.06 y 2.0 mm. Como se observa en la tabla III, la arena Victoria presenta un retenido acumulado en el tamiz #8 (2.3 mm) del orden del 30.2 %, por lo que resulta una arena relativamente gruesa.

En la tabla IV se refleja el peso unitario suelto (P.U.S), el peso unitario compactado (P.U.C), el peso específico compactado (P.E.C), el peso específico suelto (P.E.S), el peso específico aparente (P.E.A) y otras propiedades de la arena Victoria.

Tabla IV. Caracterización Física de la arena Victoria

Propiedad	Arena Victoria
P.U.S (kg/m^3)	1576,3
P.U.C (kg/m^3)	1648,5
Tamiz 200 (%)	3,4 %
P.E.C	2,51
P.E.S	2,56
P.E.A	2,64
% Absorción	2.04
% volumen de Huecos	34.32

En la elaboración del material compuesto se empleó cemento Portland fresco de la fábrica del Mariel recogido directamente en la tolva y envasado en sacos de nylon para evitar la hidratación. Su caracterización física se presenta en la tabla V, en tanto que su resistencia mecánica se presenta en la tabla VI.

Tabla V. Ensayos físico del cemento P – 350 Mariel.

Ensayos físicos-mecánicos	Valor
Finura de molido (% pasado, tamiz 170)	2.30
Peso específico (g/cm^3)	3.10
Superficie Específica (Blaine) (cm^2/g)	3237
Consistencia normal (%)	24.0
Tiempo de fraguado inicial (horas)	0.95
Tiempo de fraguado final (horas)	2:20

Tabla VI. Caracterización mecánica del cemento P- 350 Mariel a distintos días de fraguado.

Resistencia a flexión (media)	3 Días	6.09 MPa
	7 Días	6,37 MPa
	28 Días	7,93 MPa
Resistencia a compresión (media)	3 Días	30.9 MPa
	7 Días	36,8 MPa
	28 Días	47,6 MPa

Propiedades físicas y de resistencia de los materiales compuestos bagazo mineralizado – concreto.

Visualmente se observó que en todos los morteros elaborados el amasado final es bastante homogéneo. Respecto a la compactación de los morteros, no presentó especiales problemas, si bien durante el enrasado de la probeta se produce la alineación de las fibras en el sentido longitudinal en la cara enrasada, así como la baja plasticidad de la mezcla dificulta la dosificación.

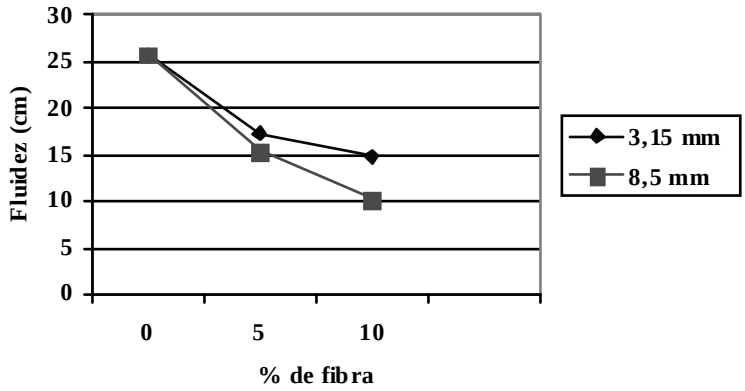
Existen varias propiedades que caracterizan al mortero fresco, pero en este caso se evaluó la fluidez o trabajabilidad que representa el grado de fluidez de la mezcla fresca. Ese valor, determinado con precisión de 5 mm, es la medida de la consistencia o movilidad de la mezcla.

Esta medida, también llamada asentamiento varía desde 2 a 18 cm, según el tipo de estructura y del procedimiento de colocación y compactación. Los hormigones con baja trabajabilidad presentan problemas de mezclado y problemas de compactación dentro de los moldes, lo que puede redundar en una disminución de la resistencia. Para mejorar la trabajabilidad de un hormigón, se puede añadir agua con la consiguiente disminución de resistencia, o se pueden incluir aditivos plastificantes que no disminuirán su resistencia final.

Como puede apreciarse en la figura 4, el incremento en la adición de fibras produce un descenso de la fluidez para cualquiera de los tamaños de partículas de bagazo estudiado, lo cual es debido a un incremento del área superficial de la porción fibrosa en la mezcla. Por otra parte, mientras más grande sean las partículas de bagazo, menor será el valor de fluidez para una misma carga

de fibras, ya que se incrementa el agarre y el amontonamiento entre las mismas. Se ha observado que las fibras de bagazo mineralizadas son más resbaladizas y se dispersan más aleatoriamente en la mezcla que las fibras sin mineralizar, por lo que son menos propensas al amontonamiento.

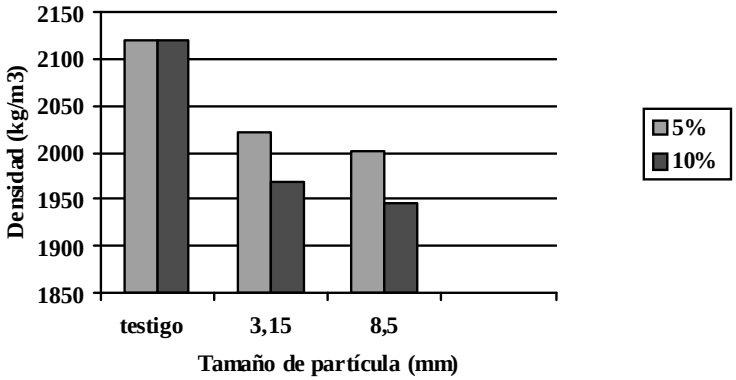
Figura 4. Fluidez de los morteros ensayados



La necesidad de disponer de un mortero ligero requerirá la utilización de agregados ligeros o fibras de baja densidad. Los morteros ligeros podrían ser utilizados en losas de edificios altos, en falso techos y paredes divisorias.

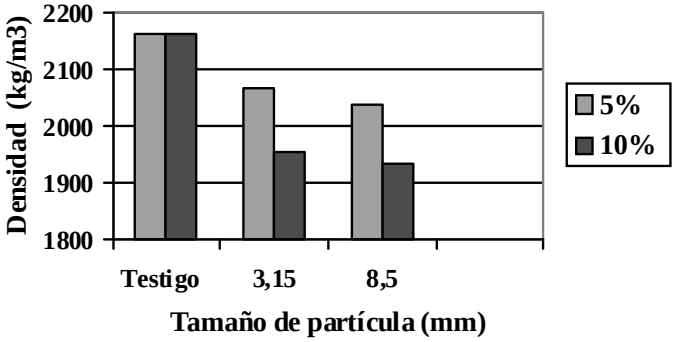
En las figuras 5 y 6 se observa que para un mismo tamaño de partícula del bagazo, la densidad del material compuesto disminuye al incrementarse la carga de fibras de un 5 a un 10 %, lo cual es una consecuencia de que las fibras, cada vez más, van ocupando mayor volumen, desplazando así elementos de la matriz como el cemento y la arena que son más pesados

Figura 5. Densidad de las probetas a los 7 días de curado



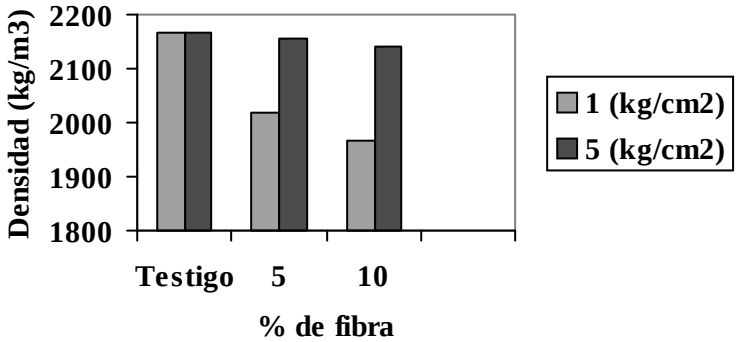
Es por ello que estos materiales compuestos van a ser más ligeros que el testigo que no tiene fibras. Para los materiales compuestos con adición de un 10 % de fibra en base cemento y tamaño de fibra de 3.15 mm y 8.5 mm, la densidad disminuye en un 7.16 % y un 8.30 % respectivamente a los 7 días de curado, mientras que a los 28 días de curado las reducciones son de 9.65 % y 10.72 % respectivamente.

Figura 6. Densidad de las probetas a los 28 días de curado



En la figura 7 se puede ver el efecto que produce la compactación en una prensa hidráulica sobre la densidad del material compuesto. Para una misma carga de fibras el efecto de incrementar la presión de 1 a 5 kg/cm^2 produce incrementos en la densidad, del orden del 6.26 % y el 8.17 % respectivamente para cargas del 5 y el 10 % de fibras, lo cual es sugerente, de que incrementando la presión de compactación del material compuesto podemos lograr densidades cercanas a la del testigo y por ende mayor resistencia mecánica.

Figura 7. Densidad de las probetas con fibras de 8.5 mm a los 28 días de curado



La velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas a través de dos caras paralelas de una probeta da un criterio del grado de adherencia representado por el estado en el cual dos superficies (fibra-matriz cementicia) se mantienen unidas por los efectos interfaciales que pueden consistir en fuerzas moleculares, acción de trabazón, o ambas. Como se observa en la tabla VII, para cualquiera de los planos en los que se hizo propagar la onda, se produce una disminución de la velocidad de propagación a medida que se incrementa la carga de fibra, debido a que se crean vacíos entre la fibra y la matriz que dificultan el traslado de la onda. El curado a los 28 días tiende a mejorar la adherencia y por tanto esto repercute en que se obtengan materiales con mejores resistencia.

Tabla VII. Velocidad de propagación (m/s) de las ondas ultrasónicas a través de las probetas.

	7 días de curado			28 días de curado		
Dirección	Largo	Ancho	Profundidad	Largo	Ancho	Profundidad
Testigo	3777	3025	3000	3525	3055	3063
5 % de fibra	2875	2563	2600	3100	2797	3140
10 % de fibra	2437	1950	1963	2890	2506	2403

El esfuerzo de compresión es una presión que tiende a causar una reducción de volumen. La resistencia a la compresión del hormigón, la cual define su calidad, depende de varios factores:

a) la relación agua/cemento (a/c = 0.5 a 0.7)

b) la dosificación

c) la forma de curado

d) la calidad de sus componentes (cemento y áridos)

Desde el punto de vista de propiedades físicas y mecánicas, como se aprecia en las figuras 8 y 9, se obtienen los resultados esperados en aquellos morteros en los que se fue incrementando la cantidad de fibra. Así, se obtienen menores valores de resistencia a compresión cuando se adiciona mayor carga de fibras, dado que, por una parte, la fibra es arrancada y no tiene buena cohesión con la matriz, y en el otro caso, se ha sustituido parte del árido por fibra. Como puede observarse la resistencia a compresión es mayor para el testigo (0 % de adición de fibras)

Figura 8. Resistencia a compresión de las probetas a los 7 días de curado

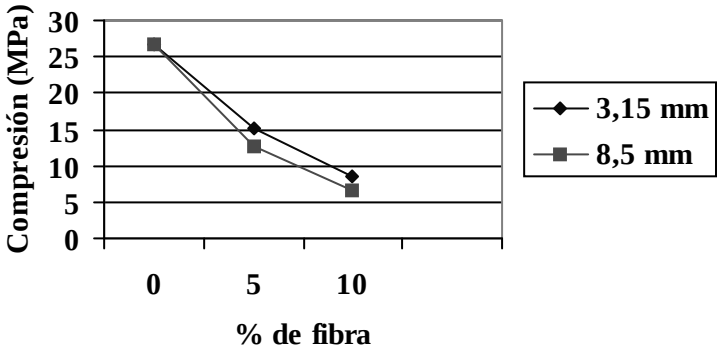
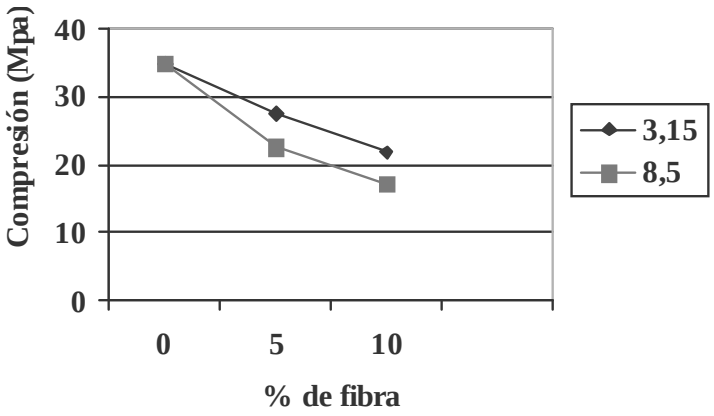


Figura 9. Resistencia a compresión de las probetas a los 28 días de curado

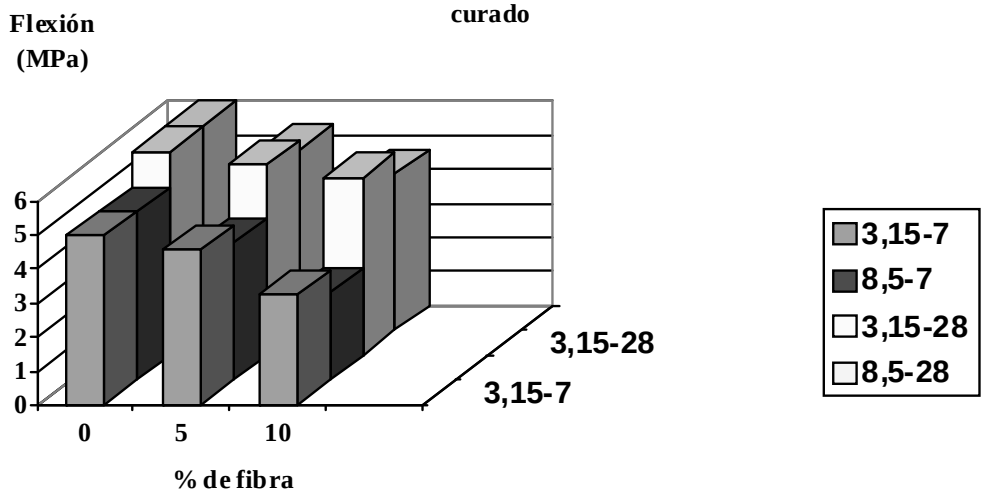


Puede observarse de acuerdo a la figura 10 que, como era de esperar, el curado a los 28 días mejoró la resistencia a flexión en todos los casos, la cual es mayor en el testigo, pero los valores de flexión correspondientes a la carga de 5 % de fibra se acercan bastante a los valores del testigo, tanto para los tamaños de partícula de 3.15 mm como de 8.5 mm, lo que sugiere, de acuerdo al comportamiento de estos materiales compuestos, para las condiciones dadas, que

valores de carga de fibra entre 0 y 5 % pudieran representar un pico en la resistencia a flexión por encima del testigo.

En resumen, se encontró que en la medida que se adiciona fibra a la matriz cementicia, se reduce la resistencia del material y la densidad del mismo, aspecto que coincide con lo denotado por otros investigadores (Juarez, 2004 y Shah, 1993)

Figura 10. Resistencia a flexión en probetas a los 7 y a los 28 días de curado



En la tabla VIII se observa que al aplicarle una presión de compactación de 5 kg/cm^2 a las probetas se obtienen materiales con una resistencia a compresión más cercana a la del testigo (0 % de fibras), en tanto que la resistencia a flexión supera a la del testigo. El material compuesto hecho con tamaño de fibra de 3.15 mm supera en propiedades al hecho con tamaño de fibras de 8.5 mm, probablemente debido a que las fibras tienen mejor distribución y acomodo dentro de la matriz.

Tabla VIII. Propiedades de resistencia de las probetas sometidas a 5 kg/cm^2 de presión y 28 días de curado.

Propiedades	Resistencia a flexotracción (MPa)			Resistencia a compresión (MPa)		
Carga de fibras (%)	0	5	10	0	5	10
Probetas con fibras de 3.15 (mm)	6.0	7.5	6.35	34.86	29.5	27.8
Probetas con fibras de 8.5 (mm)	6.0	6.9	6.19	34.86	28.2	25.6

El hormigón estructural con fibras puede ser clasificado sobre la base de su densidad (las propiedades físicas y mecánicas de este material están relacionadas con la densidad). Es normal trabajar con hormigones de 1200 y 1500 kg/m^3, los segundos están destinados a soportar ciertas cargas. Ambos hormigones pueden ser aserrados y clavados con herramientas ligeras, pero solamente los segundos proveen buena adherencia con los clavos. En cuanto a resistencias a compresión y flexión, los que tienen una densidad de 1200 kg/m^3 alcanzan valores a compresión de 60 a 80 kg/cm^2 (5.88 - 7.84 MPa) y a flexión de 20 a 30 kg/cm^2, (1.96 -2.94 MPa) y los segundos de 100 a 150 kg/cm^2 (9.80-14.70 MPa) y de 30 a 60 kg/cm^2 (2.94 - 5.88 MPa) a compresión y flexión, respectivamente. Estas consideraciones sugieren que la carga de fibras en los materiales compuestos aquí obtenidos puede incrementarse por encima del 10 %.

No existe uniformidad de criterios por parte de los investigadores en relación con la cantidad porcentual de fibras a adicionar a la mezcla y el incremento de la resistencia a la flexión del compuesto cementicio, estableciéndose márgenes entre un 6 y un 20 %.

Un refuerzo con alto contenido de fibras produce un hormigón “flexible”. Las fibras naturales de refuerzo son obtenidas a bajo costo y son de particular interés en regiones de menos desarrollo, donde los materiales de construcción son de menor accesibilidad o muy caros. Son especialmente útiles en la confección de paneles, tejas, tuberías, etc.

Conclusiones

La fibra de bagazo de caña, mineralizada con silicato de sodio, utilizada en la elaboración del concreto reforzado a compresión, le imparte propiedades mecánicas aceptables al material compuesto, especialmente la resistencia a la flexión, que sobrepasa a la correspondiente al testigo sin adición de fibra.

El material compuesto con la adición de fibras de bagazo mineralizadas del 10 % en relación al peso total del cemento, provoca reducciones en la densidad del material, a los 28 días de curado, que varían entre 9.65 % y 10.72 % para las probetas hechas con fibras con tamaños de partículas de 3.15 y 8.5 mm respectivamente, con respecto a probetas patrones con densidades promedios de 2165 kg/m^3, aspecto importante para la elaboración de paneles y tableros utilizados en paredes

divisorias y falso techo, especialmente de interés en las obras constructivas denominadas de bajo costo.

La resistencia a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña, mineralizadas con silicato de sodio, es inversamente proporcional al porcentaje de la fibra adicionada y a la longitud promedio de las partículas, aspecto que coincide con lo encontrado en ensayos realizados en otras fibras como el coco y el bambú, entre otros.

Referencias.

1. Acevedo, J. (2000) Desarrollo de paneles ligeros a base de fibras Orgánicas en matriz de cemento Portland" Centro de Estudio de Construcción y Arquitectura Tropical. CUJAE. 15 p

2. ICIDCA (1986) Productos aglomerados. La industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba. pp, 277-303.

3. Juarez, A; Rodríguez, P. (2004) Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. Ingenierías, Vol VII, N°22. pp 26-34.

4. Kurtis, K.E (2013) CEE 8813 Materials Science of Concrete, <http://www.ce.gatech
5. edu/%7Ekkurtis/concrete.html >, acceso en Marzo 2013.

6. Osorio, J. (2007) Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Dyna rev.fac.nac.minas v.74 n.153 pp 18-28. Medellín set./dez.

7. Shah, S; Marikunte, S. (1993) Fiber Reinforced Concrete, Proc. of ACBM Faculty enhancement Workshop, pp, 226 – 252.

8. Scrivener, Karen; Kirkpatrick, James. (2008) Innovation in use and research on cementitious material. Cement and Concrete Research 38 pp, 128–136.

INCLUSIÓN DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR EN LA OBTENCIÓN DE CEBOS RODENTICIDAS

SUGAR CANE BAGASSE INSERTIÓN IN RODENTICIDES BAITS

Pedro R Islen, Yosvell Rodríguez, Juan Fernández, Alberto García, Carlos Pérez

Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca 804 y Carretera Central. La Habana 11 000. Cuba

E-mail: pedro.islen@icidca.edu.cu

RESUMEN

Los rodenticidas son productos ampliamente utilizados en todo el mundo para el control de roedores. Tradicionalmente, los rodenticidas se formulan mezclando agentes microbiológicos o químicos que provocan hemorragias internas causantes de la muerte de los roedores conjuntamente con otros agregados, como los cereales, saborizantes, aglutinantes y otros aditivos que garantizan la funcionalidad y durabilidad del producto. Teniendo en cuenta el alza continua del precio de los cereales en el mercado internacional y sus bajas disponibilidades en el país para usos no alimentarios, así como la disponibilidad de subproductos de la agroindustria azucarera, en el ICIDCA se ha formulado un rodenticida que sustituye, parcialmente, hasta un 30 % de los cereales, por fibras de bagazo y por miel final. El rodenticida diseñado se preparó mezclando BRODIFACUM, un raticida anticoagulante basado en coumarinas , con otros componentes para su posterior pelletizado obteniéndose pellets de 12 mm de diámetro por 30 mm de largo, los cuales después de 15 días de curado, se diseminaron por un área de alta densidad de ratones. Las pruebas de campo mostraron que los ratones fueron atraídos por el cebo rodenticida y consumían el producto. Después de 4-5 días de haber aplicado el rodenticida se observaron varios ratones muertos, lo cual demuestra la factibilidad y efectividad de emplear este producto para disminuir la población de roedores.

Palabras clave: Rodenticida, Bagazo, Derivados y subproductos de la agro-industria azucarera.

ABSTRACT

The Rodents baits are products widely used in all countries for rodent's control. Usually are produced mixing chemicals o biological agents - who cause internal hemorrhagic to bring about rodent death. The bait also contains cereals, flavours, binders and other additives which guarantee the effect and long life of the product. Taking into account the cereals price increasing in the world market and low availability of them in the country for non-food uses, and the diversity and amounts of sugar cane by products, a new rodenticide bait with sugar cane bagasse which replaces up to 30% of the cereals by bagasse fibber and molasses has been developed in ICIDCA The rodenticide bait was designed with base on BRODIFACUM, a coumarin anticoagulant with other components and then pelletized yielding 12 mm diameter x 30 mm long pellets de 12 mm which 15 days alter the curing period were spread in a high density rodent area. The experimental test in the field showed that rodents were attracted by the rodenticide bait and feed the samples. Several rodents

were found death 4-5 days after the rodenticide bait was applied which demonstrate the feasibility of the use of this product to decrease rodent population in the country

Keywords: Rodenticide, Sugar Cane Bagasse, sugar cane byproducts

1-INTRODUCCIÓN

En toda la historia de la humanidad, los roedores han constituido un enemigo del hombre en muchos aspectos. Estos pequeños pero prolíferos animales, son potencial y realmente peligrosos y constituyen vectores biológicos y mecánicos de enfermedades infecciosas y parasitarias, Montalbán (2005). Cuando sus poblaciones alcanzan proporciones de plagas son un verdadero azote a los cultivos, productos agrícolas y otros alimentos destinados tanto al hombre como a los animales, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas, por daños directos, más los decomisos por contaminación con sus excreciones**,** González (1999).

Por su rápida reproducción, la gran capacidad de adaptarse a diferentes hábitats, asimilar los más diversos alimentos, además de su alta sensibilidad para detectar elementos nocivos incluidos en los cebos trampa, los roedores representan una de las plagas más complejas para su control, Xinrong (2004).

En el control de las poblaciones de roedores, se utilizan productos químicos agregados a cebos rodenticidas, tales como anticoagulantes de segunda generación (Brodifacoum) como principio activo, los cuales provocan la muerte por hemorragias internas, interrumpiendo los mecanismos normales de la coagulación. Son eficaces con una sola dosis y sus bajas concentraciones en los cebos no afectan a otros animales que puedan ingerirlos, Endepols (2003). Los cebos rodenticidas soportan al agente activo en altas proporciones de mezclas de cereales y otros aglutinantes y productos que le confieren uniformidad, además deben ser expuestos al medio ambiente y ser apetecible por los roedores, González (1999) y Gourmet (2001).

Las dificultades en la adquisición de cereales y otros componentes para la formulación de los cebos, los altos precios en el mercado, así como la competencia con la alimentación humana, han puesto en crisis la producción de los mismos e impulsan la búsqueda de elementos alternativos en la composición de los cebos a partir de fuentes más accesibles y menos costosas, Montalbán (2005).

Un elemento atractivo en este sentido son los residuos de la agroindustria azucarera, por los grandes volúmenes que se generan, por lo que se garantizaría una reducción de contaminantes al medio ambiente por la acumulación y descomposición de estos. La sustitución parcial o total en los cebos de cereal y parafina y la utilización de miel, significaría una reducción en los costos de producción y aumentaría la disponibilidad de los cereales en la alimentación humana, Molina (2008). En lo que nos concierne, se han realizado estudios exploratorios en cuanto a la formulación de cebos con inclusión de bagazo integral en sustitución de los cereales y utilización de otros productos de la agroindustria azucarera para la obtención de los cebos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se relacionan los materiales y sus características, equipos principales y método empleado para la obtención de los cebos rodenticidas.

Materiales

- **.** Bagazo integral molido

Tamaño promedio de partículas: 2 mm
Fibra: 55-60%
Médula: 30-35%
Densidad de bulto: 150 kg/m^3

. Trigo molido
Tamaño de partícula: 1mm
Humedad: 10%
Densidad de bulto: 690 kg/m^3

.Miel final
Concentración: 88 ^{0} Brix

.Brodifacoum (agente activo)
Pureza: 90%
.Parafina

Equipamiento

. Molino de martillos
. Balanza técnica de 10 kg
. Tamiz vibratorio, compuesto por 5 tamices
. Mezclador: Recipiente semicilíndrico, con tornillo sinfín y agitación horizontal
Capacidad: 4 kg.
Material: acero inoxidable (en contacto con el producto).
. Moldeador cilíndrico.
Tipo: Prensa hidráulica

Método

Se realizó una formulación exploratoria, fundamentalmente para la sustitución parcial del bagazo por el cereal en un 10, 20 y 30% con vista a conocer el entorno de los parámetros que soporta una formulación de cebos rodenticidas conformada, fundamentalmente con bagazo en sustitución parcial del cereal.

El bagazo integral se secó al aire y a continuación, al igual que el cereal, se molió hasta el tamaño de partícula deseado. Posteriormente, el bagazo se añadió al mezclador con el cereal, la miel y el Brodifacoum, durante un tiempo de mezclado de 20 min. Se sustrajo la mezcla del mezclador, llevándose al moldeador y a la prensa hidráulica para conformar los pellets, culminando con la atomización de parafina caliente para revestir el pellet. El análisis granulométrico se realizó en un sistema de tamiz vibratorio, compuesto por 5 tamices.

Descripción del proceso

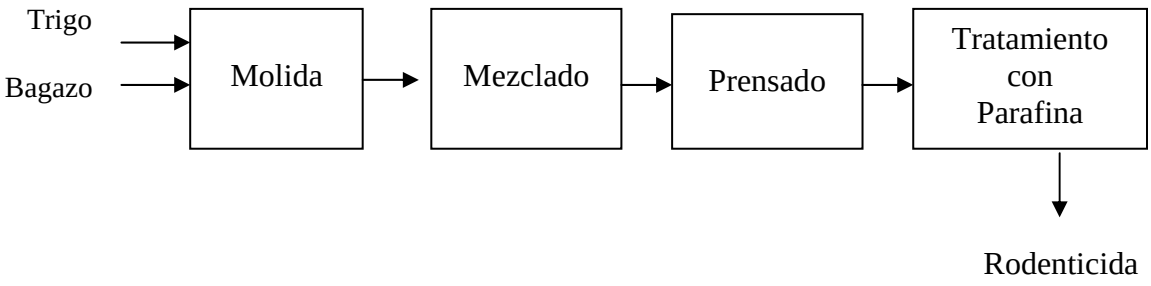
La molida del bagazo y del trigo se realizó independientemente en un molino de martillo donde adquirieron una granulometría adecuada con tamaño del grano que permite un mezclado homogéneo.

Después de molidos el bagazo y el trigo se pesaron en cantidades adecuadas y fueron suministrados a una mezcladora horizontal con paletas del tipo helicoidal. Seguidamente se le añadió la miel y el agente activo brodifacum, completándose el tiempo de mezclado predeterminado.

La mezcla obtenida se añadió a una prensa tipo pistón, con presión regulable donde se efectúo la aglomeración del producto por la acción de pelletizar, la cual consiste en compactar el material en cilindros pequeños, para obtener un menor volumen, aumentar la densidad de bulto y lograr mayor conservación del producto terminado.

Al producto obtenido se le atomizó parafina fundida para disminuir adsorción de agua y por tanto mejorar su conservación.

Figura 1. Esquema de obtención de cebos rodenticidas a escala piloto.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Preparación del trigo y del bagazo

El bagazo integral y el trigo se molieron en un molino de martillo. En el caso del bagazo integral se realizó una premolida y una molida

Resultados de la molida del bagazo y del trigo.

El análisis granulométrico se realizó en un sistema de tamiz vibratorio, compuesto por 5 tamices. Se obtuvo una mezcla homogénea y adecuada para el mezclado de los componentes. El 60% del retenido se encontró entre 0,5mmy 1,5mm.

Resultados de la molida del bagazo y del trigo.

El análisis granulométrico se realizó en un sistema de tamiz vibratorio, compuesto por 5 tamices. Los análisis se realizaron por duplicado, utilizando 50g de muestra en cada determinación. El equipo fue sometido a vibración durante 30 minutos. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas desde la I-IV

Tabla I: Distribución granulométrica de bagazo integral premolido.				
Tamiz (mm)	Peso retenido en cada tamiz (g)	Peso retenido acumulado (g)	Retenido acumulado %	Pasado %
5	0	0	0	0
3,15	0,1	0,1	0,2	99,8
2,5	0,2	0,3	0,6	99,4
1,6	0,3	0,6	1,2	98,8
1	7,3	7,9	15,8	84,2
0,25	19	26,9	53,8	46,2
Fondo	23,1			
Total	50			

Tabla II: Distribución granulométrica de bagazo integral molido				
Tamiz (mm)	Peso retenido en cada tamiz (g)	Peso retenido acumulado (g)	Retenido acumulado %	Pasado %
5	0,3	0,3	0,6	99,4
3,15	1,5	1,8	3,6	96,4
2,5	1,7	3,5	7	93
1,6	7,5	11	22	78
1	16,8	27,8	55,6	44,4
0,25	13	40,8	81,6	18,4
Fondo	9,2			
Total	50			

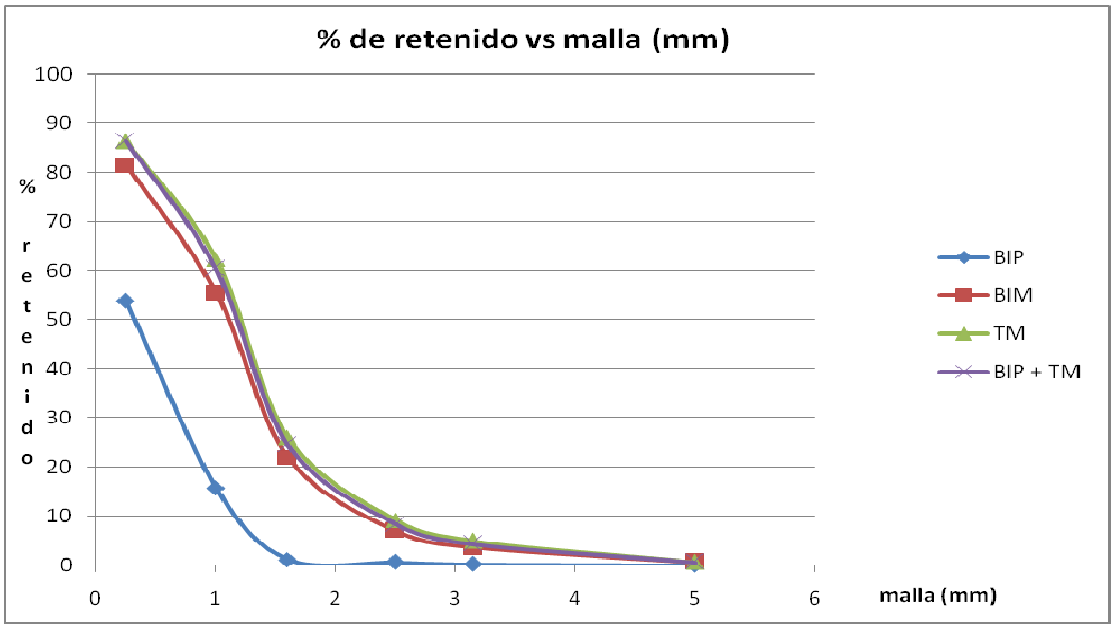
Tabla III: Distribución granulométrica de trigo molido				
Tamiz (mm)	Peso retenido en cada tamiz (g)	Peso retenido acumulado (g)	Retenido acumulado %	Pasado %
5	0,5	0,3	0,6	99,4
3,15	2	2,5	5	95
2,5	2,1	4,6	9,2	90,8
1,6	8,4	13	26	74
1	18,2	31,2	62,4	37,6
0,25	12	43,2	86,4	13,6
Fondo	6,8			
Total	50			

Tabla IV: Distribución granulométrica de bagazo premolido mezclado con trigo molido				
Tamiz (mm)	Peso retenido en cada tamiz (g)	Peso retenido acumulado (g)	Retenido acumulado %	Pasado %
5	0,5	0,3	0,6	99,4
3,15	1,7	2,2	4,4	95,6
2,5	2	4,2	8,4	91,6
1,6	8,1	12,3	24,6	75,4
1	17,9	30,2	60,4	39,6
0,25	13	43,2	86,4	13,6
Fondo	6,9			
Total	50			

En la tabla V se presentan los resultados obtenidos de la densidad de bulto del producto, para diferentes niveles de aplicación de presión y de inclusión de bagazo. Estos resultados se representan en la figura 2.

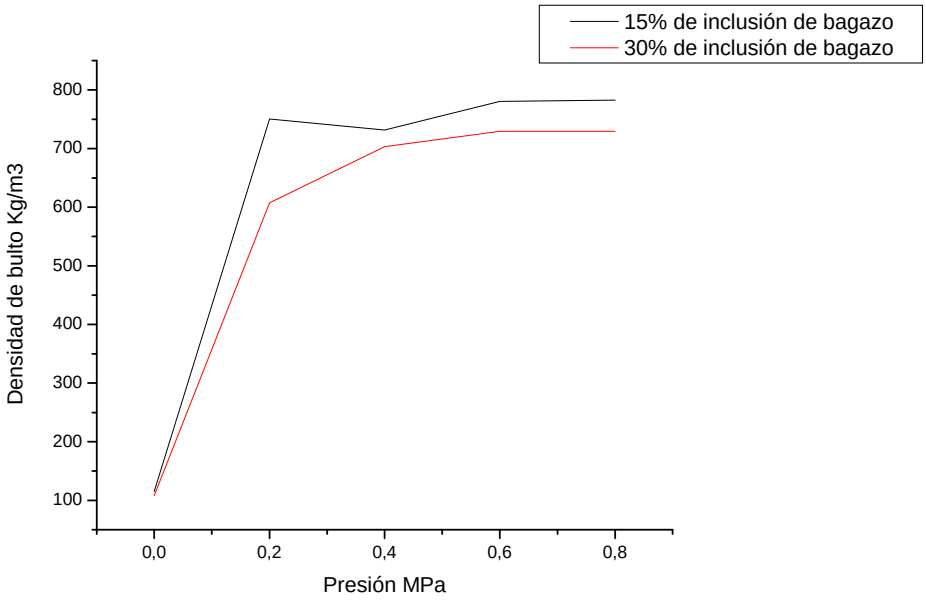
Tabla V. Densidad de bulto (kg/m3) de los cebos rodenticidas a diferentes niveles de presión y de inclusión de bagazo.		
Presión	**Inclusión de bagazo**	
(Mp)	**15 %**	**30 %**
0	115	108.2
0.2	650.2	607.5
0.4	731.5	703.3
0.6	780.3	729.4
0.8	782.6	729.4

Fig. 2 Representación de los resultados del análisis granulométrico de la materia prima.



BIP: bagazo integral premolido.
BIM: bagazo integral molido
TM: trigo molido
BIP + TM: bagazo integral premolido + trigo molido

Figura 3. Representación de la densidad de bulto (kg/m3) de los cebos rodenticidas a diferentes niveles de presión y de inclusión de bagazo.



Como se observa para ambos niveles de inclusión de bagazo, a medida que aumenta la presión aumenta la densidad de bulto del producto hasta un valor, donde después de este para un incremento de presión la densidad de bulto permanece constante.

Para un mismo valor de presión, disminuye la densidad de bulto a medida que se incrementa la inclusión de bagazo en el producto, desde 10 hasta 30 %, hasta un límite de 750 kg/m3 y 730 kg/m3 respectivamente, con la aplicación de 0.6 MPa.

Se realizaron los análisis de densidad de bulto y de prueba de caída libre del producto. La densidad de bulto del bagazo es inferior a la densidad de bulto del trigo, por lo que un aumento en la inclusión de bagazo, disminuye la densidad de bulto del producto, por tanto menor cantidad de este para un mismo volumen.
Se obtuvo a escala piloto producto con nivel de inclusión de hasta 30 % de bagazo, en sustitución del trigo, además de la utilización de 10 % de miel,

Se preparó 1kg de mezcla con una relación trigo-bagazo, con la siguiente composición:

Miel 10%
Brod 0.05%
Bagazo 30% en sustitución del trigo

Se prensaron los cebos, los cuales se obtuvieron con las siguientes características:

Peso promedio: 7.14g
Largo del pellet.....30 mm
Altura del pellet.....12 mm
Forma cilíndrica
Densidad de bulto: 750 kg/m^3

Se realizaron pruebas de caída libre del producto que había sido comprimido a presión mayor de 0.2 MPa desde 1 m de altura. Se observó que en ninguno de los casos hubo partidura de las piezas de rodenticida, para los diferentes niveles de bagazo.

Se realizó una segunda prueba exploratoria en cubículos donde se deposita bagazo colindante a la planta piloto de Cuba 9 donde se observan con frecuencia la presencia de roedores, cuevas y sus excretas que corroboran que han tomado ese territorio como su hábitat. Se depositaron cebos rodenticidas cerca de las cuevas y posibles rutas que toman estos roedores. A los 4-5 días de haberse aplicado el rodenticida se observaron ratas muertas y a medida que pasaron los días los trabajadores informaban que no observaban ningún roedor.

4. CONCLUSIONES

- Se logró sustituir hasta un 30% del cereal por bagazo integral.
- El pellet obtenido es de calidad aceptable, apetecible para las ratas y ratones, pudiendo constituir un ahorro significativo por la sustitución parcial del cereal por el bagazo.
- Se demostró el efecto positivo del empleo del producto obtenido para la eliminación de ratas y ratones.

5. REFERENCIAS

- Endepols, S. (2003), Composition rodenticide. BAYER CROPSCIENCE AG. FR2839421 ed.
- Gonzalez, A. (1999), Venomous bait in paste form for controlling plaguesvof rodents. CN 2129376 ed.
- Gourmet, T. (2001), Preparation of a rodentical product.. CAMDA FR 2809594 ed
- Molina, R. (2008). Estudio de previabilidad Producción de cebos rodenticidas en la UIP' Cuba 9.
- Montalbán, M. (2005), Análisis del estado de la técnica sobre rodenticidas. COMPITEC.
- Xinrong, L. (2004), Mouse killing agent. XINHAOYA CHEMICAL CO LTD XINHU. CN 1561743 ed.

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA INFLUENCIA DE LAS MICROONDAS EN LA HIDRÓLISIS ALCALINA DEL BAGAZO.

PRELIMINARY STUDIES ON THE MICROWAVE TREATMENT ON THE ALKALINE HYDROLYSIS OF THE BAGASSE.

Daisy Dopico, Yelenys Hernández, Eduardo Bordallo, María I. Céspedez, Amalia Cámara, Jorge Luis García.

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

daisydopico@yahoo.com

RESUMEN

La disminución de las reservas de combustibles fósiles y el deterioro del medio ambiente ha obligado a la búsqueda de nuevas alternativas dentro de las cuales la biomasa lignocelulósica (BCL) constituye una fuente segura e inagotable como base de la industria del futuro bajo el concepto de biorefinería. La BLC posee una estructura muy compleja donde sus componentes se encuentran fuertemente entrelazados por lo que su separación requiere varias etapas consumidoras de reactivos químicos y energía. Dentro de las nuevas tecnologías para la conversión de la BLC en productos de alto valor agregado se encuentra las microondas.
El objetivo de este trabajo ha sido investigar la influencia del tratamiento con microondas sobre la hidrólisis alcalina del bagazo para obtener derivados de celulosa. El material de partida es bagazo prehidrolizado que se trata con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio (14, 17, 20 %) y tiempos de exposición a microondas (15, 30, 45 minutos). Se mantiene constante temperatura (88 ºC), tamaño de partículas, relación sólido-líquido y potencia de microondas. Se caracteriza la fase sólida mediante composición química y la fase líquida por el contenido de azúcares totales y recuperación de lignina. Los resultados obtenidos se comparan con métodos tradicionales. Con 20 % de hidróxido de sodio, 30 minutos de exposición a microondas y 88 ºC se obtiene el mejor valor de celulosa 83,2%, el cual es comparable con los resultados obtenidos por métodos tradicionales a 160 ºC.

Palabras clave: bagazo, microondas, celulosa, lignina, azúcares totales.

ABSTRACT

The decrease of the fossil fuels stocks and environment deterioration have required the searching of renewable sources, among them, the lignocellulose biomass (LCB) constitutes a safe and inexhaustible alternative as the base for the future industry according to the modern concept of biorefinery. The LCB possesses a very complex structure, where their components are strongly bonded, that is why their separation, in several stages, requires the consumption of chemical and energy. The microwave is one of the new technologies for the conversion of the LCB into products of high added value. The objective of this paper has been to investigate the influence of the treatment with microwaves on the prehydrolyzed bagasse in order to get cellulose derivatives. This material is treated with different concentrations of sodium hydroxide (14, 17 and 20 %) and microwaves exposure times (15, 30 and 45 minutes). The temperature (88

ºC), the particle size, the solid to liquid ratio and the microwaves power are kept constants. The solid phase is characterized by means of its chemical composition, while the liquid phase is characterized by means of the contents of total sugars and lignin recovery. The obtained results by microwave method are compared to those ones obtained by the traditional pulping method. The higher value of cellulose content (83.2 %) is obtained with 20 % of sodium hydroxide at 30 minutes of microwave exposition time and 88 ºC, which is comparable with the results obtained by the traditional pulping method at 160 ºC.

Keywords: bagasse, microwave, cellulose, lignin, total sugars.

INTRODUCCIÓN

Las microondas son radiaciones electromagnéticas con un rango de frecuencias desde 300 hasta 300 GHz, con longitudes de onda de 1m a 1 mm *Asikkala, (2008).* La energía de las microondas es tan baja que solamente induce la rotación molecular. Las microondas no tienen efecto sobre los enlaces moleculares o nubes electrónicas como es el caso de las radiaciones electromagnéticas infrarrojas (IR) o de la región visible. La frecuencia utilizada en aplicaciones de calentamiento es generalmente 2 450 MHz (longitud de onda de 12,2 cm) y para aplicaciones industriales 915 MHz (32.8 cm de longitud de onda).

El desarrollo de esta tecnología se inició con la invención del radar, ya que se necesitaba una frecuencia única de microondas, lo que condujo al desarrollo del magnetrón. El efecto de calentamiento con microondas fue descubierto por accidente. *Percy Spencer (1950)* de la Raytheon Company fue la primera persona en darse cuenta del potencial de las microondas como una aplicación para la vida, lo que condujo a la invención del primer horno de microondas comercial en 1954.

La primera publicación conocida sobre el uso de microondas en el calentamiento de reacciones orgánicas es la modificación del almidón en 1974 citado por *Verberne (1976).* Pasó algún tiempo antes de que el calentamiento por microondas fuera ampliamente aceptado en la síntesis orgánica, debido a los resultados no reproducibles del horno de microondas doméstico. En las últimas décadas, se han desarrollado reactores de microondas especialmente para la química donde se puede ajustar y medir con precisión la presión, la temperatura y la potencia de calentamiento, por lo que los tratamientos con microondas han alcanzado un auge cada vez mayor *Deshayes (1999); Larhed, (2002); Leadbeater (2006); Zhang (2010).*

El escalado es una de las interrogantes del uso microondas y aún es insuficiente el número de artículos relacionados con el tema. Uno de los inconvenientes de las microondas es la profundidad de penetración de la radiación. Cuando se emplea como medio de reacción un disolvente polar que absorbe, la potencia de microondas se reduce a la mitad por cada 2,5 cm que recorre en el medio. Esto limita el diámetro del reactor, que es un inconveniente para el escalado. La profundidad de penetración depende de la longitud de onda utilizada, con menores longitudes de onda se logra una mayor penetración ya que poseen mayor energía, por lo que disminuyendo la longitud de onda es posible construir reactores de mayor tamaño. Otra forma de resolver el problema de la penetración es la construcción de reactores de flujo continuo *Gabriel (1998) y Loupy (2002).*

Se ha demostrado que las microondas aceleran las velocidades de reacción, e incrementan la selectividad y los rendimientos. Pero en muchas ocasiones es difícil explicar cómo se produce este efecto ya que depende del caso particular. *Kuhnert (2002) De la Hoz (2005) Garbacia (2003) Perreux (2001).* Una de las hipótesis que mejor lo describe es que durante los procesos convencionales el calentamiento se produce por transferencia de calor. Los tratamientos con microondas permiten reducir el consumo de energía porque los dipolos poseen tiempos de relajación grandes por lo que no tienen tiempo para orientarse y por tanto un

cambio rápido del campo eléctrico produce calor debido a que los dipolos se golpean entre sí cuando algunos se relajan y otros se excitan, esto se ilustra en la figura 1.

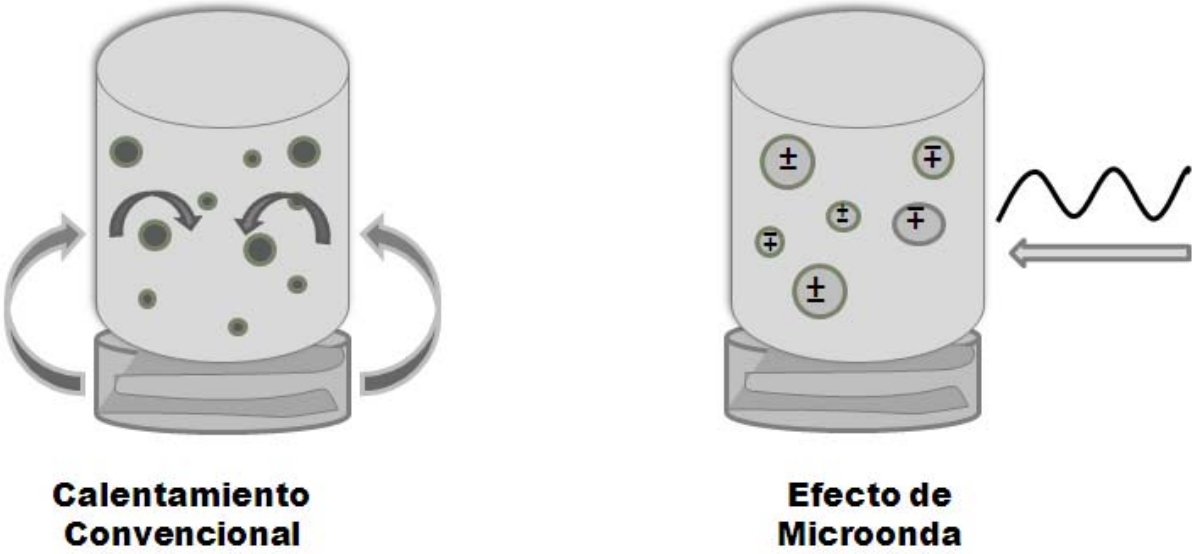


Figura 1. Esquema del calentamiento convencional y el tratamiento con microondas.

En el 2011, Chen y colaboradores reportaron que tratando el bagazo de caña de azúcar con microondas y temperaturas entre 170-190ºC durante 5 y 10 minutos al se puede lograr un material adecuado para la hidrólisis enzimática posterior ya que se rompe la estructura cristalina de la celulosa, además cuando se añade ácido sulfúrico se remueven alrededor del 95 % de las hemicelulosas presentes en el bagazo. Resultados similares se reportan para diferentes materias primas: bagazo de sorgo dulce por *Bészedes (2011),* switchgrass por *Keshwani (2007)* y en pseudotallo de plátano por *Cittibabu (2011).*

Un trabajo de *Ding (2012)* que tuvo como objetivo el uso de la cáscara de coco para la obtención de azúcares fermentables, reporta los resultados comparativos de procedimientos convencionales y con microondas. Los resultados demuestran que utilizando microondas en medio alcalino se obtiene un alto rendimiento de azúcares fermentables. Las imágenes de microscopía muestran que durante el tratamiento con microondas se rompe la estructura del material, aumenta el área superficial interna y desaparece la estructura de la lignina, todo esto conduce a que las enzimas tengan mayor acceso al material y aumente el contenido final de azúcares reductores.

Otro trabajo publicado por *Segneanu y col (2011),* en el cual se realizó un pretratamiento ácido combinado con irradiación por microonda a tres tipos de madera para demostrar que disminuyen los tiempos de reacción y que se mantiene un calentamiento uniforme en la mezcla de reacción. Los mejores rendimientos de azúcares fueron obtenidos realizando el pretratamiento con microonda a las maderas suaves y hierbas a 140ºC por 30 min y una concentración de H_2SO_4 de 0.82%, lo que demuestra que no es necesario utilizar altas concentraciones de ácido ni altas temperaturas. Las maderas suaves y otras plantas son más fáciles de hidrolizar que las duras.

El objetivo de este trabajo es investigar la influencia del tratamiento con microondas sobre la hidrólisis alcalina del bagazo para obtener derivados de celulosa.

MATERIALES Y METODOS.

El material de partida fue bagazo de caña de azúcar con 15 días de almacenamiento, proveniente del Central Manuel Fajardo de Mayabeque, que se caracterizó previamente y se desmeduló en suspensión. Posteriormente se realizó prehidrólisis acuosa en un digestor rotatorio de 18 L de capacidad, a 180ºC durante 1h. El material se trató con diferentes concentraciones de hidróxido de sodio (14, 17, 20 %) y tiempos de exposición a microondas (15, 30, 45 minutos). Se mantuvo constante la temperatura (88 ºC), tamaño de partículas, relación sólido-líquido (1:10) y potencia de microondas (900 W).

Los experimentos se realizaron utilizando el equipamiento que se muestra en la figura 2. La mezcla reaccionante, preparada en un balón, se introduce en el horno de microondas que está equipado con control externo de temperatura y potencia. En este estudio se trabajó con temperaturas por debajo de las deseadas por limitaciones del equipo, y en la literatura se reportan temperaturas superiores.

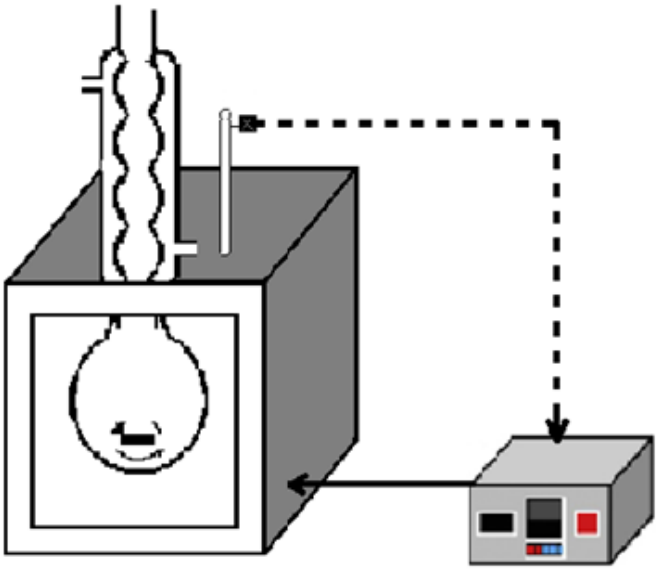


Figura 2. Esquema del equipamiento utilizado durante los experimentos.

La fase sólida se caracterizó mediante composición química y la fase líquida por el contenido de azúcares totales y recuperación de lignina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En la tabla I se muestra la composición del bagazo desmedulado y prehidrolizado usado durante la investigación.

Tabla I. Composición de la materia prima.

Respuestas (%)	Bagazo desmedulado en suspensión	Bagazo desmedulado y prehidrolizado
Pentosas	27.1	10.9
Cenizas	1.9	1.2
Celulosa	42.9	63.4
Lignina	21.4	24.6

Lo más significativo de estas características es que el contenido de pentosas en el bagazo prehidrolizado es superior a lo reportado en la literatura y obtenido por el autor después de la prehidrólisis acuosa. Esto se pudiera explicar por el poco tiempo de almacenamiento del bagazo.

En la tabla II se reportan los resultados obtenidos en los experimentos realizados.

Tabla II. Resultados obtenidos durante la hidrólisis alcalina asistida con microondas.

Experimento	% NaoH	Tiempo (minutos)	% Celulosa	Azucares totales (g/L)
1	14	15	80.0	4,3
2	14	30	79.3	4,8
3	14	45	82.5	4,9
4	17	15	79.6	4,3
5	17	30	79.6	4,7
6	17	45	81.1	4,6
7	20	15	78.5	4,3
8	20	30	83.2	4,8
9	20	45	78.1	5,5
10 (No MW)	20	45	61.2	2,8

Los resultados demuestran que la utilización de microondas permite disminuir el consumo de energía, y comparando con la literatura se obtienen resultados similares a los publicados por *Fernández (1990)* para el bagazo con temperaturas superiores. En otros experimentos realizados por el autor también se obtienen resultados análogos a 160ºC.

Los mejores resultados se obtienen con 20 % de hidróxido de sodio, 30 minutos de exposición a las microondas y 88 ºC de temperatura, donde el valor de celulosa es de 83,2%. La data indica que a valores superiores de exposición a microondas y mayores temperaturas comienza a degradarse la celulosa y esto se induce porque aumenta el contenido de azúcares reductores.

CONCLUSIONES.

- Se demuestra que con el uso de las microondas se puede disminuir el consumo de energía durante la hidrólisis alcalina del bagazo de la caña de azúcar.

- El porciento de celulosa mayor se obtiene con 20 % de NaOH, tiempo de exposición a microondas de 30 minutos y 88ºC. Desde el punto de vista del autor estos resultados son comparables cualitativamente con los obtenidos mediante pulpeo químico a 160 ºC e igual porciento de reactivos químicos y tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. Spencer P, L. (1950). Method of treating foodstuff. US patent US patent office. 2605383.
2. Verberne, P.; Vlot, T. (1976). Chemical modification of starches.
3. Deshayes, S.; Liagre, M.; Loypy, A.; Luche, J.; Petit, A. (1999). Microwave activation in phase transfer catalysis. Tetrahedron 55(36), 10851.
4. Larhed, M.; Moberg, C.; Hallberg, A. (2002). Microwave-Accelerated Homogeneous Catalysis in Organic Chemistry. Accounts of Chemical Research 35(9), 717.
5. Leadbeater, N.E.; Williams, V.A.; Barnard, T.M.; Collins Jr MJ. (2006). Open-Vessel Microwave-Promoted Suzuki Reactions Using Low Levels of Palladium Catalyst: Optimization and Scale-Up. Organic Process Research & Development 10(4), 833-837.
6. Zhang, Z. H. and Zhao, Z. K. (2010). Microwave-Assisted Conversion of Lignocellulosic Biomass into Furans in Ionic Liquid. Bioresource Technology 101(3), 1111-1114.
7. Gabriel C, Gabriel S, Grant EH, Halstead BSJ & Mingos CMP. (1998). Dielectric parameters relevant to microwave dielectric heating. Chemical Society Reviews 27(3), 213.
8. Loupy Ae. (2002). Microwaves in organic synthesis. Wiley-VCH, Weinheim.
9. Asikkala, J. (2008). Application of ionic liquids and microwave activation in selected organic reactions. Academic dissertation to be presented, with the assent of the Faculty of Science of the University of Oulu. http://herkules.oulu.fi, 2008.
10. Kuhnert, N. (2002). Microwave-Assisted Reactions in Organic Synthesis - Are There Any Nonthermal Microwave Effects? Angewandte Chemie International Edition 41(11), 1863.
11. De la Hoz, A.; Diaz-Ortiz A.; Moreno, A. (2005). Microwaves in organic synthesis. Thermal and non-thermal microwave effects. Chemical Society Reviews 34(2), 164.
12. Garbacia, S.; Desai, B.; Lavastre, O.; Kappe, CO. (2003). Microwave-Assisted Ring-Closing Metathesis Revisited. On the Question of the Nonthermal Microwave Effect. Journal of Organic Chemistry 68(23), 9136.
13. Perreux, L.; Loupy, A. (2001). A tentative rationalization of microwave effects in organic synthesis according to the reaction medium and mechanistic considerations. Tetrahedron 57(45), 9199.
14. Segneanu, A.; Macarie, C.; Pop, R.; Balcu, I. Combined Microwave – Acid Pretreatment of the Biomass. www.intechopen.com revisado 14-2-12.
15. Ding, T. Y.; Hii, S. L.; Ong, L.G.A. (2012). Comparison of pretreatment strategies for conversion of coconut husk fiber to fermentable sugars. BioResources 7(2), 1540-1547.
16. Chen, Wei-Hsin; Tu, Yi-Jian; Sheen, Herng-Kuang. (2011). Disruption of sugarcane bagasse lignocellulosic structure by means of dilute sulfuric acid pretreatment with microwave-assisted heating. Applied Energy 88, 2726–2734.
17. Beszédes, S.; Ábel, M.; Szabó, G.; Hodúr, C.; László, Z. (2011). Enhanced enzymatic saccharification of agrifood solid wastes by microwave pre-treatment. J. Annals of Faculty engineering Hunedoara-International, Romania. Journal of Engineering, Tomo IX, Fasciculo 3, 453-8
18. Keshwani, D.R.; Cheng, J. J.; Burns, J.C.; Li, L.; Chiang, V. (2007) Microwave Pretreatment of Switchgrass to Enhance Enzymatic Hydrolysis. Written for presentation at the ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Minneapolis Convention Center Minneapolis, Minnesota 17 - 20 June 2007. http://digitalcommons.unl.edu.
19. Chittibabu, S.; Rajendran, K.; Santhanmuthu, M.; Saseetharan M.K. (2011). Optimization of microwave assisted alkali pretreatment and enzymatic hydrolysis of Banana pseudostem for bioethanol production. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE vol.6, 67-71. IACSIT Press, Singapore.
29. Liu, J.; Takada, R.; Karita, S.; Watanabe, T.; Honda, Y.; Watanabe, T. (2010) Microwave-assisted pretreatment of recalcitrant softwood in aqueous glycerol. Bioresource Technology 101, 9355–9360.

PROPIEDADES FISICAS DE MOLDEADOS DE CELULOSA A PARTIR DE CELULOSA DE BAGAZO Y PASTA RECICLADA

STUDIES PHYSICAL PROPERTIES OF MOLDED CELLULOSE FROM BAGASSE CELLULOSE AND RECYCLED PULP.

Aracelia Hernández Gutiérrez y Alejandro Abril González
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, ICIDCA

RESUMEN

De los materiales para envase y embalaje de alimentos disponibles en la actualidad con la resistencia física adecuada para su uso, la pulpa de celulosa moldeada es de los más amistosos ambientalmente, pues se elabora fundamentalmente a partir de papel y cartón recuperados, de materiales de desecho de la agricultura y de celulosa de diferentes fuentes fibrosas como la del bagazo de la caña de azúcar. Son también reciclables y 100% biodegradables y de esta forma como productos amigables con el ambiente están destinados a ser los más fuertes en el mercado del siglo XXI además servir de envases para diferentes productos, tanto grandes y pesados como para pequeños y delicados.
Los plásticos, y en particular el poliestireno expandido EPS, constituyen los materiales moldeables que más se utilizan para la elaboración de productos desechables. Sus excelentes características y sus bajos costos de producción, hacen que sean altamente demandados para la elaboración de los más diversos envases, sin embargo presentan el gran problema de no ser biodegradables, por lo que ocasionan contaminación por desperdicios y constituyen en la actualidad una fuerte preocupación medioambiental.
El objetivo del presente trabajo ha sido presentar de forma preliminar los resultados obtenidos en las propiedades físicas de moldeados de celulosa para la fabricación de envases de alimentos a partir de pulpas de papel recuperado y de bagazo de la caña de azúcar empleando medios químicos auxiliares.

Palabras clave: moldeados de celulosa, papel recuperado, propiedades físicas, celulosa de bagazo

ABSTRACT

The main raw material for the production of molded cellulose continues being the recovered paper, alone or in mixture with other types of pulps. Usually, it generates drainage problems in the formation of molded pulps and aditionaly in the dimensional stability when it is drying. Generally these problems are solved adding other pulp types, constituting mixtures of recovered pulps in different proportions with virgin pulps according to the case.
Molded cellulose pulp can be a direct replacement and perfect alternative for expanded polystyrene (EPS) and corrugated die-cut packaging in the new era of environmental awareness. Molded Pulp can be used to protect large heavy items as well as small delicate products
The present paper deals with the results obtained, in a preliminary way, in the physical properties of molded cellulose for the production of food containers. Molded cellulose containers from recovered paper and virgin chemical pulp from bagasse sugar cane with chemical additives were obtained.

Key words: molded cellulose, recovered paper, physical properties,

INTRODUCCIÓN

Los productos moldeados de celulosa se obtienen de muy variadas formas, y en razón a su diseño en tres dimensiones, solo la imaginación limita el posible uso, siendo los más frecuentes:

• Como envases de alimentos, por ejemplo, platos, bandejas para vasos, entre otros;

• En el envase y distribución de alimentos, en bandejas y estuches para huevos, bandejas para frutas, cajas para pizzas; bases y bandejas para vinos;

• En productos especializados, como por ejemplo macetas de germinación, recipientes médicos desechables;

• Y para el embalaje de productos de distintos tamaños y formas donde productos moldeados de celulosa encajan perfectamente en el envase (embalaje de elementos informáticos, herramientas, etc.), ó utilizando pequeñas piezas moldeadas como material de relleno.

De todas esas funciones, las formas más utilizadas y conocidas se encuentran en el sector de los embalajes, donde cumplen la función de proteger un producto durante su transporte y manipulación. Una pieza moldeada destinada a contener un producto, es un material formado en compartimientos para inmovilizarlo y amortiguar los golpes y las vibraciones.
Entre las propiedades de la celulosa moldeadas atractivas para el mercado según su uso, pueden destacarse:

- Las propiedades de los estuches para huevos que ayudan a preservar la temperatura de los mismos y absorben el exceso de humedad;
- el diseño de las bandejas para frutas donde se evita el roce entre ellas absorbiendo además el exceso de humedad generado por la fruta o el proveniente de la condensación formada por cambios bruscos de temperatura, reduciendo el peligro de multiplicación de hongos y bacterias.
- Las propiedades físicas de las bandejas utilizadas con productos comestibles, como la resistencia en húmedo por la aplicación de aditivos químicos, lo que permite desembalar los alimentos que liberan humedad sin romperse, y la porosidad que permite el paso del oxígeno manteniendo los productos frescos por más tiempo.

La materia prima más utilizada para la fabricación de moldeados sigue siendo el papel recuperado, solo o en mezcla con otros tipos de pulpas. Esta materia prima suele generar problemas de drenado en la formación y de estabilidad dimensional en el secado. Estos problemas se solucionan habitualmente agregando otros tipos de pulpa, constituyendo mezclas de materiales recuperados en distintas proporciones con pulpas vírgenes según el caso.
En el presente trabajo se presentan de forma preliminar los resultados obtenidos en las propiedades físicas de celulosa moldeada para la fabricación de envases de alimentos a partir de pulpas de papel recuperado y de bagazo de la caña de azúcar empleando medios químicos auxiliares.

MATERIALES Y METODOS

En lo que se refiere a productos moldeados a partir de pulpas celulósicas, la ausencia de normas específicas para evaluar las características y propiedades de las mismas ha conducido a algunos autores a adaptar y/o adoptar normas de ensayo estandarizadas para embalajes de otros materiales, fundamentalmente las de papel y cartón.

La evaluación de las propiedades de los de los moldeados de celulosa a escala de laboratorio se llevó a cabo simulando el peso de las bandejas estudiadas a partir de la formación de hojas de igual peso y similar calibre.

Para el desarrollo del trabajo se utilizó un diseño de experimentos 3^2 con 2 puntos centrales y 7 variables dependientes. .Se emplearon papel recuperado y pulpa química de bagazo las que se pesaron de forma independiente para alcanzar la consistencia de 0.5-0.6% en agua destilada. Se desintegraron en un desintegrador de laboratorio, se mezclaron con posterioridad en proporción de 80-20 % respectivamente y seguidamente se le adicionaron los aditivos químicos para impartir propiedades especiales, siempre en el mismo orden. Las dosis empleadas en base seca fueron de 0.5, 1 y 1.5% del encolante interno así como de 1, 4 y 7 % para el agente de resistencia en húmedo. Se distribuyeron en la dispersión con agitación durante 15 minutos buscando un adecuado mezclado de los aditivos químicos con las pulpas y se procedió entonces a la etapa de formación de los moldes en forma de hojas del gramaje deseado, en el equipo Rapid Köthen (norma ISO 5269-1998) para posteriormente evaluar sus propiedades físicas.

El agente encolante empleado para el control de la absorción de agua de los moldeados fue una emulsión acuosa de color blanco, con contenido de sólidos de 8 %, viscosidad Brookfield de hasta 50 mPa s y densidad de 1020 kg/m^3 de amplio uso en la industria del papel. Se aplicó en dosis de 0,5 y 1,0 %.

El aditivo para impartir resistencia en húmedo empleado, que le confiere a la pulpa moldeada resistencia física cuando se ponen en contacto con el agua dada su capacidad de formar enrejados que protegen los moldes de celulosa de su efecto sobre los enlaces por puentes de hidrógeno, fue una resina de poliamidamina- epiclorhidrina libre de folmaldehído de color amarillo transparente, con contenido de sólidos de 12,5 % y viscosidad de 100 m Pa s. Este aditivo proporciona otras ventajas como el aumento de la resistencia en seco una mayor retención de fibras y cargas como resultado de la floculación de los componentes más finos de las pastas celulósicas en el agua blanca.

Ambos aditivos cumplen con los requisitos de la recomendación de la Dirección de Sanidad Federal Alemana “Moldeados de Celulosa para el contacto con productos alimenticios”.

Las propiedades estudiadas en los moldeados de celulosa o variables independientes fueron las mismas que se emplearon en la evaluación de las bandejas que se tomaron como prototipo y fueron las siguientes:

Peso: es la masa de la muestra, expresada en gramos (g).

Calibre: o espesor, se expresa en milímetros. Se mide con un micrómetro de alta precisión y se toma como la distancia perpendicular entre dos superficies paralelas, planas y circulares, con un diámetro aproximado de 16 mm según norma ISO 534-1988

Rigidez Taber: Es la fuerza necesaria para flexionar una muestra rectangular, sujeta por un extremo con un ángulo de 15º en condiciones normalizadas. (ISO 2493-1992).

Absorción de agua (método Cobb): Se pesa una muestra inmediatamente antes y después de la exposición de una de sus caras al agua durante un tiempo especificado, después de eliminar el agua superficial con un papel secante. El resultado del aumento de la masa se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m^2). El área usada para esta prueba es 100 cm^2 según la norma ISO 535-1991.

Resistencia al Estallido: Es la presión límite que soporta una muestra cuando se aplica la misma perpendicularmente a su superficie. Se expresa en kPa. (Norma ISO 2759-2001).

Resistencia al estallido en húmedo: Es la resistencia al estallido de la muestra, después de inmersión en agua durante un tiempo especificado, expresado en kPa. (Norma ISO 2759-2001)

RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla I aparecen reportadas las propiedades físicas de una bandeja de celulosa moldeada que se utilizó como prototipo en la que se envasan alimentos y es un tipo comúnmente comercializado.

Tabla I. Propiedades de la bandeja prototipo

Encolante (%)	Peso (gr)	Calibre (mm)	Rigidez (mN)	Estallido (kPa)	Est H (kPa)	Enc. A (g/m^2)	Enc. B (g/m^2)
Bandeja prototipo	**10.32±0.01**	**0.71±0.01**	**520±67**	**308 ±11**	**210±10**	**24 ±3**	**25±2**

Como puede observarse se trata de un moldeado de celulosa comercial para el envasado de alimentos de excelentes características físicas como son una alta resistencia en húmedo, que combinado con su baja absorción de agua dada por el método Cobb, indica que es adecuado para el envase de alimentos húmedos o que puedan ir liberando esa humedad sin romper el envase. También presenta una adecuada rigidez.

En la tabla II se muestran los resultados en las mismas propiedades cuando se adicionaron el agente encolante y el aditivo para la resistencia en húmedo como resultado un diseño de experimentos 3^2 con 2 puntos centrales y 7 las variables dependientes escogidas.

Tabla II. Propiedades de los moldeados de celulosa obtenidos

Encolante (%)	PAE (%)	Peso (gr)	Calibre (mm)	Rigidez (mN)	Estallido (kPa)	Est H (kPa)	Enc. A (g/m^2)	Enc. B (g/m^2)
0.5	1	10.30 ±0.03	0.69 ±0.01	382 ±9	160 ±37	110 ±23	30 ±4	32 ±6
1	1	10.30 ±0.03	0.71 ±0.01	420 ±18	210 ±23	150 ±38	25 ±3	28 ±5
1.5	1	10.30 ±0.02	0.69 ±0.02	523 ±43	255 ±56	180 ±30	18 ±2	23 ±7
0.5	4	10.30 ±0.02	0.71 ±0.02	411 ±11	220 ±74	150 ±38	31 ±2	33 ±5
1	4	10.30 ±0.02	0.70 ±0.01	575 ±21	305 ±11	205 ±11	24 ±5	26 ±6
1.5	4	10.29 ±0.02	0.70 ±0.01	570 ±15	350 ±38	260 ±37	17 ±4	19 ±6
0.5	7	10.31 ±0.02	0.71 ±0.01	537 ±14	280 ±66	210 ±23	32 ±5	34 ±7
1	7	10.31 ±0.02	0.69 ±0.01	630 ±13	360 ±37	280 ±30	25 ±2	27 ±5
1.5	7	10.30 ±0.03	0.71 ±0.01	612 ±27	390 ±41	300 ±75	17 ±7	18 ±4

De la tabla puede observarse como al aumentar la concentración del aditivo para incrementar la resistencia en húmedo, aumentan además los valores de rigidez y de resistencia al estallido en seco como era de esperar, ya que este aditivo actúa directamente sobre las propiedades de resistencia reforzando sus enlaces internos, además de formar un enrejado que lo hace que conserve un alto porcentaje de su resistencia en seco original al entrar en contacto con el agua, de acuerdo a lo reportado en la literatura para la PAE. Se observa

también como al aumentar la concentración del agente encolante se obtienen mejores valores de encolado y de resistencia en húmedo al combinarse el efecto del control de la penetración del agua.

Los modelos matemáticos obtenidos para un 95% de confiabilidad se muestran en la Tabla 3, los que se pueden considerarse aceptables, Los coeficientes de correlación de los modelos ajustados explican la variabilidad total en un elevado porcentaje para cada una de las variables respuestas, mientras que el error estándar de estimación nos indica la desviación normal de los residuos que resultaron valores pequeños.

Tabla III. Modelos Matemáticos obtenidos.

	Coef. de Correlación	Error Standard de Estimación
Rigidez(mN) 291.889 + 125 * E +25.222 * P	85.91	39.74
Estallido (kPa) = 79.444 + 111.667 * E + 22.5 * P	96.85	15.80
Est H (kPa) = 37.222+ 90.0 * E + 19.444 * P	97.50	11.79
Enc A (g/m^2) = 36.0 – 11.6667 * E + 0.5 * P – 0.5 * E * P	99.44	0.51
Enc B (g/m^2) = 35.0 – 8.333 * E + 1.1667 * P – 1.1667 * E * P	97.70	1.02

CONCLUSIONES

Se obtuvieron moldeados de celulosa de características similares al de las bandejas comerciales prototipo, de alta resistencia, con el empleo en dosis adecuadas de aditivos químicos que cumplen las regulaciones de productos que pueden estar en contacto con alimentos.

BIBLIOGRAFIA

1. Abril A. (1986)"Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Químicas". Cuba. 18-20
2. Badar T. A.: (1993) "Environmental impact of recycling in the paper industry". Progress in Paper Recycling. No. 42
3. Consultoría Biomundi. (2004) Caracterización del Mercado Cubano para materiales desechables de Celulosa Moldeada.
4. Didato D.T. (1994) "Problemas de depósitos vinculados al uso de fibras secundarias". El Papel. Noviembre, pág. 27-32.
5. Informe de la OECD, (1997) "Rethinking Paper Consumption", OCDE/GD111, http://www.iied.org
6. Miyanishi T. y Shigeru M. (1997): " Optimizing flocculation and drainage for microparticle systems by controlling zeta potencial". Tappi Journal. Vol. 80, No. 1. Pág. 262-270.

7. Negro C., Blanco M. A., Gaspar I. y Tijero J. (1995) “El agua en la industria papelera”.Ingeniería Química. Octubre, Pág. 137-147.
8. Olson C. O. Y Letscher M. K., (1999) “Increasing the use of secondary fibre: an overview of deinking chemistry and stickies control”. Appita. Vol.45, No. 2: 58-61.
9. Scott W. E. “Surface and colloid chemistry interactions important in stock preparation “Pulp and paper manufacture. Tappi Vol. 6 pag. 6-8.
10. G. Sadler, S. Eskamani, H. Spirakes. (2004) NCFST/II. Assessing the Safety of Recycled Pulp for Direct Contact with Fatty and Aqueous Foods, http://www.ncfst.iit.edu/RESEARCH/rppacka
11. Gavazzo, Graciela B, (2008) Productos moldeados, V CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACION EN CELULOSA Y PAPEL, CIADICYP , Guadalajara, Jalisco, México
12. Chanchí Golondrino, J.C. (2008) “Ensayos de compresión y tensión sobre muretes a base de papel periódico reciclado y engrudo de almidón” Revista Ingeniería de Construcción Vol. 23 N°3 145- 154 www.ing.puc.cl/ric.
13. Productos Moldeados de Celulosa, (2013) http://spanish.alibaba.com/products/ molded%2528mould% 2529-pulp.html
14. Nuevo productos de pulpa moldeada biodegradables a partir del bagazo de de la caña de azúcar. Dongguan city Luheng Company Ltd.(2013), http://spanish.alibaba.com/gs suppliers_yipinxian/contactinfo.html

EXPERIENCIAS Y PROYECCIÓN DEL ICIDCA EN LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS.

EXPERIENCES AND PROJECTION FROM ICIDCA IN TRANSFER TECNOLOGHISTS.

Autores: Irma Ramos, Grizel Delgado y Bárbara Rodríguez

irma.ramos@icidca.edu.cu

grizel.delgado@icidca.edu.cu

barbara.rodriguez@icidca.edu.cu

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

RESUMEN.

El ICIDCA - desde su fundación en 1963 por el Comandante Guevara- fue concebido como un Centro de Investigaciones Aplicadas, que proyectara el conocimiento tecnológico para apoyar el desarrollo de los procesos industriales en el campo de la producción de azúcar y los derivados, lo cual permitió un acercamiento de los científicos a las demandas tecnológicas de la Industria; sin embargo, los diversos escenarios a lo largo de la mitad de un siglo, han impactado de diversas formas sobre la relación Centro de Investigación – Actividad Productividad y en gran medida han estado vinculados a las transformaciones económicas que durante estos años se han experimentado en el sector y en el país.

La reflexión sobre las experiencias positivas y negativas que ha tenido el ICIDCA en los procesos de transferencia tecnológica, que ha acometido, tanto en el territorio nacional como al exterior, han permitido elaborar una proyección estratégica, teniendo en cuenta los posibles escenarios, con vistas a convertir el proceso de transferencia, en la vía natural y fluida del ciclo de innovación tecnológica, así como fuente de financiamiento para continuar el ciclo de investigación y desarrollo en los proyectos vinculados a este campo.

Palabras claves: transferencia tecnológica, exportación de tecnologías, azúcar y derivados.

ABSTRACT.

The ICIDCA was conceived - from its foundation in 1963 for the Commandant Guevara - as a center of applied investigations that advanced the technological knowledge to support the development of the industrial processes in the field of the production of sugar and by-products. The above mentioned allowed an approach from the scientists to the technological demands of the Industry; however, the diverse scenarios along half of one century, they have impacted in diverse ways on the relationship research center - industry.

The reflection about the positive and negative experiences that has had the ICIDCA in the processes of technological transfer that it has attacked as much toward the interior as to the exterior of the country, has allowed to elaborate a projection in function of the possible scenarios, with a view to converting the transfer process, in the natural and flowing road of the innovation cycle and of the financing obtaining to continue the investigation cycle and development.

Key words: technological transfer, export technologies, sugar y derivates.

INTRODUCCIÓN.

Después de transcurridos medio siglo desde de la fundación del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y en el marco de su 50 Aniversario, es un momento propicio para la reflexión y el debate sobre su desarrollo y el impacto de sus resultados científicos en la práctica económica y social del país, así como su repercusión en el ámbito internacional.

Un proceso indispensable para lograr la materialización en la práctica del resultado científico-tecnológico es la transferencia de tecnología, según Lage,1995; que se logra a través de diversas vías, que van desde los intercambios entre los científicos, tecnólogos y obreros de la industria, hasta los complejos procesos de transferencia de una tecnología que conlleva un proceso complejo hasta que concluya en una verdadera innovación tanto en el contexto nacional como internacional.

El ICIDCA - desde su fundación en 1963 por el Comandante Guevara- fue concebido como un Centro de Investigaciones Aplicadas, que adelantara el conocimiento tecnológico para apoyar el desarrollo de los procesos industriales en el campo de la producción de azúcar y derivados. Lo anterior permitió un acercamiento de los científicos a las demandas tecnológicas de la Industria; sin embargo, los diversos escenarios a lo largo de la mitad de un siglo, han impactado de diversas formas sobre la relación Centro de Investigación – Industria y en gran medida han estado vinculados a las transformaciones económicas que durante estos años se han experimentado en el sector y en el país.

Los objetivos de este trabajo son, reflexionar sobre las experiencias positivas y negativas que ha tenido el ICIDCA en los procesos de transferencia tecnológica, que ha acometido tanto en el contexto nacional como en el exterior y proyectarse en función de los posibles escenarios, con vistas a convertir el proceso de transferencia, en la vía natural y fluida del ciclo de innovación tecnológica, así como fuente de financiamiento para continuar el ciclo de investigación y desarrollo en los proyectos vinculados a este campo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Mediante información documentada acerca de los conceptos y fundamentos de los términos **transferencia de tecnología** y otros asociados al mismo, así como de una relación detallada de los antecedentes del ICIDCA, se definen las bases para analizar la situación actual de dicha Institución y elaborar estrategias adecuadas a las transformaciones económicas que se desarrollan en el país.

Desarrollo.

La tecnología ha pasado a ser un factor clave para la competividad en los negocios y en el crecimiento económico de los países, ya que la nueva tecnología puede proporcionar formas más eficientes de realizar un trabajo y abrir nuevas vías de actividades humanas. Ofrece también posibilidades para mejorar la calidad y la productividad, reducir el tiempo que toma llevar un producto hasta el mercado y satisfacer necesidades humanas todavía aún no satisfechas, según ONUDI, 1997.

Al crear una diferenciación de productos y servicios en el mercado, la innovación tecnológica - proceso por el cual una empresa planea, aplica, controla y evalúa las modificaciones técnicas- abre nuevas oportunidades para mejorar la competitividad de la empresa y su crecimiento.

Las empresas deben ser competitivas a nivel mundial, por lo que las estrategias en materia de tecnologías están pasando a ser una parte obligada de sus estudios de viabilidad y planes de negocios, según ONUDI, 1997 a.

En este sentido, la expresión **"transferencia de tecnología**" se refiere a aquellos contratos en virtud de los cuales se transmite el uso o se autoriza la explotación de patentes, marcas, nombres comerciales, modelos industriales, se suministran conocimientos técnicos y Know how; se provee ingeniería para la construcción de instalaciones; o para la fabricación de productos, o se prestan servicios de asistencia técnica, de administración de empresas, de asesoría o de consultoría , de acuerdo a cita de Pérez, 2001.

Un acuerdo de licencia por su parte puede ser definido, como" un acuerdo mediante el cual el licenciante u oferente otorga al licenciatario o adquiriente un derecho limitado a fabricar ,utilizar, vender el objeto a que se refiera la licencia, lo cual suele hacerse contra una compensación o regalía". Las licencias se refieren a patentes, marcas o know how, de acuerdo a Pérez, 2001 a.

Es importante señalar que la diferencia entre **"licencia de patentes"** y de **"know how"**es que la primera se extiende sólo hasta el periodo de duración de la patente, sin embargo las de know how duran períodos más prolongados.
Otro aspecto a destacar es que acuerdos de este tipo llevan implícitas diversas modalidades de la transferencia de tecnología, por ejemplo una empresa que licencia la patente de un producto biotecnológico, también puede licenciar el uso de la marca comercial, y prestar la asistencia técnica requerida para la producción del producto, y/o promover la ingeniería de la instalación productiva específica para dicho producto, citando de nuevo a Pérez, 2001 a.

Algunos factores que una empresa debe tener en cuenta para introducir cualquier tecnología, mediante compra o licencia, son los siguientes:

- Experiencia y prestigio técnico del licenciante y del propio licenciatario.
- Mano de obra de que dispone.
- Disponibilidad de materias primas.
- Instalaciones, componentes y maquinarias
- Aceptación en el mercado
- Competencia
- Vida del producto
- Disponibilidad de fondos
- Condiciones climatológicas y ambientales.

Las disposiciones jurídicas relacionadas con las formas de contratos de transferencia de tecnologías, el establecimiento de los precios, la creación de sociedades asociaciones, las licencias exclusivas, el régimen de patentes, la solución de diferendos, varían de un país a otro. Por otra parte, también varían las disposiciones jurídicas relativas a los controles de cambio, la repatriación de dividendos, el cálculo y el monto de las regalías, así como las disposiciones aduaneras, arancelarias, fiscales y contables, según Pérez, 2001a.

Aspectos a tener en cuenta por los licenciantes de tecnologías a la hora de decidir la suscripción de un acuerdo de transferencia de tecnología:

- Elección del socio adecuado.
- Determinación de la tecnología a transferir
- Estudiar el clima de la licencia (condiciones políticas, industriales, la estructura social, entre otros.
- Beneficiarse con regulaciones nacionales de determinados país.
- Tener en cuenta las modalidades fundamentales para pagar por una transferencia de tecnología: el pago global y las regalías. Hay acuerdos donde se combinan ambas modalidades.

Antecedentes.

Los primeros años de fundado el ICIDCA se avanza lento, si bien en Proyectos de Investigación generados sin la evidencia de un impacto en el desarrollo; pero también, paralelamente, se “aprendía a investigar”, a valorar con objetividad, a organizar el pensamiento y a aplicarlo al hacer, por lo que es una etapa que las acciones fundamentales estaban dirigidas a asimilar tecnologías.

Todo esto conduce a que, a mediados de los años ´60, se reestructure el Programa de Investigación-Desarrollo del ICIDCA, identificándose dos líneas de proyección del trabajo: La Biotecnología y Las Ciencias Químicas, con Proyectos de Investigación claramente identificados, evaluados y priorizados, acerca de las tecnologías de producción de proteína unicelular, los polisacáridos microbiales, las producciones químicas del bagazo, las pulpas y los papeles, los productos aglomerados del bagazo, entre los principales, según aparece en Almazán, O, Historia del ICIDCA, 2013.)

Se organizan los propósitos y objetivos, se estructuran los colectivos de investigación, en este tiempo se materializa la presencia de una asistencia técnica de muy alto nivel de diferentes países.

La década del ´70, el tiempo de maduración del "**Salto Cualitativo del ICIDCA**", cuando se irrumpe con tecnologías originales, propias, novedosas a nivel mundial, que entran en producción industrial, en las Levaduras Forrajeras a partir de las mieles finales de caña, conduciendo el ICIDCA un gran Proyecto inversionista, que con tecnología del ICIDCA, lleva a Cuba a ser el primer país productor del mundo de producción de Proteína Unicelular a partir de las melazas de caña, con 100 000Tm por año; por otra parte, el ICIDCA,también el Programa de construcción de tres nuevas grandes fábricas de Tableros de bagazo, que elevan el volumen de esa producción hasta 235 mil m^3 por año, de acuerdo a Almazán, O, Historia del ICIDCA, 2013 a.

También es la década de la cristalización del primer proceso tecnológico en el mundo de producción de Papel Periódico de bagazo, viable económicamente, de la tecnología de elementos Moldeados de bagazo, de la Dextrana Clínica para uso farmacéutico, la Ferridextrana para uso veterinario, del Furfural de bagazo, las producciones de varias opciones de alimento animal a partir de la caña y sus derivados, que llegan a aportar 450 000 Tm por zafra, según referencias de Almazán, O, Historia del ICIDCA, 2013 a.

Fue en ese momento que la práctica confirmó que no era un sueño del Che, sino visión de un genio que vio más y más lejos.

En los diez años transcurridos entre 1971 y 1980 el ICIDCA se multiplica y reproduce. A partir de él, de sus científicos, sus ejecutivos y sus trabajadores, se abren como nuevas instituciones científicas, el Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), para las investigaciones relativas a las tecnologías de fabricación de azúcares y la generación de energía; con el Ingenio "Pablo Noriega" como instalación productiva y campo experimental y el Centro de Investigación-Producción del Bagazo (Cuba-9), con una Planta Experimental de nivel semicomercial para la fabricación de pulpas y papeles de bagazo, en la cual se produce, por primera y única vez en Cuba, papel moneda en la década del ´90 (Premio de la Academia de Ciencias de Cuba), recoge en su obra Almazán, O, Historia del ICIDCA, 2013 a.

Es en ese entorno donde se construyen las instalaciones experimentales, de capacidades semicomerciales, para Especialidades Bioquímicas, Alimento Animal y Proteína Unicelular (Cuba-10), de hecho cerrando el ciclo las instalaciones de Mecanización del Instituto de Investigaciones de la Caña, según Almazán, O, Historia del ICIDCA, 2013 a.

En toda la década de los 80´ se reafirma la confianza de los Programas de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) que otorgan dos Proyectos por un valor de 4.5 millones de USD, dirigidos, cada uno de ellos, por Ejecutivos del ICIDCA.

Por otra parte, su pertenencia al Polo Científico del Oeste, su intervención útil y oportuna en el desarrollo de la Agroindustria Azucarera en el proceloso "período especial", junto a un inteligente y creativo enfrentamiento a los retos de los finales de los 90´ del siglo pasado, confirman la viabilidad del ICIDCA como institución científica, pero sobre todo, su solidez científica, estructural y una peculiar manera de multiplicarse e impactar, algo evidente en la primera década del Siglo XXI, cuando el ICIDCA abre la línea de Bioproductos como respaldo a una agricultura cañera y no cañera, sostenible y eficiente, afirma Almazán, O, Historia del ICIDCA, 2013 a.

En este periodo, el ICIDCA, ha logrado sobrevivir a las especiales condiciones económicas que sufrió el país en la década del 90 y se fortaleció desarrollando como línea de investigación, los bioproductos de uso agrícola, de cada vez mayor demanda debido al menor impacto ambiental que provocan; así a finales de la década, cierra el ciclo de innovación en sus propias instalaciones con la implementación de una planta productora de 2 millones de litros/año de FITOMAS E, un bioestimulante de origen natural, que actualmente es altamente demandado por la agricultura cañera y no cañera del país. En este sentido, con vistas a ampliar

las capacidades de producción, actualmente está involucrado en un proceso de transferencia interna y vertical como proveedor de esta tecnología a la Empresa Azucarera “Ciro Redondo” en Ciego de Ávila.

La cultura acumulada y los resultados alcanzados en dos décadas de trabajo científico sistemático y cuidadoso de investigación, innovación y desarrollo en la protección del entorno, llevan a convertir al ICIDCA en el Centro de Referencia para una Agroindustria Azucarera amigable con el medio ambiente.

La tecnología desarrollada para el añejamiento acelerado de rones, permiten que actualmente el ICIDCA,produzca uno de las mejores líneas de rones presente en el mercado, los rones Vigía.

Su trabajo de precisión en las técnicas y procedimientos de punta en la calidad de las bebidas alcohólicas le gana al ICIDCA el espacio distinguido de árbitro en las calidades de rones y aguardientes.

Hoy, el Programa Científico del ICIDCA se proyecta, a mediano plazo, en el campo de la energética, las tecnologías de producción de azúcares, la alimentación animal, , las producciones químicas de alto valor, las tecnologías de productos biológicos (bioplaguicidas, bioherbicidas, biofertilizantes, bioestimuladores) para una agricultura ecológica, junto a la ampliación de sus producciones comerciales ya establecidas, sin lesionar el privilegiar la actividad de I+D+i, así como el rescate, conservación y protección del Patrimonio Científico del ICIDCA, de acuerdo a Almazán, O, Historia del ICIDCA, 2013 a.

Asesoría extranjera.

El entorno internacional en el ICIDCA a lo largo de sus 50 Años de fundado, se puede enmarcar en tres momentos fundamentales:

- ***Una primera etapa que incluyó los primeros 15 años desde su fundación***:

En estos primeros años se contó con una importante colaboración y asesoría extranjera, fundamentalmente de los países que integraban el campo socialista, entre los que se destacan: la Unión Soviética, la República de Checoslovaquia, la República Democrática Alemana, Bulgaria, Polonia y Hungría, los cuales brindaron asesoría en el desarrollo de investigaciones vinculadas a fermentaciones industriales, la celulosa del bagazo, la dextrana, la cera, los tableros, entre otras ramas científicas.

Por otra parte, este intercambio científico jugó un papel fundamental en la formación de especialistas, investigadores y directivos del Instituto, que viajaron a estos países a formarse como máster y doctores, así como para el desarrollo de proyectos conjuntos de investigación, lo cual constituyó un importante aporte para la formación de personal de alta calificación y en los resultados futuros, que alcanzó la Institución, a lo largo de sus 50 años de investigación-desarrollo en la rama Agroindustrial Azucarera y sus derivados.

En 1971 se recibe numerosa asesoría extranjera, principalmente en la Dirección de Celulosa y a partir de este año, se incrementa también el trabajo sobre Nutrición Animal.

Como resultado de las negociaciones con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo se aprueban dos **proyectos internacionales**, y en el período 1972-1975 se inician los trabajos de construcción de dos nuevas instalaciones: planta industrial del bagazo y la celulosa Cuba-9 y planta semicomercial de procesos biotecnológicos Cuba-10. En ambos casos los procesos inversionistas son dirigidos por el ICIDCA.

Proyectos internacionales:

- **Centro de Desarrollo de la Celulosa del Bagazo Cuba – 9, PNUD, 1971**
- **Centro de Fermentaciones Industriales y Nutrición, Cuba – 10, PNUD, 1975**

Entre los principales objetivos del proyecto se destacaban:

- Completar y desarrollar los conocimientos tecnológicos existentes en el campo de la fabricación de pulpas de bagazo de alto rendimiento, empleo masivo de esta pulpa en la mezcla de un papel periódico de calidad aceptable y obtención de pulpa para disolver a partir del bagazo.

- Cooperar al desarrollo de la base científico-técnica para la expansión que se vislumbraba en este campo en los próximos años.

Para la consecución de estos objetivos participará tanto el personal cubano como los expertos de la ONUDI.

Por los resultados científicos alcanzados a consecuencia de estos quehaceres se hizo cada vez más evidente que, por una parte, el desarrollo de nuevos productos reclamaban la posibilidad de producir cantidades suficientes de ellos que permitieran comprobar su eficacia y características en pruebas a un nivel confiable, y por otra, asegurar la posibilidad de comprobar el escalado de los procesos que se desarrollaban hasta nivel de micro planta.

El Centro de Fermentaciones Industriales y Nutrición, Cuba – 10, también auspiciado por Naciones Unidas abarcó tres plantas pilotos para el escalado en procesos de obtención de proteínas unicelulares, producción de especialidades bioquímicas y el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos en la alimentación animal.

Este proyecto coadyuvó a ampliar las investigaciones fermentativas y de nutrición animal, para lograr un mejor aprovechamiento industrial de la caña de azúcar, ya que permitió realizar las pruebas y optimización de los resultados de investigación de nivel de laboratorio o escala de banco a niveles extrapolables a la escala comercial, así como obtener productos que permitieron las pruebas de extensión y demostración de diferentes productos.

- ***Segunda etapa*** *en la proyección internacional del ICIDCA fueron de los años 80 hasta el 2005.*

En esta etapa se desarrollan importantes proyectos de colaboración con varios países entre los que se destacan:

- Ensilaje de Residuos Agrícolas Cañeros, PNUD, 1985
- Desarrollo de Herbicidas para la Caña de Azúcar, PNUD, 1992
- Producciones + Limpias, ONUDI ,2000
- Proyectos de la Internacional Foundation for Science (IFS), Suecia,2002-2005
- Optimización de Agua y Energía en la Producción integrada de Azúcar y Alcohol, Fundación Fiduciano Pérez Guerrero, Grupo 77,2003
- Centro de Referencia de Análisis de Procesos de la Industria Azucarera, Agencia Española de Cooperación Internacional, 2003
- Desarrollo de nuevas tecnologías y productos para la utilización completa de levaduras primarias y marginal como fuentes de alimento, Fundación Pérez Guerrero,2004
- Ácido Láctico (Región Walona), Bélgica, 2004

- Obtención de extractos aromáticos y fitoesteroles con CO2, País Vasco,2005

Por otra parte, en el 2003, se aprueba por el Gobierno Español un proyecto (CRIAPIA) para instalar en el Instituto un Centro de Referencia Iberoamericano para el desarrollo de sistemas de computación vinculados a la Industria Azucarera y la instalación del Centro de Referencia de Medio Ambiente, para la Industria Azucarera, con fondos asignados por la ONUDI.

- ***Tercera etapa*** *en la proyección internacional del ICIDCA del 2006 hasta la actualidad.*

En esta etapa se destaca por las acciones desarrolladas referidas a:

- **Aumento de la presencia del ICIDCA en los países del ALBA**
- **Exportación de producciones del Instituto.**
- **Incremento de la transferencia de tecnologías a otros países**

Es de señalar que en esta etapa se potencia la prestación de servicios al exterior a diferentes países tales como: México, Panamá, Ecuador, Uruguay, Surinam, Venezuela, entre otros, así como la transferencia de tecnologías, como aspecto significativo a destacar, por su impacto tecnológico, social y económico, tanto para el receptor como para el que la transfiere, destacándose las acciones desarrolladas en Venezuela.

- Levadura Torula para Venezuela.
- Planta de Bioproductos para Venezuela

Este proceso ha concebido la realización de Estudios de Factibilidad técnico-económica, elaboración de Tareas Técnicas, Manuales de procedimientos para la operación y Manuales para el control de calidad, cursos de capacitación entre otras acciones.

Entre las acciones de colaboración se destacan:

- **Producción y Usos del Etanol** (Fast Track), Fondo Común de Productos Básicos,2006
- **Apoyo a la estrategia nacional de desarrollo de la producción de alcohol y bebidas,** Proyecto ACDI, Canadá,2008
- **Incremento de la producción de azúcar por inhibición del *Leuconostoc sp* y otras bacterias. Fase II,** Fundación Pérez Guerrero,2008
- **Transferencia tecnológica para la producción de aditivos alimentarios integrales,** Programa Cuba – Venezuela

El ICIDCA se proyecta internacionalmente:

En estos 50 años de fundado creció notablemente la colaboración técnica y la prestación de asistencia técnica y servicios con entidades internacionales, entre los que se destacan:

- Estudio sobre las mejores opciones para la producción de alcohol (Panamá)
- Estudio completo sobre la modernización de la Industria Azucarera Dominicana (Contrato con el PNUD)
- Pruebas para elevar la digestibilidad del bagacillo con vista a su utilización para alimento animal (Japón)

- Pronóstico de la situación de la industria de pulpa y papel en la República de Angola (ONUDI)
- Consultoría sobre los campos de la Industria de Pulpa, Papel, Tableros y Forestal (Mozambique)
- Estudio morfológico del bagazo (URSS).
- Asistencia en la producción azucarera, control de calidad y la implementación de buenas prácticas de laboratorio en Panamá.
- Asesoría e implementación de proyectos de automatización de Ingenios en México.
- Asesoría y montaje de equipos industriales vinculados a la producción de azúcar en México.
- Asistencia técnica en la implementación de sistema de gestión y software en Surinam.
- Consultoría para la producción de alcohol en Surinam.
- Asistencia técnica para la fabricación de azúcar en Uruguay.
- Asesoría en la formación de máster y doctores de especialistas de varios países vinculados a la Agroindustria Azucarera y Derivados.

TRANSFERENCIAS DE TECNOLOGÍAS.

Desde 2011 se trabaja en la transferencia de tecnologías, tanto para el Grupo Empresarial AZCUBA como para el Grupo Empresarial LABIOFAM entre las que se destacan:

- **En el País:**
  - FITOMAS E en la UEB Derivados “Ciro Redondo”, Ciego de Ávila.
  - BIOPRODUCTOS(BIOENRAIZ; GLUTICID Y NITROFIX) en la UEB Derivados “Dos Ríos”, Santiago de Cuba.
  - VODKA, en la Ronera de Las Guásimas, UEB Derivados de La Habana.
  - MAGNETIZADORES para su aplicación en la Industria Azucarera en la Empresa de Servicios Industriales, ZETI.
  - VERTICID, NEMACID, BIOENRAIZ, GLUTICID, NITROFIX para el Grupo Empresarial LABIOFAM.
- **Al Exterior:**
  - LEVADURA TORULA PARA VENEZUELA.
  - PLANTA DE BIOPRODUCTOS PARA VENEZUELA

Este proceso ha concebido la realización de Estudios de Factibilidad técnico-económica, elaboración de Tareas Técnicas, Manuales de procedimientos para la operación y Manuales para el control de calidad, cursos de capacitación entre otras acciones.

Sin embargo, el proceso de transferencia tecnológica más complejo que ha acometido el ICIDCA, hasta el momento, ha sido la transferencia tecnológica de producción de Levadura Forrajera, elaborada empleando como principal sustrato las vinazas de destilería; a la Empresa Venezolana PDVSA Agrícola.

Dicha tecnología ha suscitado un gran interés a nivel internacional producto de los beneficios que representa la obtención de proteína para la alimentación animal, logrando a su vez la reducción del impacto ambiental que provocan dichas vinazas, cuando son vertidas a los terrenos y las aguas circundantes a la destilería, sin el debido control.

Los procesos de transferencia como el antes mencionado son de los más difíciles, ya que involucran varias formas de trasmisión del conocimiento y activos intangibles, como pueden ser, documentación que contenga ingeniarías básica, conceptual y de detalle, cursos de capacitación de diferentes tipos y grados de profundidad, control de autor y asesoría para procura de equipos, asistencia técnica para el montaje y puesta en marcha, así como licencias de marcas y secretos empresariales, respectivamente. Así también han sido varias las partes participantes en todas las distintas etapas de negociación.

El ICIDCA, ha logrado salir fortalecido de estos procesos de transferencia, empleando una combinación de métodos de gestión de la innovación como el de aprender haciendo (**) y la innovación abierta mediante el trabajo en red (Open Innovation), según Chesbrough, (2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Matriz Dafo.

Sin pretender un estricto análisis matricial, en el marco de este trabajo, se plantea un análisis más ordenado hacia lo interno y lo externo, de la situación de los procesos de transferencia de tecnología en el ICIDCA, que puede lograrse al relacionar los siguientes aspectos.

- **DEBILIDADES**

- ✓ Resultados científicos no convertidos en tecnologías o productos del conocimiento sin el debido grado de terminación para su introducción en la práctica.
- ✓ No disponer de algunos proyectos de investigación de toda la documentación ordenada relativa a los resultados científicos.
- ✓ Obsolescencia de algunos productos del conocimiento sin lograr su introducción en el mercado.
- ✓ Insuficiente protección de la propiedad sobre los resultados científicos.
- ✓ Insuficiente conocimiento del mercado y de los productos de la competencia.
- ✓ Incompletos procesos de registro nacional sanitario de los bioproductos desarrollados y prácticamente inexistente registros en el exterior.
- ✓ Insuficiente conocimiento de los procesos de contratación y regulaciones establecidas.
- ✓ Descapitalización en cuanto a personal de experiencia en temas específicos.
- ✓ Poca experiencia en la elaboración de contratos complejos y de alto rigor jurídico como los que involucran transferencia tecnológica.
- ✓ No disponer de las carpetas tecnológicas de las tecnologías desarrolladas.
- ✓ No incluir en los planes de inversiones los gastos que incurren de las empresas que asimilan la transferencia de tecnologías.

- ✓ No tener en cuenta en el Estudio de Factibilidad de la Inversión los gastos por concepto de Know How que se incurrirán producto de la transferencia de tecnología.
- ✓ Carencia de regulaciones nacionales y de asesoría para los equipos negociadores de la transferencia de tecnología y sobre todo para las negociaciones internacionales.
- ✓ No disponer de literatura actualizada en esta temática y de cursos de preparación para los especialistas y directivos que participan en estas negociaciones y en particular de experiencia internacional en este tipo de contratos.
- ✓ Entregar informaciones relativas al Know How de una tecnología sin tener firmado el contrato correspondiente.
- ✓ No adecuada de sus marcas y patentes, ni estrategia al respecto.

- ❑ **AMENAZAS**

- ✓ Escasa regulación legal en el país de los procesos de transferencia tecnológica
- ✓ Competencia de otras instituciones científicas y Universidades a lo largo del país
- ✓ Insuficiente conocimiento de los procesos de contratación.
- ✓ Insuficiente demanda de innovación del sistema empresarial
- ✓ Actual periodo de transición del modelo económico que conlleva cambios en las regulaciones bancarias, financieras, legales, inversionistas, de propiedad intelectual, comerciales, entre otras.
- ✓ Poco conocimiento empresarial de lo que implica un proceso de transferencia de tecnológica

- ❑ **FORTALEZAS**

- ✓ Amplia cartera de resultados científicos (Anexo 1)
- ✓ Amplia cartera de servicios científico-técnicos (Anexo 2)
- ✓ Interés de la alta dirección en impulsar los procesos de transferencia tecnológica con el consiguiente efecto para el país al sustituir importaciones o potenciar exportaciones.
- ✓ Capacitación intensiva de especialistas para conducir los procesos de negociación y transferencia tecnológica

- ❑ **OPORTUNIDADES**

- ✓ Actualización del modelo económico del país
- ✓ Flexibilidad de la Gestión Empresarial, el ICIDCA pasa a desempañar funciones Empresariales.
- ✓ Los activos intangibles son potenciales fuentes de financiamiento para la investigación
- ✓ Interés de empresas nacionales en tecnologías desarrolladas por el ICIDCA por su impacto económico y social.

Proyección estratégica.

A los fines de este trabajo, se define como positivo aquel escenario que permita un ciclo fluido de investigación – desarrollo- innovación, la obtención de ganancia a través de la venta de activos intangibles y la reinversión de parte de ella en el financiamiento de dicho ciclo, un marco jurídico definido que favorezca el control y el cumplimiento de lo regulado, pero que a su vez no limite la iniciativa creadora de las Instituciones.

Y se define como negativo aquel escenario en que no se comprenda tanto a nivel interno como externo, la importancia de convertir en procesos naturales los procesos de transferencia tecnológica, que los marcos regulatorios sean tan excesivos que amordacen la iniciativa creadora o tan ambiguos que mantenga un nivel de incertidumbre que inhiba las acciones de las Empresas.

De forma particular pudiera esperarse en este negativo escenario, que se desconozca la importancia de la investigación científica como inversión a largo plazo y la innovación como motor del desarrollo, tratando de convertir al centro en un equipo de bomberos apagafuegos de indisciplinas tecnológicas industriales y no en un suministrador de conocimientos, de tecnologías y servicios científicos técnicos de alto valor agregado.

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, a continuación se describen algunas de las acciones relacionadas directa o indirectamente con los procesos de transferencia tecnológica, consideradas necesarias para un futuro desarrollo del ICIDCA como Instituto de Investigación Aplicada que obtiene ingresos y ganancias a partir de una adecuada gestión del conocimiento y la innovación tecnológica.

Proyección en un escenario positivo.

El ICIDCA, deberá mantener un estricto control de sus activos intangibles, en cuanto a su documentación técnica y legal, protección mediante las figuras adecuadas de la propiedad intelectual, así como elaborar una proyección estratégica que permita:

- Disponer de la Cartera de Tecnologías Transferibles con su correspondiente documentación técnico-económica.
- Preparación de su equipo negociador para la transferencia de tecnologías.
- Divulgación y promoción de sus servicios, productos y tecnologías a transferir
- Conocimiento del mercado interno y externo. Disponer de Estudios de Mercado tanto nacional como del exterior.
- Disponer de los correspondientes Estudios de Factibilidad Técnico –Económica.
- Capacitación en contratación, disponer de personal adecuado abogados expertos en estos temas.
- Gestión de su cartera de patentes y marcas.
- Velar por la adecuada protección en Convenios de Colaboración de I+D
- Capacitación y entrenamiento del personal relacionado con los procesos de transferencia
- Benchmarking
- Preparación de técnicos y especialistas que prestaran servicios y transferencias, incluyendo el dominio de idiomas.

Proyección en un escenario negativo.

- Dedicar esfuerzos a divulgar la importancia de su actividad creadora.
- Interrelacionarse con empresas de otros sectores que financien sus proyectos.

- Apoyarse con la asesoría de centros insignes en procesos de transferencia tecnológica como por ejemplo (BIOCUBAFARMA)
- Contribuir a la mayor disciplina tecnológica en la industria mediante capacitación a técnicos y directivos
- Incrementar la capacitación del personal interno en gestión de la innovación y las herramientas que se utilizan.

CONCLUSIONES.

Ser flexible y proactivo deben ser características del ICIDCA en los escenarios futuros, haciendo del mercado su principal fuente de ingreso a través de una adecuada gestión de la innovación, que permita convertir sus activos intangibles en tecnologías, productos y servicios de amplio impacto social y económico y bajo impacto ambiental, así como contribuir a sustituir importaciones y potenciar las exportaciones.

Favorecer mediante ordenados procesos de transferencia tecnológica al desarrollo de los procesos industriales para la fabricación de azúcar y sus derivados, debe continuar siendo la máxima a seguir por el ICIDCA, atendiendo a las necesidades del país en este sector y al pensamiento de sus fundadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Almazán, O.y col. (2013), Libro de Historia del ICIDCA. (en prensa)

Chesbrough, Henry; Vanhaverbeke, Wim; West, Joel.(2006). Open Innovation: Reserching a New Paradigm,Oxford University Press.

Lage, Agustín. 1995, Desafíos del desarrollo. El problema de las nuevas funciones de la investigación en la sociedad, visto desde la perspectiva de un hombre de laboratorio y en un país en desarrollo. Ciencia, Innovación y Desarrollo (La Habana), Vol. 1, No. 1.

Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Viena. (1997), Manual para Negociaciones de Transferencia de Tecnología.

Pérez Veloz, Dalia María. (2001), Manual Jurídico para empresarios cubanos, pag.108-129.

Ramos Pousa, I. (2013), Libro de Historia del ICIDCA. . (en prensa)

Revista ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar No.2 Volumen XII-1978.

Revista ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar Volumen 7 No.2 , Mayo-Agosto,1973.

Revista ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar Numero Especial No.1 Volumen XVII, 1983.

ANEXO 1: CARTERA DE RESULTADOS CIENTÍFICOS

- Levaduras y sus derivados de uso alimenticio.
- Dextrana y ferridextrana.
- Alimento animal a partir de subproductos.
- Insecticida biológico para el control de la mosca blanca (VERTICID).
- Bionematicida de aplicación en diversos cultivos (NEMACID).
- Estimulador de crecimiento vegetal (BIOENRAIZ).
- Controlador de hongos fitopatógenos foliares (GLUTICID).
- Probióticos para uso en aves y cerdos. (PROBICID)
- Inoculante bacteriano para nitrofijación (NITROFIX).
- Biogás a partir de vinazas de destilerías.
- Vodka.
- Hormona de maduración y fructificación (TOMATICID).
- Inhibidor de la corrosión (ANTICOR).
- Recubrimiento temporal anticorrosivo (PROTEKTOR).
- Inhibidor enzimático en el proceso de fabricación del azúcar (IFOPOL).
- Tensoactivos de uso en la industria azucarera y textil.
- Glucosa, sirope de fructosa y fructoligosacáridos (FOS).
- Soldaduras metálicas en frío en base a polímeros furánicos.
- Celulosa microcristalina para el tratamiento de la gastritis alcalina.
- Producto para el tratamiento preventivo de enfermedades diarreicas en cerdos.

Producciones comerciales del ICIDCA

Vigía Gran Añejo. Rones Premiums con un sabor genuino cubano.

Fitomas - E. Fitoestimulante de aplicación foliar o radicular, antiestrés, ayuda a superar las afectaciones por déficit nutricional y otros.

Tomaticid. Fitohormona sintética favorecedora de la maduración y fructificación de diferentes cultivos.

Bioenraiz. Estimulador para el enraizamiento y crecimiento vegetal.

Nitrofix. Biofertilizante fijador de nitrógeno y productor de fitohormona de crecimiento vegetal de aplicación foliar o radicular.

Ifopol. Inhibidor de las enzimas y microorganismos dañinos en el proceso de fabricación del azúcar.

Fural. Soldaduras metálicas enfrío, recubrimientos anticorrosivos y resinas de fundición, entre otras aplicaciones.

ANEXO 2: CARTERA DE SERVICIOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

- ✓ Investigaciones biotecnológicas de evaluación de cepas y producciones fermentativas a nivel de planta piloto y su escalado.
- ✓ Diseño e ingeniería de sistemas tecnológicos y plantas para la producción de alimento animal.
- ✓ Estudios de viabilidad y de pre inversión de proyectos
- ✓ Caracterización de sustratos y producciones vinculadas a la industria azucarera y sus derivados.
- ✓ Diseño e ingeniería de plantas y escalados de procesos azucareros y sus derivados.
- ✓ Asesoría para el diseño e implantación de Gestión de la Calidad para la certificación de sistemas por la norma ISO 9001 y capacitación del personal.
- ✓ Asesoría en el diseño e implantación de Sistemas de Gestión de la Calidad para la acreditación de laboratorios, según la norma ISO 17025 y capacitación del personal
- ✓ Servicios de caracterización, diagnóstico y estudio de tratamientos de los efluentes.
- ✓ Análisis para la optimización del uso del agua y la energía en la industria azucarera y sus derivados.
- ✓ Automatización y control de procesos vinculados a la industria azucarera y sus derivados**.**
- ✓ Simulación y optimización de procesos, así como desarrollo e implantación de software
- ✓ Análisis para el control de calidad en alcoholes y bebidas por laboratorio acreditados por la norma internacional ISO 17025.
- ✓ Análisis para el control de la calidad de azucares y mieles por laboratorios acreditados por la norma internacional ISO 17025.
- ✓ Servicios de análisis instrumentales, mediante espectroscopia FTIR y UV - Visible, cromatografía-masa y calorimetría**.**
- ✓ Servicios de análisis Físico Mecánicos para Tableros, papel y cartón, composites, madera – plástico, adhesivos, láminas impermeables, madera, fibras naturales y artificiales, plásticos y otros.
- ✓ Servicios de información científico - técnica.
- ✓ Ensayos de aptitud para evaluar la credibilidad de los laboratorios azucareros según las normas nacionales.
- ✓ Servicios de calibración de varios medios de los laboratorios azucareros.
- ✓ Servicios de inspección de los temas relacionados con la calidad (OINZA- Órgano de Inspección de la calidad en el azúcar).

DISEÑO DE FORMULACIONES FARMACÉUTICAS ORALES UTILIZANDO BIOPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA
DESIGN PHARMACEUTICAL FORMULATIONS USING SUGAR CANE BIOPRODUCTS

Santana Sánchez AM[1], Arias ME[1], Moreno P[1], Carrera E[2], Michelena G.[2], Muratore P.[1], Heredia Alemán B[1], Cerutti G[1].

1. Instituto de Farmacia. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia. Universidad Nacional de Tucumán. Ayacucho 471. 4000. Tucumán. Argentina. e-mail: gicerutti@yahoo.com
2. Departamento de Bioingeniería- ICIDCA - Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Vía Blanca 804 esq. a Carretera Central, San Miguel del Padrón. Ciudad de La Habana. Cuba

RESUMEN

El dextrano es un polisacárido ramificado, subproducto de la industrialización de la caña de azúcar. Su principal aplicación en el área farmacéutica es como expansor del plasma y promotor del flujo de sangre. Autores cubanos obtuvieron un complejo con hierro antianémico para uso veterinario. **(**MICHELENA y col, 2008**).** La carencia nutricional de hierro produce anemia ferropénica en niños, ancianos y embarazadas. Para estos pacientes, se debe administrar Fe de manera agradable y aceptable, usando una formulación que permita la liberación de Fe.

Este trabajo se inserta en la línea de nuevas investigaciones farmacéuticas dirigidas a obtener formulaciones de acción antianémica en humanos con el complejo dextrano-Fe como activo. Se diseñaron formas farmacéuticas liquidas y sólidas a las que se realiazron los controles exigidos por Farmacopeas.

Se elaboraron comprimidos de dextrano–hierro, a los cuales se le realizaron controles, físicos, químicos, de estabilidad y biodisponibilidad : peso seco, dureza, friabilidad, espesor, solubilidad, concentración del principio activo (métodos iodométricos y absorción atómica), ensayos sensoriales y organolépticos y estudios de estabilidad acelerada en condiciones de estrés.

Se formularon soluciones orales en agitadores a nivel semi industrial, variando las concentraciones del principio activo. Se realizaron controles físicos, químicos *y* microbiológicos, según los siguientes parámetros: caracteres organolépticos, pH, conductividad, contenido de Dextrana y Fe, estabilidad a corto y mediano plazo.

Se puede concluir a partir de los resultados obtenidos que los productos elaborados cumplen con las especificaciones farmacopeicas y se mantienen estables en los períodos de ensayos y pueden ser utilizados como fármacos antianémicos orales.

PALABRAS CLAVES: FORMULACIONES FARMACEUTICAS, DEXTRANA, COMPRIMIDOS, SOLUCIONES

ABSTRACT

Dextran is a polysaccharide, a byproduct of the industrialization of sugarcane. Its main application in the pharmaceutical area is plasma expander. Cuban authors obtained a complex anti-anemic iron for veterinary use. (MICHELENA et al, 2008). Iron deficiency anemia occurs in children, the elderly and pregnant women. For these patients, must administer Fe of pleasing and acceptable manner, with one formulation that allows the release of Fe

This work is inserted in the line of new pharmaceutical research aimed at obtaining anti-anemic formulations in humans with dextran-Fe complex. Were designed liquid and solid dosage forms to which controls required by pharmacopoeias.

Tablets were produced with dextran-iron and were done controls dry weight, hardness, friability, thickness, solubility, concentration of active ingredient (iodometric and atomic absorption methods), sensory tests and organoleptic and accelerated stability studies under stress conditions

Oral solutions were formulated in semi-industrial agitators, varying the concentrations of the active principle. Were made physical, chemical and microbiological Controls, organoleptic caracteristics , pH, conductivity, Dextran - Fe content, stability in the short and medium term.

It can be concluded from the results that the products done meet pharmacopoeial specifications and are stable in times of trials and can be used as oral anti-anemic drugs.

KEYWORDS PHARMACEUTICAL FORMULATIONS, DEXTRAN, TABLETS, SOLUTIONS

INTRODUCCIÓN

La industria de los derivados de la dextrana ha tenido en los últimos años un desarrollo vertiginoso fundamentalmente debido a la utilización de estos productos en el tratamiento clínico-terapéutico de animales y humanos. Los elevados precios en el mercado internacional convierten a estos productos en una línea importante cuyo principal objetivo es el desarrollo de tecnologías de síntesis que permitan la producción dirigida y controlada de dextranas de pesos moleculares preestablecidos. En este sentido una de las limitantes mayores es disponer de cantidades suficientes de dextransucrasa purificada que permita la síntesis controlada de la dextrana mediante procesos económicos.

El conjunto de trabajos comprendidos en este resultado constituye un aporte al conocimiento dentro de la temática de las dextranas y más aún dentro de los polímeros como vía de aumentar el valor agregado de estos y de revitalizar la industria de los derivados del azúcar (Bell García A, en prensa).

El **dextrano** es un subproducto de la industrialización de la caña de azúcar. Es un polisacárido complejo y ramificado formado por numerosas moléculas de glucosa unidas en cadenas de longitud variable (de 10 a 150 kilodaltons)(Figura 1). Es usado como antitrombótico (antiplaquetario) y para reducir la viscosidad de la sangre. El dextrano es sintetizado a partir de la sacarosa por bacterias acido lácticas, de las cuales las más conocida es *Leuconostoc mesenteroides* (Figura 2).(Vettori et al, 2012; Rodriguez Jimenez, 2005)

El hierro en estado libre es sumamente reactivo, por lo que en general se encuentra ligado o encapsulado por proteínas; además existen múltiples y muy finos mecanismos para regular su absorción y utilización celular. Es fundamental para el buen funcionamiento del organismo. Su carencia nutricional produce anemia ferropénica frecuentemente en niños, ancianos y embarazadas. La depleción de hierro disminuye la capacidad muscular, baja las defensas y la capacidad de atención.

Las medidas preventivas deben iniciarse precozmente y entre ellas se destacan el aporte complementario de hierro en mujeres gestantes y la alimentación exclusiva con leche materna durante 6 meses. Los lactantes sanos y con peso correcto tienen suficientes reservas de hierro a partir del nacimiento, para sus necesidades durante aproximadamente los primeros 4 a 6 meses de vida. Desde ese período el niño

depende de la dieta para mantener un balance adecuado de hierro. Por lo tanto, en la mayoría de los casos la anemia ferropénica en el lactante y en la primera infancia está determinada por una dieta insuficiente o mal balanceada. El hierro tiene que incrementarse considerablemente después de los 4 a 6 primeros meses de vida, la adición de polvos de micronutrientes en alimentos complementarios de preparación casera o el suministro de gotas de hierro son las estrategias preventivas más eficaces en lactantes destetados.

Para estos pacientes, se debe buscar la forma de administrar Fe de manera agradable y aceptable, a través de una formulación eficaz, segura, estable y fácil de administrar.

En los últimos años hay una tendencia mundial orientada a mejorar tecnológicamente diferentes polímeros acomplejados al hierro, lo que revolucionó las técnicas ya existentes y aumentó las posibilidades de aplicación en el tratamiento clínico de animales y humanos.

El complejo dextrano-hierro en inyectables se emplea para la prevención y terapia de anemia causada por deficiencia de hierro en mamíferos. Dicho complejo garantiza que el hierro sea asimilado en forma de ión férrico, de fácil y rápida absorción.

En trabajos previos se informó la elaboración de inyectables con dextrana-Fe como principio activo para el tratamiento de anemia en cerdos (Michelena y col, 2000). Actualmente, se estudia el uso de este complejo como vehículo eficaz de hierro, en estado férrico, en humanos.

Algunos autores analizaron las propiedades fisicoquímicas de dextranos naturales y comerciales en formulaciones farmacéuticas sólidas (Gil y col, 2008) y demostraron su estabilidad y compatibilidad con diferentes principios activos y otros excipientes.

La Preformulación implica la realización de diferentes estudios destinados a conocer la compatibilidad de los componentes de una forma farmacéutica, que frecuentemente está supeditada a exigencias clínicas. Todos los componentes se eligen de manera intencionada para obtener el producto final, de acuerdo a su función específica determinada.

El objetivo del presente trabajo fue diseñar formulaciones orales antianémicas usando como principio activo un complejo formado por Dextran-Fe.

OBJETIVOS

Diseñar y formular preparaciones farmacéuticas antianémicas sólidas y líquidas de uso oral a partir de dextrano, subproducto de la industrialización de la caña de azúcar.

Controlar las características de los productos según exigencias de Farmacopeas nacionales e internacionales.

Estudiar la estabilidad de dichos productos a corto y mediano plazo.

METODOLOGÍA

El complejo dextrano-Fe se obtuvo por la vía química a partir de los subproductos de la caña de azúcar. La caracterización se realizó por difracción de rayos X, espectrometría infrarroja y de Mossbauer. El dextrano se determinó por el método Fenol- Sulfúrico. El Fe se valoró según USPXXIV empleando Absorción Atómica.

Se realizaron estudios de preformulación en formas farmacéuticas sólidas y liquidas, analizando interacciones principio activo y excipientes.

Se elaboraron jarabes y gotas orales empleando el complejo dextrano-Fe como vehículo de sales férricas. En las formulaciones se empleó agua estabilizada adicionada con distintos excipientes autorizados. Se realizaron controles físicos, químicos y microbiológicos según los siguientes parámetros: características organolépticas, pH, contenido de dextrano y hierro, estudios de estabilidad física–química a corto y mediano plazo y de liberación del Fe. Como controles positivos se utilizaron productos disponibles en el comercio.

Se diseñaron y obtuvieron comprimidos por granulación por vía húmeda y en tableteadora excéntrica a nivel semiindustrial. Se utilizaron excipientes (disgregantes, aglutinantes, diluyentes, lubricantes) autorizados. Se determinaron los controles físicos y farmacotécnicos (diámetro, espesor, peso, dureza, disgregación, friabilidad, disolución)

RESULTADOS

Las formas farmacéuticas orales líquidas (jarabes y gotas) tienen sabor dulce y frutado, teniendo en cuenta las preferencias de los niños; poseen pH 4 a 6; no presentan sedimentación ni alteración física luego de 100 días de preparación. Los ensayos microbiológicos revelaron ausencia de *Pseudomonas*, *Enterobacterias* y *Eschericchia coli*, según lo exigido por Farmacopeas.

La Tabla 1 muestra las formulaciones realizadas comparadas a las formulaciones comerciales.

FORMULACIONES	CONCENTRACION DE HIERRO	pH	Caracteres organolépticos
FORMULACION 1	2,99 %	2,4	Color ámbar Olor frutado
FORMULACION 2	3,39 %	3,6	Color ámbar Olor frutado
FORMULACION 3	4,08 %	5	Color ámbar Olor frutado
FORMULACION 1 patrón	2,40 %	2,2	Color ámbar Olor frutado
FORMULACION 2 patrón	2,49 %	2,45	Color ámbar Olor frutado
FORMULACION 3 patrón	5,13 %	4,77	Color ámbar Mentolado

Tabla1: Formulaciones comerciales y propuestas

Los preparados se mantuvieron estables física-química y microbiológicamente durante el período de control. Los ensayos microbiológicos revelaron ausencia de *Pseudomonas*, *Enterobacterias y Eschericchia coli*, y se mantuvieron estables microbiológicamente durante el período de ensayo (Tabla 2).

FORMULACIONES	MICROBIOLOGICOS	FISICOS
FORMULACION 1	SIN CRECIMIENTO	SIN SEDIMENTO
FORMULACION 2	SIN CRECIMIENTO	SIN SEDIMENTO
FORMULACION 3	SIN CRECIMIENTO	SIN SEDIMENTO
FORMULACION 1 patrón	SIN CRECIMIENTO	SIN SEDIMENTO
FORMULACION 2 patrón	SIN CRECIMIENTO	SIN SEDIMENTO
FORMULACION 3 patrón	SIN CRECIMIENTO	SIN SEDIMENTO

Tabla 2: Controles microbiológicos de soluciones orales

Las formulaciones orales sólidas (comprimidos) fueron diseñadas con el complejo dextrano-Fe y poseen la misma naturaleza química de su principio activo.

Los comprimidos elaborados con las primeras muestras de complejo sintetizado en Tucumán, Argentina presentaban un olor característico a fenol proveniente del conservador de la solución madre de principio activo usado. Los controles de calidad físicos y químicos realizados en estos primeros lotes se muestran en la Tabla 3

Lote Nº	Caracteres organolépticos			Uniformidad de peso		Forma - Tamaño		Pruebas de dureza		Disgregación
	Olor	Sabor	Color	Desv individual %	Desv lote %	Diámetro	Espesor	Friabilidad	Resistencia	
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	Pérdida 2,25 g% (1 comp. se rompe)	5,00 Kg fuerza	8,5 min.
2	Persistente a fenol y frambuesa	Amargo	Marrón con puntos blancos	Mas de 2 comp. exceden el 10 %	4,14	Uniforme 1,220 cm	Uniforme 0,530 cm	Pérdida 2,46 g% (1 comp. se rompe)	8,88 Kg fuerza	10 min.
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	Pérdida 2,20 g%	7,00 Kg fuerza	15 min.

Tabla 3: Controles de formas farmacéuticas sólidas

Posteriormente, se mejoró la metodología de obtención del complejo y se elaboraron nuevos lotes de comprimidos, cuyos controles se registran en Tabla 4.

Se observó que en cuanto al diámetro y espesor son constantes con respecto a los lotes anteriores, desaparece el olor a fenol y se disminuye la pérdida por disgregación.

PESO Do%	DIÁMETRO	ESPESOR	DUREZA	FRIABILIDAD	DISGREGACIÓN
2,71%	1,220 cm	0,530 cm	5,6 Kg fuerza	menor al 1%	8-9 min

Tabla 4: Controles farmacotécnicos de comprimidos

Los estudios de estabilidad entre 40°C y 60°C realizados durante 180 días mostraron que la forma farmacéutica en estudio es estable en su concentración de principio activo (dextrana-Fe)

El complejo dextrana-Fe empleado en las formulaciones posee 93 mg/ml de dextrano y 76 mg/g de Fe.

En base a los resultados obtenidos, se diseñó una nueva formulación conteniendo 36 mg de Fe elemental por comprimido, con la finalidad de reducir el número de dosis diaria a administrar. La nueva formulación ensayada permite una posología de administración de hasta tres tomas diarias (Figura 3).

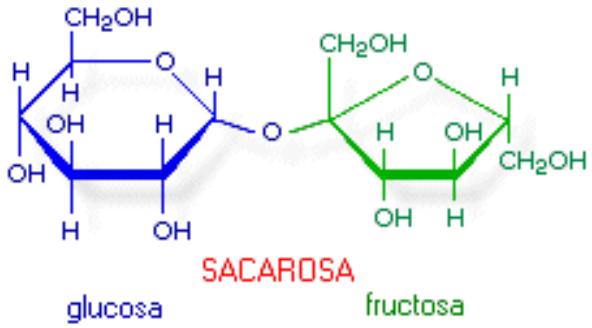


Figura 1: Estructura química del Dextrano

Figura 2: *Leuconostoc mesenteroides*

Figura 3: comprimidos con dextrana-Fe como principio activo.

Figura 4: Formas farmacéuticas orales líquidas

CONCLUSIONES

Se puede inferir que el complejo dextrano-Fe, vehiculizado en formas farmacéuticas orales líquidas y sólidas, constituye una nueva alternativa para el tratamiento de las anemias ferropénicas en humanos y sería un medicamento eficaz, estable y seguro. Su estabilidad en el corto plazo y la posología propuesta a partir de

las formulaciones diseñadas y elaboradas a escala de laboratorio en el presente trabajo muestran un aspecto muy novedoso si se lo compara con las presentaciones medicamentosas disponibles en el mercado.

Actualmente, se continúan los ensayos de estabilidad a largo plazo a los fines de cumplir con los requisitos farmacopeicos.

Por otro lado, cabe destacar que el desarrollo de nuevos productos farmacéuticos constituye un gran avance en la diversificación y aprovechamiento de los subproductos de la industria azucarera, y podría tener alto impacto social futuro por la abierta posibilidad de generar industrias alternativas con la consiguiente generación de nuevas fuentes de trabajo para Tucumán y otras regiones de Argentina y Cuba.

AGRADECIMIENTOS

La investigación fue solventada por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT), Argentina y el Convenio Bilateral Argentina – Cuba SETCIT-CITMA.

References:

- Blanco, M.D., Bernardo, M. V., Gómez, C., Muñiz, E., Teijón J.M. (1999) Biomaterials, 20 1919.
- Buckley P. (1992) Dextran 50 years. Abstract Journal. Internat. Scientific Sevices. 26 th annual volume, 1/1992.
- Chu, B. (1995) Langmuir, 11 414-421.
- Ecobichon D.J.The Basic of Toxicological testing CRC. Press Inc., USA, 1992.
- Farmacopea Argentina VI Ed. 1978.
- Farmacopea Argentina VII Ed. 2003.
- Ferrofax, Crookes Exports Limited, Basingtoke Hampshire, England, 1977.
- Iraizoz A., Bilbao O., Barrios M.A., (1990), Tecnología farmacéutica, 359, 363-4
- Michelena G., Bell A., Carrera E., Reyes A., Iraizoz A. (2000) Acta Farm. Bonaerense (4): 285-8
- Pavanetto, F., Conti, B., Genta, I., Giunchedi, P. (1992) Int. J. Pharm., 84 151.
- Sáez V., Hernáez E., Sanz L. (2004) Revista Iberoamericana de Polímeros, 5(2).
- Remington´s Farmacia. 17 ed. México, DF: Editorial Médica Panamericana, 1987; t 2: 2240-4.
- Sánchez, A., Vila-Jato, J. L., Alonso, M. J. (1993) Int. J. Pharm., 99 263.
- United State Pharmacopoeia Convention. 24 Ed.
- Eddy Castellanos Gil, Antonio Iraizoz Colarte , Abdelsam El Ghzaoui , Denis Durand , Jean Louis Delarbre , Bernard Bataille European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 68 (2008) 319–329
- Genaro Alfonso. R, Reminton's Pharmaceutica Sciences. Editorial Mack Publishing Company, 18 edición, USA 1990. Pag: 1435-1450.

CEPA LACTOBACILLUS COM17(D-) EN LA PRODUCCION DE ACIDO LÁCTICO

STRAIN LACTOBACILLUS COM17 (D (-) IN THE PRODUCTION OF LACTIC ACID

Xiomara Álvarez, Georgina Michelena, Emilia Carrera

Xiomara Álvarez email xiomara.alvarez@icdca.edu.cu

Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar ICIDCA

RESUMEN

La producción de Ácido Láctico por vía biotecnológica está basada en la fermentación de sustratos ricos en carbohidratos, por bacterias u hongos, y tiene la ventaja de formar enantiómeros D (-) o L (+), óptimamente activos.

Se estudió la influencia que ejerce la concentración del CaCO3 inicial en el medio MSC de fermentación como tampón para la regulación y control del p H.

Se estudió el efecto de la esterilización del medio de fermentación MSC, cuando se utilizó el medio estéril con Sacarosa y el medio estéril con Guarapo seco. Los resultados que fueron alcanzados de Ácido láctico con el medio con Sacarosa estéril fue de 60 g/L. y con Guarapo seco estéril fue de 69.85 g/L .Tiempo de fermentación 96 horas.

Los resultados que fueron obtenidos utilizando el medio MSC con Guarapo seco sin esterilizar arrojaron una concentración de Ácido Láctico de 73 g/L. Este resultado es de gran interés industrial porque permite ahorros energéticos considerables al no requerir la esterilidad del medio para la producción a mayor escala del ácido láctico.Tiempo de fermentación 96 horas.

Palabras Claves: *Acido Láctico, fermentación, Carbonato de Calcio, guarapo seco.*

SUMMARY

The biotechnological production of lactic acid by bacteria and fungi is based on the fermentation of substrates rich in carbohydrates and it has the advantage to form D (-) or L (+) enantiomers optically actives. The influence that exerts initial CaCo3 concentration in MSC fermentation medium as buffer for pH regulation and control was studied.

The effect of the sterilization on MSC fermentation medium with sucrose and dried sugar cane juice was studied. Reached values for lactic acid were of 60 g/L with sterile sucrose and 69.85 g/L with sterile dried sugar cane juice at 96 hours of fermentation.

Results obtained with MSC fermentation medium with non sterile dried sugar cane juice was 73 g/L of lactic acid. This result is of great industrial interest because it allows considerable energy savings since it is not required a fermentation medium sterility for lactic acid production thinking in a higher scale.

Key words: Lactic acid, fermentation, calcium carbonate, dried sugar cane juice.

INTRODUCCIÓN

El ácido láctico (AL) es un ácido compuesto de tres átomos de carbono con dos grupos funcionales en su estructura: el grupo hidroxilo (OH) y el grupo carboxilo (COOH) Esta bifuncionalidad le permite diversificar su aplicación hacia alimentos o hacia polímeros. El acido láctico, puede ser obtenido por vía química o por vía biotecnológica.

La producción por vía biotecnológica depende del tipo de microorganismo utilizado, la inmovilización o recirculación del microorganismo, el pH, la temperatura, la fuente de carbono, la fuente de nitrógeno, el modo de fermentación empleado y la formación de subproductos. Tiene la ventaja de formar enantiómeros D (-) o L (+), óptimamente activos y una modificación racémica constituida por fracciones equimolares de las formas L(+) y D(-) Una dificultad es que por vía fermentativa la producción de Ácido láctico es alto el costo en aislamiento y purificación por lo que las investigaciones se han enfocado a disminuir el costo de producción e incrementar la pureza del mismo. A diferencia del isómero D(-), la configuración L(+) es metabolizada por el organismo humano. El isómero D(-) es perjudicial al metabolismo humano y puede generar acidosis y descalcificación, según lo reportado por Panesar et al.(2007). Serna, C. y Rodriguez, A. (2005), señalaron que los isómeros puros del ácido láctico pueden ser obtenidos por fermentación microbiana a partir de una fuente renovable Se conoce que en la naturaleza es escasa las cepas productoras de altas concentraciones de Ácido láctico D(-).

La producción de Acido Láctico por Via química, está basada en la reacción de acetaldehído con ácido cianhídrico (HCN) para dar lactonitrilo, el cual puede ser hidrolizado a ácido láctico; otro tipo de reacción se basa en la reacción a alta presión de acetaldehído con monóxido de carbono y agua en presencia de ácido sulfúrico como catalizador. La síntesis química tiene la desventaja que el ácido láctico producido es una mezcla de D y L ácido láctico óptimamente inactivo, por lo cual el 90% del ácido láctico producido en el mundo es elaborado por vía biotecnológica.

Las bacterias que pueden utilizarse para la producción de Ácido láctico son cocos y bacilos Gram positivos, anaerobios facultativos, no esporulados, inmóviles y catalasa negativo, pertenecientes a los géneros *Lactobacillus, Carnobacterium, Leuconostc, Tetragenococcus.* Se señala que *Lactobacillus* delbrueckii es el microorganismo más utilizado en la producción a gran escala de ácido láctico, ya que es un microorganismo termófilo con temperatura óptima de crecimiento 41.5ºC, lo que reduce costos de enfriamiento y esterilización, así como riesgos de contaminación microbiológica en el fermentador. Serna, C. y Rodríguez de Stouvenel, A. (2004), reportaron que este microorganismo crece bien a un pH entre 5,5 y 6,5.

Industrialmente se utilizan como sustratos, sacarosa pura proveniente de azúcar de caña y remolacha azucarera, lactosa proveniente de lactosuero y dextrosa procedente de almidón hidrolizado. Serrato, B. y Calcedo, M. (2005), señalaron que la sacarosa refinada y la glucosa fueron los más utilizados. Otros posibles sustratos son materiales celulósicos, fueron reportados por Serna, C. y Rodríguez de Stouvenel, A. (2004). Otros autores como Menéndez, (1999), señaló que era posible usar melazas, aunque planteó problemas en las etapas de recuperación. Sin embargo, Monteagudo y Aldavero, (1999), utilizaron con éxito melazas de remolacha para la producción de ácido láctico.

El Ácido láctico, es utilizado ampliamente en las industrias alimenticia como acidulante, y conservante, en la industria química como solubilizador y como agente controlador de pH. En la producción de pinturas y resinas, puede ser utilizado como solvente biodegradable. Suriderp, (1995),reportó la utilización del ácido láctico en la industria farmacéutica, textil, del plástico, la química, la agricultura entre otros, Chang *et al*., (1999), reportó además.la posibilidad que ofrece de producir ácido polilactico (PLA), un biopolímero termoplástico empleado ampliamente en la medicina, en la producción de empaques para alimentos y Litchfield, (1996) reportó la utilización del ácido láctico en la producción de películas para la protección de películas de cultivos en estadios primarios. Recientemente se ha acelerado la investigación del ácido láctico por vía biotecnológica debido a la posibilidad de la transformación en poliláctico biodegradable (PLA) reportado por los investigadores, Michelena, G. (2003); Bello, D.; Michelena, G.; **R**endueles de la Vega, M. (2006),

Debido a que las bacterias del ácido láctico (LAB) tienen requerimientos nutricionales complejos, los investigadores proponen disminuir los costos de producción mediante el empleo de sustratos más baratos como desechos agroindustriales, a través del uso de microorganismos más eficientes y mediante la configuración de procesos integrados de purificación que permiten obtener L (+) y D (-) ácido láctico puro. Hofuendahl, K. y Hagerdal, H.,(2000), reportaron la eficacia del proceso biotecnológico que se mide en términos de concentración de ácido láctico, rendimiento del producto relacionado con el sustrato consumido y velocidad de producción, es muy variado y estos parámetros están marcadamente dependientes del microorganismo utilizado, de la fuente de carbono, de la fuente de nitrógeno, del pH, la temperatura y del modo de fermentación empleado y la formación de subproductos,

En este trabajo, se utilizó *Lactobacillus s*p COM17 D(-) aislada de un sustrato azucarero, esta cepa produce ácido láctico D(-). Se determinó la influencia que ejerce la concentración de carbonato de calcio inicial, utilizado en el medio de fermentación como tampón para la regulación y control del pH. Se ensayaron cinco concentraciones de Carbonato de Calcio, desde 5 hasta 40 g/L. Se determinaron concentración de Acido láctico, ART y pH como variables respuestas. Se estudió el efecto de la concentración de Ácido láctico producido cuando se utilizó el medio MSC con sacarosa como fuente de carbono.

Por otra parte, se estudió el efecto de la esterilización del medio cuando se utilizó medio patrón MSC, esterilizado y sin esterilizar con guarapo seco. Los experimentos fueron realizados a nivel de laboratorio y microplanta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la cepa. En el proceso fermentativo, se utilizó la cepa COM17 D(-) de *Lactobacillus sp* aislada de un sustrato azucarero y conservada en glicerol al 50% a -20°C. Esta cepa fue identificada, correspondiendo a la especie *Lactobacillus* delbruckii, Álvarez, X., (2008). Forum de Ciencia y Técnica 2008.

ART Azúcares Reductores Totales (ART): Método de Eynon Lane modificado para mieles oscuras, Biart (1975).

Determinación del Ácido Láctico total por titulación con cloruro férrico.
La fundamentación del método comprende la valoración de las muestras con el $FeCl_3 6H_2O$ y HCl (ac). Se basa en el complejo formado por la reacción entre los iones férricos y los *a*-hidroxiácidos de color amarillo, donde la intensidad del color es proporcional a la concentración del ácido láctico presente en la muestra. La concentración del ácido láctico se obtiene en una curva de calibración al conocer la densidad óptica de cada muestra obtenida de un espectrofotómetro a 425 nm.

Se toma 5 m L de muestra centrifugada y se añade 5 m L de H_2SO_4, 0,5 mol/L En volumétrico de 50 mL se vierte 25 mL de agua desionizada con 50 mL de muestra acidificada, se adiciona 50 m L de fenolftaleína y NaOH 1 mol/L hasta que la solución tome un color morado, luego se añade 5 m L de la solución de $FeCl_3 6H_2O$ 10 g/L con 50 m L de HCl 1 M . Se lee en un espectrofotómetro a 425 nm. contra el blanco.

El cálculo de la concentración es:

$$\text{Ácido láctico (g/L)} = \frac{\text{Conc} * 50 * 2}{\text{Vm}}$$

Conc: correspondiente a la D.O. en la curva de calibración del AL, mg/m L
Vm: Volumen de la muestra

Medio MRS: g/L
Glucosa, 15; Extracto de Levadura, 5.0; Extracto de Carne, 10; Peptona, 10; Acetato de Sodio, 5.0; Fosfato de Potasio, 2.0; Citrato de Amonio, 5.0; Sulfato de Manganesio, 0.05; Sulfato de Magnesio, 0.2; Twen 80, 1m L.

Medio M1; g/L Glucosa, 10g, Sulfato de Amonio, 1,65; Sulfato de Magnesio, 0,1, Fosfato de Amonio Monobásico, 1,0, p H 5,7 a 6,0. Carbonato de Calcio, 30.

Medio de Fermentación MSC: g/L: Sacarosa , 120; Extracto de Levaduras, 6: Soya Triptona, 5; Fosfato de Amonio monobásico, 1.0; Sulfato de Amonio, 1,65; Sulfato de Manganeso. 0.05; Sulfato de Magnesio, 0,1 g; Carbonato de Calcio, 30.0. p H , 5,3.

Fermentación comportamiento
La fermentación se llevó a cabo en dos etapas: Fermentación a nivel de laboratorio y Fermentación a nivel de Microplanta.

Fermentación a nivel de laboratorio, Un mL de la cepa COM17(D(-), conservada en Glicerol al 50%, se inoculó en 10 mL de medio MRS, se incubó sin agitación a 43°C, durante 72 horas. Seguidamente se inoculó en la relación 1:10 en el medio de M1 y se incubó con agitación a150 rpm durante 24 horas (preinóculo).

Fermentación a nivel de Microplanta
Fermentadores Marubishi de 3 litros de volumen útil conteniendo el medio de fermentación MSC fueron inoculados en la relación de 1:20. Los parámetros de operación fueron; aire 1.27 l/min, vvm 0,24, p H de 5.5 a 6,0 el mismo fue controlado con NaOH 6N, para mantener este rango de p H durante el tiempo de fermentación, 96 horas. Las muestras fueron extraídas cada 24 horas de fermentación y se determinó Ácido láctico, ART p H.

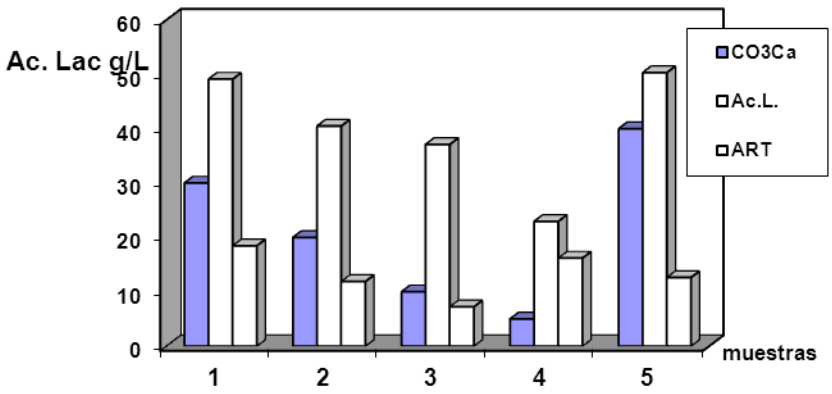
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de la concentración inicial de CaCO3 en el medio de fermentación En este estudio se persiguió ensayar la resistencia de la cepa COM17 (D-) a la concentración del ácido láctico del medio. El Carbonato de Calcio, es uno de los insumos de la fermentación y es favorable lograr optimizar su consumo en la fermentación.

En el Graf.1, fue evidenciado el carácter poco acidófilo de la cepa COM17, (D-) cuando se observó una

tendencia a la disminución de la producción de Acido Láctico con la disminución del Carbonato de Calcio en el medio de fermentación MSC, lo cual disminuye el efecto tampón del medio. Las concentraciones de **CaCO3** variaron de 5, 10, 20 y 30 g/L para la regulación del p H.

Influencia de la concentración inicial de CaCO3 en el medio de fermentación



Graf 1:Comportamiento de la resistencia de la cepa D(-) a las concentraciones de CO3Ca en g/L: 1(30), 2(20), 3(10), 4(5), 5(40)

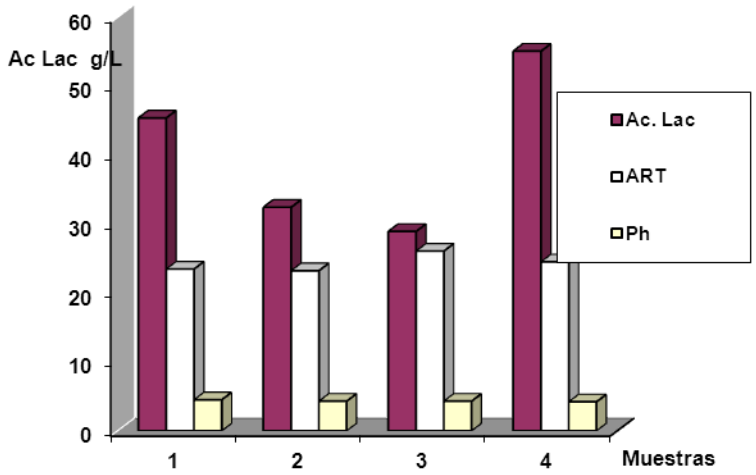
Con relación al medio MSC no estéril con Sacarosa a la concentración de 120 g/L y la sustitución de la Sacarosa por Guarapo seco, se observó una mayor producción de A.L. cuando se utilizó el Guarapo Seco a la misma concentración. Los parámetros de operación fuero Temperatura 43°C, tiempo 72 horas, agitación 150 rpm.

Graf. 2 Estudio a nivel de laboratorio Se muestra la Influencia de la esterilidad del medio de cultivo MSC y el efecto de la concentración de la fuente de carbono.
En el Experimento 1, medio MSC estéril con sacarosa 100 g/L, en el experimento 2, medio con Sacarosa estéril a 120 g/L, en el Experimento 3, medio con Sacarosa no estéril a 120 g/L y en el Experimento 4, medio con Guarapo seco no estéril.

Se observó que la producción de A.L en el medio estéril con Sacarosa fue mejor cuando se utilizó la Sacarosa a la concentración de 100 g/L.

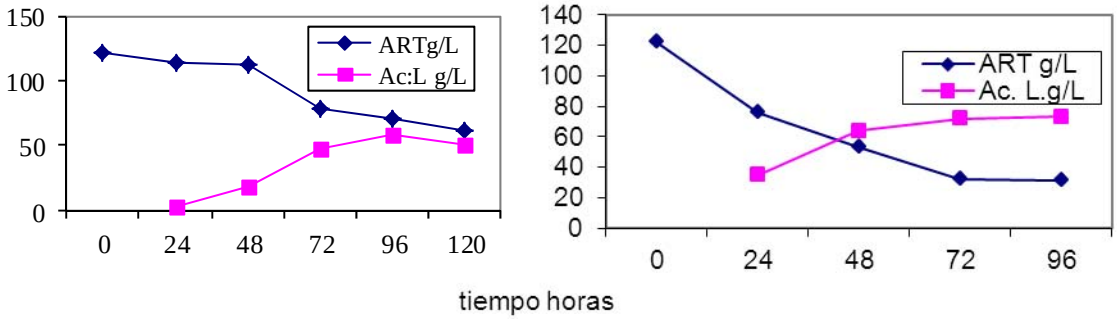
Con relación al medio MSC no estéril con Sacarosa a la concentración de 120 g/L y la sustitución de la Sacarosa por Guarapo seco , se observó una mayor producción de A.L. cuando se utilizó el Guarapo Seco a la misma concentración.. Los parámetros de operación fueron Temperatura 43°C, tiempo 72 horas , agitación

150 rpm., En los Experimentos 1, 2 y 3, los Azúcares Reductores Totales no tuvieron mucha variación al final de la fermentación. El p H, se mantuvo igual en los experimentos realizados.



Graf.2 Medio MSC pH 5,5 : 1(100g/L Sac.Est), 2(120g/LSac.Est) 3(Sac.No Est 120g/L) 4(Guarapo No. Est.120g/L)

Graf.3 Estudio a nivel de Microplanta. Se estudiaron los medios patrón MSC estéril con Sacarosa a 120 g/L y el medio MSC, sustituyendo la Sacarosa por Guarapo seco .a 120 g/L. sin esterilizar Parámetros de operación ;Temperatura 43 °C aireación 150 rpm , p H



Graf..3a. Medio MSC con Sacarosa

Graf.;3b. Medio MSC con Guarapo Seco

Graf 3 Cepa COM17 D(-). Estudio a nivel de Microplanta Producción de Acido Láctico, Medio MSC con Sacarosa Estéril y medio MSC con Guarpo Seco 120 g/L Sin Esterilizar.Se ajustó el pH 5 5

Graf 3a) Se observó una mayor producción de A.L. a partir de la hora 48 de fermentación del cultivo .hasta la hora 96 de fermentación del cultivo donde alcanzó la concentración de A.L 60,0 g//L en el Graf 3b, alcanzó la mayor proporción de A.L. a la hora 72 de fermentación del cultivo que correspondió 73 g/L de A.L, manteniéndose constante hasta la hora 96 de fermentación del cultivo. En ambos experimento el p H disminuyó progresivamente,

TABLA I Producción de Ac. Láct Estudio a nivel de Microplanta Medio MSC con Guarapo Seco Estéril

	ART g/L	**ARL g/L**	**A.L.g/L**	
H-0	120.59	-	-	4.7
H-24	80.37	3.38	36.00	4.7
H-48	42.86	5.72	60.94	4.2
H-72	40.52	5.27	68.66	5.4
H-96	23.30	4.56	69.85	5.2

Tiempo de fermentación 96 horas. ART y ARL (g/L) Ac.Lác (g/L) Temp 43°C, 150 rpm

Este estudio se realizó en fermentadores de 3 litros de volumen útil. En la TABLA.I. Se muestra el resultado de la cinética producción de A,L. a nivel de microplanta con el medio MSC con Guarapo seco estéril . Los parámetros de operación fueron: agitación de 150 rpm temperatura 43°C Tiempo de fermentación fue de 96 horas. Durante la fermentación el p H, se ajustó a 5,5 con Na OH, al 20% Las muestras fueron analizadas

cada 24 horas. Se obtuvo una concentración de A L. de 69,85 g/L. Cuando se comparó estos resultados con los obtenidos con el medio MSC con Guarapo Seco sin esterilizar los resultados fueron ligeramente mayores.

TABLA II CEPA COM17(D-) Producción de Ac. Láct Estudio a nivel de Microplanta Medio MSC con Guarapo Seco No Estéril

	ART g/L	**ARL g/L**	**A.L.g/L**	
H-0	122.47	-	-	4,7
H-24	76.29	3.51	34.66	4,6
H-48	53.52	5.69	63.72	4,3
H-72	32.20	5.44	71.97.	4,9
H-96	31.47	4.50	73.0	4.5

Tiempo de fermentación 96 horas. ART y ARL (g/L) Ac.Lác (g/L) Temp 43°C, 150 rpm

TABLA II. El estudio a nivel de microplanta se realizó en fermentadores de 3 litros de volumen útil.. Los parámetros de operación fueron; agitación 150 rpm, temperatura 43°C, p H 5.5 a 6.0. Se analizó la cinética producción de A,L en el medio MSC con Guarapo Seco no estéril. Durante la fermentación el p H, se ajustó a 5,5 con Na OH, al 20% Las muestras fueron analizadas cada 24 horas. Tiempo de fermentación fue de 96 horas. Se obtuvo una concentración de A L. de 73g/L. Cuando se comparó estos resultados con los obtenidos con el medio MSC con Guarapo Seco estéril fueron ligeramente mayores. Este resultado nos da la posibilidad de utilizar el medio MSC con Guarapo Seco sin esterilizar.

CONCLUSIONES

1. Se observó la influencia que ejerció la concentración de carbonato de calcio inicial, que se utilizó en el medio de fermentación como tampón para la regulación y control del pH. Se obtuvo una tendencia a la disminución en la producción del AL con la disminución del carbonato de calcio, lo cual indica el carácter poco acidófilo de la cepa COM17 D(-) al no ser capaz de producir a bajos valores de pH.

2. Se estudió el efecto de la esterilización del medio cuando se utiliza medio MSC y el medio MCS con Guarapo seco. Los resultados indicaron la factibilidad de la producción del ácido láctico en medio sin esterilizar utilizando Guarapo Seco.

3. Este resultado es de gran interés industrial porque permite ahorros energéticos considerables al no tenerse que requerir la esterilidad del medio para la producción a mayor escala del ácido láctico.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez, X. (2008), Identificación y estudio de la cepa *Lactobacillus* COM17D(-) , productora de ácido láctico. Forum de Ciencia y Técnica 2008.

Alkerberg y Zacchi. (2000), An economic evaluation of the fermentative production of lactic acid from wheat wheat flour *Bioresource Thecnology* 75. 119-126

Bello, D; Michelena, G; **R**endueles de la Vega, M. (2006). Los polilactatos y los materiales plásticos biodegradables. Métodos de obtención y aplicaciones del ácido láctico y los polilactatos. *Ingeniería Química*, feb. 176-184.

Biart, J. R. (1975), Determinación de Azúcares. Método Eynon-Lane modificado. Manual de Técnicas Analíticas de la Subdirección de Fermentaciones. ICIDCA.

Chang, D; Jung, H; Rhee, J; Pan, J. (1999) "Homofermentative production of D- or L-lactate in metabolically

Hofuendahl. K y Hagerdal, H. (2000), Factor affecting the fermentative lactic acid production from renewable resources . Enzyme and Microb. Technology 26, 87-107.

Lazarova y Peeva, (1994), Solvent extraction of latic acid from aqueous solution *Journal of Biotechnology* 32, 75-82

Litchfield, J. (1996), Microbial production of lactic acid. *Appl Mi-crobiol*. 42: 45-95.

Liliana Serna Cock[*], Aíd Rodríguez d Stouvenel[*] (2004), Batch fermentative production sugarcane juice Revista Colombiana de Biotecnología Vol VI No 2 Diciembre 37-42

Michelena, G. (2003), Bioplásticos de ácidos polilácticos como una alternativa viable a plásticos convencionales

Menéndez, I. (1999) El ácido láctico ejemplo del aprovecha-miento químico de residuop; Enhttp:\\teleline.tgerra.es/personal/forma_xxi/cono7.htmMinisterio del Medio Ambiente. 1997. Legislación tambien-tal colombiana. Resolución 619 del 7 de julio de 1997.

Monteagudo, J.; Aldavero, M. (1999), Production of L-lactic acid by Lactobacillus delbrueckii in chemostat culture using an ion on exchange resins system. J. of Chem Techonoland Biotechno. 74(7):627-634.

Serrato, B. y Calcedo, M. 2005. Efecto de la concentración de material inerte en un biocatalizador de alginato de calcio con células inmovilizadas sobre la fermentación láctica. Ingeniería e investigación 25 (2): 78-82.

Serna, C. y Rodriguez, A. (2005), Produccion biotecnologica de ácido láctico: estado del arte. Ciencia y Tecnologia de Alimentos 5(1): 54-65.

Serna C. y Rodríguez de Stouvenel, A. (2004). Batch fermentative production sugarcane juice Revista Colombiana de Biotecnología Vol VI No 2 Diciembre 37-42

Suriderp, C. (1995), Ullman's Encyclopedia of industrial chemistry: ácido láctico. 5 edition. De Barbara Elvers, pp. 97-104.

Panesar, P., Kennedy, J. y Knill, C. (2007ª), Applicability of pectate-entrappe Lactobacillu casei cells for L(+) lactic acid production from whey. Applied

Índice de autores

Abackerli, Fernand
Abreu, Kirenia
Abril, Alejandro
Acosta, Pedro P.
Acosta, Manuel
Acosta, Y.
Aday, Osmany
Aguila, Luis
Aguilar, Antonio
Aguilar, Noé
Albarracín, Patricia
Albernas, Yailet
Alejandre, J.
Alfonso, Isabel
Alfonso, M.
Alfonso, Marlen C.
Almazán, Oscar
Almeida e Silva, J. B.
Alonso, Dania
Álvarez, Amaury
Álvarez, Jorge.F.
Álvarez, Xiomara
Amores, Isis
Amorim, Henrique V.
Anache, Silvino
Angarica, Elio
Angulo, Yamila
Arcia, F. J.
Arcia, Javier
Arias, M.E.
Arísticas, Roberto C.
Ariza, E.P.
Armenteros, Silvia
Arteaga, Luis E.
Arzola, Nelson
Bacallao, F.F.
Balvantín, C.
Barnes, Norma G.
Baron, Peter
Barquié, Odalis
Barrera, Marta
Barroso, Javier
Bell, Antonio
Benítez, Ledya
Bernadete, María
Bernal, Aydiloide
Bernal, M.
Bernal, N.
Biradar, P. S.
Bittencourt, Hugo
Blanco, Idania
Bocourt, Ramón
Bordallo, Eduardo
Borkosky, Daniel
Borges, Dayamí
Borroto, Jorge F.
Botello, Aroldo
Bouzo, Libia
Bravo, Carlos
Bretón, Diubel H.
Brown, Adolfo
Burón, Felipe
Cabello, Agustín
Cabrera, José M.
Calderón, Maida
Cámara, Amalia
Campo, Felipe
Canales, Mario J.
Capote, Mayra
Capote, Mercedes
Capote, O.
Caraballoso, Víctor
Cárdenas, Jorge L.
Carnell, Juan

Carrera, Emilia
Carrillo, Raúl
Carrillo, Yudines
Carvajal, Omelio
Casa, M.
Casanova, Eduardo
Castillo, Grolamys
Castillo, Pedro
Cavado, Roberto
Cepero, Israel
Cerso, Orlando
Cerutti, Graciela
Cervantes, Carmen
Cervantes, Oscar
Cervera, Gerardo G.
Céspedes, Arian
Céspedes, M. A.
Céspedes, María I.
Chanfón, Juana M.
Chinchankar, Amol
Chinea, Antonio
Cisneros, M.V.L.
Cisneros, Mario
Cobas, A.
Cobo, Yakelin
Cobo, Raúl
Consuegra, R.
Consuegra, Ramón
Cordovés, Marianela
Corsano, Gabriela
Cortegaza, Pedro L.
Costales, Raúl
Cruz, Rubisel
Cuellar, Humberto
Cuello, Héctor
Cutiño, Y.
Da Silva, Helio. F.
Daley, Leticia
Daley, Mamna
Delgado, Catalina
Delgado, Grizel
Delgado, Irenaldo
Delgado, Javier
Di Paola, Carlos
Díaz de Villegas, María E.
Díaz, Arnaldo.
Díaz, Carmen
Díaz, Félix R.
Díaz, J. Carlos
Díaz, Leonel
Díaz, María M.
Díaz, Mercedes
Díaz, Nelson
Díaz, Yasser
Diez, Francisco
Domenech, Fidel
Dopico, Daisy
Dunand, Rafael
Durán, C.
Elías, Arabel
Elordoy, Alberto
Elordoy, Sebastián
Eng, Felipe
Enrique, Roberto
Enriquez Poy, Manuel
Escalona, Luis
Espinosa, David
Estrada, Eric
Estupiñán, Santiago
Faife, Evelyn
Faillaci, S.M.
Fernández , Y.
Fernández, Orietta
Fernández, Fernando
Fernández, Idalmis
Fernández, J.
Fernández, Juan
Fernández, María T.
Fernández, P. E.
Fernández, Roxana
Fernández, Yoslen
Ferrer, Maira

Fonseca, Jorge
Fonseca, Pedro L.
Fooladvand, M.
Fraga, Reinaldo
Gallardo, Aylin
Gallardo, Mariela
Gallego, R.
Gálvez, Guillermo
Gámez, H.
Garcés, Dania
García, Alberto
García, E.
García, Federico
García, Héctor
García, Iliana
García, Inoel
García, Jorge L.
García, José L.
García, Roxana
García, Tania
García, Yaneisy
Garcías, José R.
Garit, Carlos
Garrido, Norge A.
Gastón, Cristina
Giordano, J. E.
Girón, E.T.
Gobato, Nadia
Gómez, Andrés
Gómez, Eulalia
Gómez, José R.
Gómez, S.
Gómez, Santos
Gómez, Víctor
González, Erenio
González, Fernando
González, Harol
González, Juan M.
González, Maribel
González, Marta
González, Meily.
González, Pedro.A.
González, Roberto
González, Rolando M.
González, Tania
Granado, C.
Grass, Karel
Grassmann, Paulo
Großmann, Dirk
Guardarrama, Raymundo
Guevara, Carmen A.
Guevara, Raúl
Guevara, Yusmila
Guillén, Sergio
Gutberto, S.S.
Gutiérrez, Delfin
Gutiérrez, Yisel
Hackembruch, Fernando
Hamdi, Hassan
Héctor Rodríguez, H.
Heredia, B.
Hernández, Adrian
Hernández, Ana R.
Hernández, Aracelia
Hernández, Bárbara
Hernández, Francisco J.
Hernández, German
Hernández, Luis
Hernández, Maby
Hernández, Miguel A.
Hernández, R.
Hernández, Raúl
Hernández, Yelenys
Herrera, Nancy
Herrera, R.
Homem, Modesto
Houbron, E.
Hurtado, H.
Hurtado, Rafael
Ibarra R. J.
Ibarra, José
Iliná, A.

Islen, Pedro
Izquierdo, Yaima
Jackson, Phillip
Jaramillo, Héctor
Jiménez , M. A.
Jiménez, Gilda
Jiménez, Mayra
Jorge, Héctor
Kallin, Tomas
Keuken, Hans
Khadi, B.M.
La O, María
Labrada, Antonio
Lamelas, Carlos
Lamí, Laura
Leal, Juan A.
Lemes, Tamara
Lencina, María F.
León de, M. E.
Leon, E.
León, Vivian
Lewinski, Juliusz
Leyva, Jorge L.
Lezcano, Pedro
Lizárraga, J.
Llanes, Ailsa
Lodos, J.
Lois, J. A.
López, R.A.
Lora, Nilda
Lorenzo, Magdalena
Lorenzo, Yaniris
Lovelle, Armando
Luis, Jorge
Machado, Luis F.
Machado, Pablo
Marcos Furco, A.
Martín, George
Martín, Aurora
Martín, Alfredo
Martínez, Aidín
Martínez, J.
Martínez, J. L.
Martínez, Lisandra
Martínez, M.
Martínez, Ricardo
Martínez, Yanay
Martínez, Yordan
Mato, Silvia
Matos, J.
McCarthy, Bob
Medina, Bárbaro F.
Mendoza, B. Y.
Mendoza, Yulexi
Merino, M. A.
Mesa, J.M.
Mesa, Jesús
Mesa, Leyanis
Mesa, Mairelys
Michelena, Georgina
Mieres, Gretel
Mijares, Danilesvy
Mira, A.
Miranda, O.M.
Modesto, Bruno F.
Mohebic, Javad
Molina, Rafael
Monduí, Ruben
Monroy, Esturdo E.
Montalvan, Joaquín
Montano, Ramón
Montero, Beatriz
Montes de Oca, Jorge L.
Mora, Norma E.
Morales, Misley
Moreno, P.
Mosquera, Jesús
Moya, Jorge L.
Muratore, P.
Nava, E.
Navarro, Héctor
Nogueiras, Clara

Noy, Arlandy
Núñez, Arianna
Nuñez, Dunia
Ocaña, Víctor S.
Occeguera, Zenaida E.
Octaviano, Mariana
Octaviano, Mario
Ofarill, Juan
Oliva, Luis M.
Omir, Marcos
Ortega, Grisel M.
Ortiz, Ciro
Otero, Miguel A.
Pablos, Pablo
Padrón, Magalys
Padrón, Orlando
Pajes, R.
Panissa, Germán
Parvizi, Masoud
Patil, B.
Paz, Dora
Pedraza, Redimio
Pelaez, Manuel
Pellicer, Ruben G.
Pello, Dennis
Pello, P.
Peña, Carlos
Peña, Enma
Peña, Liet
Peña, Midiala
Peña, Miguel A.
Perdomo, Armando
Pérez, A.I.
Pérez, Carlos
Pérez, D.M.
Pérez, Duniet
Pérez, Hipólito I.
Pérez, I.
Pérez, Indira
Pérez, J.
Pérez, J.C.
Pérez, José A.
Pérez, M.
Pérez, Osney
Pérez, Raúl A.
Pino, J.
Pino, Jorge
Pino, Oriela
Platero, Boris
Plaza, Joaquin
Porto, Olga
Pouza, Ivia
Puchadez, Yaquelin
Quiñones, Iraida
Ramil, Marlén.
Ramírez, Hermis
Ramírez, Ricardo
Ramos, Eduardo L.
Ramos, Irma
Ramos, María B.
Ravelo, Susana
Readigos, Ricardo
Regalado, Orlando
Reinaux, Marcillo
Renté, Arletis
Reyes, Arlyn
Reyes, Carlos F.
Reyes, Susana
Reynaldo, Inés
Ribas, Mauricio
Rill, S.
Rivera, Alfredo
Rivera, L.
Rodríguez, Alegna
Rodríguez, Alexys
Rodríguez, Andrés
Rodríguez, Arelis
Rodríguez, Bárbara
Rodríguez, Héctor
Rodríguez, Irán
Rodríguez, Isnoel
Rodríguez, Javier

Rodríguez, José
Rodríguez, Julián
Rodríguez, L.
Rodríguez, Lizet
Rodríguez, Mayra
Rodríguez, Ramón
Rodríguez, Reynaldo
Rodríguez, Roberto J.
Rodríguez, Román
Rodríguez, Y.V.
Rodríguez, Yosvell
Rodríguez, Yunior
Rodríguez, Zoraya
Roi, Mario
Rojas, Enrique
Rojas, H.
Rojas, Hermys
Rojas, Lixis
Román, R.
Roque, Reynaldo
Rossi, Ivan
Rostgaard, Leopoldo
Ruisánchez, Yohandry
Ruiz, Josefa
Rustrian, E.
Sabadí, Raúl
Sáenz, Tirso
Salcedo, Mary L.
Salermo, Martha
San Juan, Ana N.
Sánchez, Walfrido
Sánchez ,José
Sánchez, Alexander
Sánchez, Jesús
Santana, A.M.
Santana, Ignacio
Santana, Juan
Santos, José C.
Santos, Ronaldo
Sarduy, Lucia
Sauceda, José M.
Saura, Gustavo
Saura, Maribel
Scull, Idania
Segura, P.
Seijo, Angel
Señoranes, Sergio
Serrano, Adrian
Serrano, J.
Shojab, Morteza
Silva, D.
Solano, Cutberto
Solís, A.
Sosa, Daylin
Sosa, Mercedes
Sosa, Roberto
Soto, Alfredo A.
Suárez, Héctor J.
Tacoronte, Juan E.
Tadeo, Alvaro
Tamayo, Mónica
Tasso, Luis C.
Tavasoli, Ahmad
Tejeda, Tamara
Tello, Resky
Terry, Elein
Tirado, Disney
Toro del, Yoel
Torres, Alfredo
Torres, Esmérida
Torres, Isabel
Torres, R.
Toscano, D.
Triana, O.
Vaillant, C. Y.
Vaillant,Yoandry
Valdés, Antonio
Valdés, Daniel
Valdés, Eloy
Valdivié, Manuel
Valencia, Aldo
Valladares, Félix

Vargas, Irina
Vasallo, María C.
Vázquez, Arelys
Vázquez, Ledisliana
Vázquez, Miguel
Vega, Maricela
Velazco, Gliseria
Vera, Ana M.
Vera, Antonio
Vergara, S.
Viana, M.T.C.
Vidal, Manuel L.
Villafranca, Raydel
Villamil, Gloria
Villar, José
Villazón, Juan A.
Villegas, N.
Villegas, Rafael
Viñals, M.
Viñas, Judith
Wong, A.
Ybalmea, Rolando
Yordan, Y.
Zambrano, Nancy Y.
Zuaznábar, Rafael