

ICIDCA

sobre los derivados de la caña de azúcar

Volumen 48 No. 1 enero - abril 2014

ISSN - 0138-6204



Cuantificación del contenido de aminoácidos
en el bionutriente fitomas-E seco en polvo por
HPLC-ESI-MS/MS



Comportamiento de algunos parámetros
del azúcar crudo en el quinquenio
2006-2010. Parte I



Caracterización de los
residuos de la cosecha
de la caña de azúcar
almacenados a granel

Í N D I C E

Cuantificación del contenido de aminoácidos en el bionutriente FITO-MAS-E seco en polvo por HPLC-ESI-MS/MS

Grolamys Castillo-Portela, Alejandro Torrecillas-Sánchez,
José Villar-Delgado, Manuel Acosta-Echeverría, José Sánchez-Bravo

3

Separación, purificación y caracterización de poli-hidroxibutirato

Grisel M. Ortega Arias-Carbajal, Antonio Bell-García

7

Identificación básica de extractivos en alcohol benceno del bagazo de la caña de azúcar mediante CG/EM

Raúl Hernández-Sánchez, Laura Lami-Izquierdo, Jorge Pino-Alea, Amalia
Cámara-Pérez, Yanay Martínez-Pérez

16

Verificación y validación del software FERMENTA 5.0 para la simulación de la fermentación alcohólica

Mauricio Ribas-García, Rafael Hurtado-Vargas,
Fidel Domenech-López, Norge Garrido-Carralero

21

Metodología para la determinación de los costos de calidad en un laboratorio de ensayos físico-químicos

Ivonne Martínez-Pérez, Jesús Mesa-Oramas,
Martha Salermo-Martínez, Carlos Peña-Velázquez,
Alejandra-Sánchez Herrera

30

Comportamiento de algunos parámetros del azúcar crudo en el quinquenio 2006-2010. Parte I

Roberto J. Rodríguez-Mambuca, Julián Rodríguez-López,
Jesús Mesa-Oramas, Fernando Fernández-Álvarez,
Alejandra Sánchez-Herrera, Miriam Gay-Querol-Camacho

39

Análisis de alternativas de mejora para la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos

Berlan Rodríguez-Pérez, Ana Margarita Contreras-Moya,
Elena Rosa-Domínguez

44

Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*

María Bernarda Ruilova-Cueva, Aldo Hernández-Monzón

54

Diseño del centro virtual de información tecnológica del azúcar

Maby Hernández-Curbelo, Rafael Hurtado-Vargas

60

Caracterización de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar almacenados a granel

Omar Triana-Hernández, Tamara S. León-Martínez,
María I Céspedes-Vázquez, Amalia Cámara-Pérez

65

Pretratamientos empleados en los materiales lignocelulósicos para la producción de bioetanol: una visión general

Danay Carrillo-Nieves, Lourdes Zumalacárregui-de-Cárdenas,
Olga Sánchez-Collazo, Georgina Michelena-Álvarez,
Hector Yznaga-Blanco, José Luis Martínez-Hernández,
Cristóbal Noé-Aguilar

71

C O N T E N T S

3

Quantification by HPLC-ESI-MS/MS of amino acid content in the dry powder bionutrient FITOMAS-E

Grolamys Castillo-Portela, Alejandro Torrecillas-Sánchez,
José Villar-Delgado, Manuel Acosta-Echeverría, José Sánchez-Bravo

7

Isolation, purification and characterization of poly-hydroxybutyrate

Grisel M. Ortega Arias-Carbajal, Antonio Bell-García

16

Basic identification of benzene/ethanol extracts from sugarcane bagasse by CG/EM

Raúl Hernández-Sánchez, Laura Lami-Izquierdo, Jorge Pino-Alea,
Amalia Cámara-Pérez, Yanay Martínez-Pérez

21

Verification and validation of FERMENTA 5.0 software for simulation of alcoholic fermentation

Mauricio Ribas-García, Rafael Hurtado-Vargas, Fidel Domenech-López,
Norge Garrido-Carralero

30

Methodology for the determination of assay quality costs

Ivonne Martínez-Pérez, Jesús Mesa-Oramas,
Martha Salermo-Martínez, Carlos Peña-Velázquez,
Alejandra Sánchez-Herrera

39

Behaviour of some parameters of raw sugar in the five year period 2006-2010. Part I

Roberto J. Rodríguez-Mambuca, Julián Rodríguez-López,
Jesús Mesa-Oramas, Fernando Fernández-Álvarez,
Alejandra Sánchez-Herrera, Miriam Gay-Querol-Camacho

44

Alternative analysis for the improvement of sugar production in Cienfuegos province

Berlan Rodríguez-Pérez, Ana Margarita Contreras-Moya,
Elena Rosa-Domínguez

54

Evaluation of agriculture waste for the production of the mushroom *Pleurotus ostreatus*

María Bernarda Ruilova-Cueva, Aldo Hernández-Monzón

60

Design of a virtual center for sugar technology information

Maby Hernández-Curbelo, Rafael Hurtado-Vargas

65

Chemical waste characterization of cane harvest stored in bulk

Omar Triana-Hernández, Tamara S. León-Martínez,
María I Céspedes-Vázquez, Amalia Cámara-Pérez

71

Pretreatments employed in lignocellulosic materials for bioethanol production: an overview

Danay Carrillo-Nieves, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas,
Olga Sánchez-Collazo, Georgina Michelena-Álvarez,
Hector Yznaga-Blanco, José Luis Martínez-Hernández,
Cristóbal Noé-Aguilar

Cuantificación del contenido de aminoácidos en el bionutriente FITOMAS-E seco en polvo por HPLC-ESI-MS/MS

Grolamys Castillo-Portela¹, Alejandro Torrecillas-Sánchez², José Villar-Delgado¹,
Manuel Acosta-Echeverría³, José Sánchez-Bravo³.

1. 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, Cuba
grolamys.castillo@icidca.edu.cu

2. Universidad de Murcia. Servicio de Apoyo a la Investigación(SAI).
Edificio SACECAID de Campus Universitario, Murcia, España

3. Universidad de Murcia. Facultad de Biología.
Espinardo, 30100, Espinardo, Murcia, España

RESUMEN

Se muestra el estudio realizado para identificar y cuantificar, mediante la técnica HPLC-ESI-MS/MS, los aminoácidos presentes en el bionutriente natural FitoMas-E seco en polvo. Este producto estimula el crecimiento de las plantas, aumenta la capacidad de autodefensa, los rendimientos y la calidad de las cosechas de los cultivos tratados. Los análisis se realizaron en un equipo Agilent 1100 con Trampa de Iones y una interfase electrospray (ESI). Se utilizó una columna Discovery C18, 2,1 x 150 mm, 5 µm, termostataada. La fase móvil A consistió en 0,1 % de ácido tridecafluoroheptanoico (TDFHA) en agua y la B en 0,1 % de TDFHA en acetonitrilo. Se utilizó un gradiente de elusión de polaridad. En la composición de aminoácidos encontrada en el producto, se destacaron como mayoritarios los aminoácidos: alanina, valina, ácido aspártico y arginina. La técnica empleada resultó adecuada por su sensibilidad para la determinación del perfil aminoacídico en el polvo del hidrolizado estudiado.

Palabras clave: aminoácidos, FitoMas-E seco, HPLC-ESI-MS/MS.

ABSTRACT

Present paper shows a study to identify and quantify the amino acids in the dry powder Fitomas-E, a natural bionutrient, growth promoter, which increases the capacity of self-defense, yields and crop quality of treated cultures, using the LC-MS technique. The analyses were carried out on an Agilent 1100 Series HPLC connected to an Agilent Ion Trap XCT Plus Mass Spectrometer using an electrospray (ESI) interface. A Discovery C18 column, 2.1 x 150 mm, 5 µm, thermostatted at 40 °C, was used. Mobile phase A, consisting of 0.1% Tridecafluoroheptanoic acid (TDFHA) (w/v) in MilliQ water, and mobile phase B, consisting of 0.1% TDFHA (w/v) in acetonitrile, were used for the chromatographic separation. The gradient elution program by polarity was used. In the amino acid composition found in the product, were highlighted as major amino acids: alanine, valine, aspartic acid and arginine. This technique was appropriate for the determination of amino acids profile in a solid of protein hydrolyzate taking into account sensitivity.

Keywords: amino acids, dry powder FitoMas -E, HPLC-ESI-MS/MS.

INTRODUCCIÓN

El FitoMas-E, producto registrado por el ICID-CA, es un bionutriente natural de aplicación foliar o radicular, constituido por sustancias biológicas de alta energía, comunes al metabolismo de los vegetales y de sales minerales portadoras de nitrógeno, fósforo y potasio. Sus principales ventajas están dadas como estimulante para el crecimiento de las plantas y para equilibrar el metabolismo de las mismas, sometidas a cualquier tipo de estrés. Su utilización reporta como principales ventajas: el incremento de la capacidad de autodefensa, la mejora en la interrelación con el suelo, el aumento de los rendimientos y la calidad de las cosechas de los cultivos tratados (1).

Entre los componentes del producto, que es de interés caracterizar, se encuentran los aminoácidos. Estas sustancias son esenciales para infinidad de preparados con fines industriales, farmacéuticos y agrícolas.

Existen diferentes técnicas cromatográficas para el análisis de aminoácidos, pero la mayoría de ellas requieren derivatización precolumna o poscolumna con el objetivo de mejorar la separación cromatográfica y la detección (2-6). Sin embargo, estos procedimientos consumen tiempo y pueden causar la producción de artefactos e interferencias. Para evitar este inconveniente, varios autores han utilizado el HPLC para la determinación de algunos aminoácidos sin derivatizar (7). La técnica espectroscópica MS-MS como herramienta de detección, tiene la ventaja de ser más sensible y específica para el más amplio rango de aminoácidos, que aún en cantidades trazas pueden ser detectados. Por esta razón, varios autores reportan el uso de la técnica HPLC-ESI-MS/MS, para el desarrollo de un método rápido, simple y sensible en el análisis de aminoácidos en matrices complejas (8-16).

El objetivo de este trabajo es cuantificar el contenido de aminoácidos y determinar el perfil aminoacídico presente en el polvo del hidrolizado de FitoMas-E, mediante la técnica HPLC-ESI-MS/MS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó como muestra FitoMas-E producido a escala de planta piloto como polvo seco. Se pesó 1 g de la muestra, se diluyó en agua y se filtró por 0,45 μm . Se inyectó la muestra diluida.

Se utilizó un kit de patrones de L-aminoácidos LAA21 de la firma Fluka, Sigma-Aldrich. Se utilizó acetonitrilo grado HPLC y el ácido tridecafluoroheptanoico (TDFHA) de la firma Sigma-Aldrich.

El análisis se llevó a cabo en un sistema HPLC/MS que consiste en un HPLC Agilent 1100

Series (Agilent Technologies, Santa Clara, California, EE.UU.) equipado con un autoinyector y una bomba cuaternaria, conectado a un Espectrómetro de Masas Agilent Ion Trap XCT Plus (Agilent Technologies, Santa Clara, California, EE.UU.) utilizando una interfase electrospray (ESI). Las muestras y los patrones (20 L) fueron inyectados en una columna de fase reversa (Discovery C18, 5 μm , 2,1 x 150 mm, Supelco) termostata a 40 °C y se eluyó con un caudal de 200 L/min durante toda la separación. Las muestras se pasaron a través de filtros de membranas de nylon de 0,22 μm , de la firma Supelco, antes de la inyección.

La fase móvil A, consistió en un 0,1 % de ácido tridecafluoroheptanoico (TDFHA) (w/v) en agua milliQ y la fase móvil B, consistió en un 0,1 % TDFHA (w/v) en acetonitrilo. Las condiciones de marcha inicial de HPLC fueron disolvente A:B 90:10 (v/v). El programa de gradiente de elución fue de 10 % del solvente B durante 10 min; un gradiente lineal de 10 a 40 % del solvente B en 15 minutos, otro gradiente lineal desde 40 hasta 100 % del solvente B en 10 min; 5 minutos a flujo constante de 100 % de solvente B. La columna se equilibró con la composición inicial de la fase móvil durante 15 minutos antes de cada proceso analítico.

Para la cuantificación se realizó una calibración externa con mezcla de L-aminoácidos LAA21 de la firma, Sigma-Aldrich: ácido aspártico (Asp), ácido glutámico (Glu), asparagina (Asn), serina (Ser), glutamina (Gln), histidina (His), glicina (Gly), threonina (Thr), alanina (Ala), arginina (Arg), tirosina (Tyr), valina (Val), metionina (Met), triptófano (Tryp), fenilalanina (Phe), leucina (Leu), lisina (Lys) y cistina.

El espectrómetro de masas se operó en el modo positivo con una tensión de spray capilar de 3500 V y una velocidad de barrido de 22000 (m/z)/seg desde 50 a 250 m/z. La presión del gas nebulizador, velocidad de secado del flujo de gas, y la temperatura de secado de gas se fijaron en 30 psi, 8 l/min y 350 °C. Otros parámetros del instrumento se optimizaron para generar la intensidad máxima de la señal. Los datos se obtuvieron en MS y MS/MS mediante el modo de Monitoreo del ion seleccionado y se procesaron utilizando el programa DataAnalysis para LC/MSD Trap, versión 3.2 (Bruker Daltonik, GmbH, Alemania) provisto por el fabricante. El cromatograma de cada aminoácido tanto de patrones como de las muestras se procesó a través del programa DataAnalysis y los datos del área del pico de los cromatogramas se utilizaron para el cálculo de las curvas de calibración, a partir de los cuales se obtuvieron las concentraciones de cada aminoácido en las muestras.

La detección MS-MS se realizó en modo positivo y las transiciones iónicas se siguieron, utilizando el Modo del ión seleccionado. La tabla 1 muestra las transiciones iónicas de cada aminoácido utilizadas en la detección MS/MS en modo positivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se desarrolló un procedimiento rápido y sensible por LC-MS para la determinación del perfil aminoacídico del FitoMas E seco en polvo. La preparación de la muestra usada es simple, rápida y libre de interferencias sin una etapa de derivatización.

Cuando se inyectó el sobrenadante filtrado de la muestra, de FitoMas-E en polvo, dispersa en agua, se obtuvo el contenido en mol/ml de 18 aminoácidos. La tabla 2 resume los resultados de concentración y de regresión lineal obtenidos cuando se realizó la cuantificación y el estudio de linealidad.

Como puede apreciarse en la composición de aminoácidos encontrada, se destacan como mayoritarios los aminoácidos: alanina, valina, ácido aspártico y arginina. La cuantificación cumplió con el criterio de linealidad de los análisis.

Tabla 1. Transiciones de iones en MS/MS

Aminoácido	Transición iónica
Gly	76 > 58
Ala	90 > 72
Ser	106 > 88
Pro	116 > 70
Val	118 > 72
Thr	120 > 93
Ile/Leu	132 > 86
Asn	133 > 87
Asp	134 > 88
Lys/Gln	147 > 130
Glu	148 > 130
Met	150 > 133
His	156 > 110
Phe	166 > 120
Arg	175 > 157/158
Tyr	182 > 136
Trp	205 > 188
Cistina	241 > 224

Tabla 2. Contenido en $\mu\text{mol/ml}$ de aminoácidos en el FITOMAS E seco en polvo cuantificado por LC-MS, ecuación lineal y coeficiente de regresión r^2

Aminoácido	Conc ($\mu\text{M/mL}$)	Ecuación lineal	r^2
Gly	0,21	$y = 26584x + 295424$	0,9987
Ala	12,85	$y = 107108x + 966979$	0,9988
Ser	0,80	$y = 290582x + 4E+06$	0,9981
Pro	4,40	$y = 1E+06x + 2E+07$	1,0000
Val	16,02	$y = 651985x + 1E+07$	0,9939
Thr	1,66	$y = 1E+06x + 2E+07$	0,9964
Ile/Leu	1,14	$y = 3E+06x + 3E+07$	0,9983
Asn	0,33	$y = 2E+06x + 3E+07$	0,9987
Asp	6,64	$y = 811830x + 3E+06$	0,9993
Lys/Gln	0,36	$y = 3E+06x + 5E+07$	0,9998
Glu	0,87	$y = 946250x + 1E+07$	0,9997
Met	0,76	$y = 3E+06x + 2E+07$	0,9999
His	0,08	$y = 3E+06x + 4E+07$	0,9975
Phe	0,10	$y = 5E+06x + 5E+07$	0,9973
Arg	2,39	$y = 2E+06x + 1E+07$	0,9983
Tyr	0,30	$y = 4E+06x + 3E+07$	0,9998
Trp	0,18	$y = 4E+06x + 3E+07$	0,9998
Cistina	0,63	$y = 4E+06x + 3E+07$	0,9998

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un método rápido, sensible y lineal por LC-MS para la determinación del contenido de aminoácidos en FitoMas- E seco en polvo.
2. En la composición de aminoácidos encontrada en el FitoMas-E, se destacan como mayoritarios los aminoácidos: alanina, valina, ácido aspártico y arginina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Montano, R.; Zuaznábar, R.; García, A.; Viñals, M. y Villar, J. FitoMas E. Bionutriente Derivado de la Industria Azucarera. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 41 (3): pp.14-21, 2007.
2. Godel, H.; Seitz, P.; Verhoef, M. Automated Amino Acid Analysis Using Combined OPA and FMOC-Cl Precolumn Derivatization. LC-GC INTL. 5 (2): pp. 44-49, 1987.
3. Imakyure, O.; Kai, M.; Mitsui, T.; Nohta, H.; Ohkura, Y. Fluorogenic reagents for aminoacids in high-performance liquid chromatography, phenanthra-oxazolyphenylisothiocyanates. Anal. Sci. 9 (5): pp. 647-652, 1993.
4. Yang, S.S.; Smetena, I. Determination of free amino-acids in tobacco by HPLC with fluorescence detection and pre-column derivatization. Chromatographia 37 (11-12): pp. 593-598, 1993.
5. Dorresteyjn, R. C.; Berwald, L. G.; Zomer, G.; de-Gooijer, C. D.; Wieten, G.; Beuvery E. C. Determination of amino-acids using phthalaldehyde-2-mercaptoethanol derivatization. Effect of reaction conditions. J. Chromatogr. A. 724 (1-2): pp. 159-167, 1996.
6. Fermo, I.; De Vecchi, E.; Diomede, L.; Paroni, R. Serum amino-acid analysis with pre-column derivatization: comparison of the phthalaldehyde and NN-diethyl-5-fluoro-2,4-dinitroaniline methods. J. Chromatogr. 534: pp. 23-35, 1990.
7. Papadoyannis, I.; Samanidou V.; Theodoridis G. Quick and simple simultaneous determination for some amino-acids by reversed-phase HPLC with UV detection. J.Liq.Chromatogr. 14 (7): pp. 1409-1416, 1991.
8. Qu, J.; Wang, Y.; Luo, G.; Wu, Z.; Yang, Ch. Validated Quantitation of Underivatized Amino Acids in Human Blood Samples by Volatile Ion-Pair Reversed-Phase Liquid Chromatography Coupled to Isotope Dilution Tandem Mass Spectrometry Anal. Chem. 74, pp. 2034-2040, 2002.
9. Person, M.; Chaimbault, P.; Elfakir, C. Analysis of native amino acids by liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry: comparative study between two sources and interfaces. J. Mass Spectrom. 43, pp. 204-215, 2008.
10. Zoppa, M.; Gallo, L.; Zacchello, F.; Giordano, G. Method for the quantification of underivatized amino acids on dry blood spots from newborn screening by HPLC-ESI-MS/MS. J. of Chromatogr. B, 831, 267-273, 2006.
11. Waterval, W. A. Quantitative UPLC-MS/MS analysis of underivatized amino acids in body fluids is a reliable tool for the diagnosis and follow-up of patients with inborn errors of metabolism. Clin Chim Acta, 407, 36-42, 2009.
12. Giordano, G.; Di Gangi, I.M.; Gucciardi, A.; Naturale, M. Quantification of underivatized amino acids on dry blood spot, plasma, and urine by HPLC-ESI-MS/MS. Methods Mol Biol., 828, pp. 219-42, 2012.
13. Kato, M.; Kato, H.; Eyama, S.; Takatsu, A. Application of amino acid analysis using hydrophilic interaction liquid chromatography coupled with isotope dilution mass spectrometry for peptide and protein quantification. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci., 877 (27), pp. 3059-3064, 2009.
14. Dell'mour, M.; Jaitz, L.; Oburger, E.; Puschenreiter, M.; Koellensperger, G.; Hann, S. Hydrophilic interaction LC combined with electrospray MS for highly sensitive analysis of underivatized amino acids in rhizosphere research. J Sep Sci., 33 (6-7), pp. 911-22, 2010.
15. Wang, C.; Zhang, W.; Song, F.; Liu, Z.; Liu, S. A simple method for the analysis by MS/MS of underivatized amino acids on dry blood spots from newborn screening. Amino Acids, 42 (5), pp. 1889-95, 2012.
16. Otter, D.E. Standardised methods for amino acid analysis of food. Br J Nutr., 108 Suppl 2, S230-7, 2012.

Separación, purificación y caracterización de poli-hidroxibutirato

Grisel María Ortega-Arias-Carbajal, Antonio Bell-García

Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
grisel.ortega@icidca.edu.cu

RESUMEN

La problemática generada por el uso indiscriminado de plásticos sintéticos y su persistencia en el ambiente ha estimulado la investigación para el desarrollo de nuevos materiales y procesos de producción que permitan generar plásticos que presenten propiedades similares pero que tengan un período de degradación más corto. Entre estos materiales se encuentran los poli-hidroxialcanoatos, que constituyen polímeros biodegradables, siendo el poli- β -hidroxibutirato, su forma más simple. El presente trabajo consiste en una revisión donde se abordan las características del poli-hidroxibutirato (PHB), sus funciones biológicas, aplicaciones, métodos empleados en la separación, purificación y caracterización; así como consideraciones sobre la producción a escala industrial y la comercialización.

Palabras clave: Poli-hidroxibutirato, poli-hidroxialcanoatos, separación, purificación.

ABSTRACT

The problematic generated by the limitless use of synthetic plastics and its permanence in the environment has stimulated the investigations on the development of new materials and production processes that allow the creation of plastics that have the same properties as the synthetics but with a shorter period of degradation. Among those materials are the poly-hydroxyalkanoates that are biodegradable polymers, being the poly- β - hydroxybutyrate, its most simple form. The present work consists in a review where the characteristics of poly-hydroxybutyrate are exposed, its biological functions, applications, the methods used in its separation, purification, characterization; as well as considerations on the production to industrial scale and the commercialization.

Keywords: Poly-hydroxybutyrate, poly-hydroxyalkanoates, separation, purification.

INTRODUCCIÓN

La problemática generada por el uso indiscriminado de plásticos sintéticos y su persistencia en el ambiente ha estimulado la investigación para el desarrollo de nuevos materiales y procesos de producción que permitan generar plásticos que presenten propiedades similares pero que tengan un período de degradación más corto. Teniendo en cuenta esto, se han desarrollado cuatro tipos de plásticos degradables, los fotodegradables, los semibiodegradables, los biodegradables sintéticos y los completamente biodegradables naturales.

En la actualidad la atención mundial se centra en el estudio de este último grupo de poliésteres. Los plásticos biodegradables pueden generarse de fuentes renovables como los hidratos de carbono. El creciente interés por investigar y desarrollar estos materiales se debe a que son degradados y asimilados por una vasta variedad de microorganismos y en consecuencia, representan una buena opción para sustituir a los polímeros derivados del petróleo. Los residuos agrícolas de la industria azucarera y alimenticia, constituyen la opción de suministro más prometedora debido no solo a su bajo costo y a ofrecer soluciones al medio ambiente con su utilización, sino también por convertir los desechos en materiales útiles y de alto valor agregado (1-2).

Muchas de las investigaciones a nivel mundial se han focalizado en torno a los poli-hidroxialcanoatos (PHAs) obtenidos por procesos naturales, a partir de microorganismos específicos en condiciones ambientales peculiares. La bacteria *Alcaligenes eutrophus* pertenece al grupo de microorganismos productores de PHA, la misma sintetiza gránulos internos de PHA al contacto con grandes concentraciones de carbono (azúcares) cuando carece de otros nutrientes esenciales como el nitrógeno. La función que realizan los gránulos en la célula es de almacén energético. En condiciones ambientales variables, esta energía es reconvertida en material carbonado.

El PHA existe en muy diversas maneras, cada una de las cuales tiene pequeñas diferencias. Su forma más simple es el poli β -hidroxibutirato (PHB).

El poli- β -hidroxibutirato, es el más estudiado, y constituye el primer ejemplo verdadero de termoplástico producido por proceso biotecnológico a partir de carbohidratos renovables (3). Se acumula en forma de gránulos refráctiles, dentro de las células, bajo condiciones de desbalance nutricional (4-6).

El PHB tiene grandes ventajas sobre los plásticos convencionales, principalmente porque se puede obtener de fuentes renovables, es biodegradado en ambientes activamente microbianos tales

como pseudomonas, aspergillus, actinomicos y streptomycos, los cuales no son raros en entornos comunes (7).

El objetivo de esta revisión es examinar las investigaciones realizadas que abordan las características del polihidroxibutirato (PHB), sus funciones biológicas, aplicaciones, específicamente los métodos empleados en su separación, purificación, caracterización así como consideraciones sobre la producción a escala industrial y la comercialización.

Características de los polihidroxialcanoatos

Los poli-hidroxialcanoatos (PHAs) son poliésteres ópticamente activos de naturaleza lipídica que se acumulan en el citoplasma de algunos microorganismos (8, 9).

Los PHAs exhiben un alto grado de polimerización, son polímeros biodegradables, biocompatibles, resistentes al calor y a la elongación (10). Son el producto de la polimerización/condensación de unidades monoméricas que difieren en el número de átomos de carbono de la cadena principal y en la naturaleza de radicales sustituidos en la misma. La mayoría de los PHAs están compuestos por ácidos R (-)3 - hidroxialcanoicos (C3 - C16) como unidad repetitiva, estas cadenas pueden ser saturadas o insaturadas, con grupos aromáticos y/o alifáticos y pueden presentar ramificaciones (11). Los ácidos 3-hidroxialcanoicos siempre se encuentran en configuración D (-) debido a la estereo especificidad de la enzima polimerizante. Solamente en un solo caso se ha descrito una pequeña proporción del monómero en configuración L (+) (12). El peso molecular de los PHAs está en el rango de 2×10^5 a 3×10^6 Da. La composición y el peso de estos polímeros están determinados por el microorganismo donde se produce y la fuente de carbono empleada en el medio de cultivo (13).

Los PHAs se comportan como poliésteres insolubles en agua, provenientes de ácidos alcanoicos, que contienen un grupo hidroxilo como grupo funcional, adicionado a un grupo carbonilo (4). Su forma más simple es el poli β -hidroxibutirato (PHB).

El PHB fue descrito por primera vez en 1923 por Lemoigne (14), quien posteriormente lo caracterizó químicamente y observó que estaba involucrado en la esporulación de algunos bacilos. Bajo condiciones limitadas de nitrógeno y oxígeno, el PHB puede constituir hasta el 90 % de la biomasa de algunas especies (15). Se obtiene como metabolito secundario de los microorganismos: *Alcaligenes eutrophus*, *Alcaligenes latus*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas oleovorans*, *Azotobacter vinelandii*, *Ralstonia eutropha*. Su producción no está asociada al crecimiento. Se emplean nutrientes tales como: sacarosa, glucosa,

mieles, siropes invertidos y minerales: $MgSO_4$; KH_2PO_4 ; ácido cítrico; sales de amonio y diferentes elementos trazas (16-17). Está compuesto por cadenas de ácido 3-hidroxibutanóico, su peso molecular varía entre 60 000 y 250 000 Da, en dependencia de la especie productora y del método de extracción, aunque puede llegar hasta 2 000 000, lo cual corresponde con 20 000 monómeros por molécula polimérica (18). Las propiedades físicas y la biodegradabilidad de los poliésteres microbianos pueden regularse, mezclándolos con otros polímeros sintéticos o naturales. Son termoplásticos y presentan una temperatura de fusión cercana a los 180 °C (19). El PHB presenta estructura similar a la del polipropileno y también una configuración helicoidal. Estos dos polímeros manifiestan similitud en sus propiedades físicas; sin embargo, las propiedades químicas son totalmente diferentes: el PHB tiene una resistencia menor hacia los solventes, pero mejor resistencia a los rayos UV. En condiciones aeróbicas se degrada a dióxido de carbono y agua; en ausencia de oxígeno se degrada a metano.

Al polihidroxibutirato se le atribuyen las siguientes funciones biológicas: constituye un material de reserva de carbono y energía, protección respiratoria en ausencia de una fuente de carbono exógena, al proveer a la célula de una fuente de energía y carbono rápidamente oxidable y regulador de los equivalentes de reducción intracelulares, además de estar involucrado en procesos de diferenciación celular, sirve como fuente de carbono y energía para la formación de esporas (20). Entre las aplicaciones del PHB, se reportan (21-22) las siguientes en la tabla 1.

Métodos para el aislamiento y purificación de los polihidroxialcanoatos

Los poli-hidroxialcanoatos son polímeros de almacenamiento celular. Su aislamiento y su poste-

rior purificación presuponen la ruptura de los límites celulares con la consecuente liberación al medio de otros metabolitos que dificultan el proceso de purificación y determinación del polímero (23). En el costo total de obtención de los PHAs tienen gran incidencia los procesos de separación, purificación y caracterización por lo que se han propuesto diversos procedimientos para purificar los PHAs a partir de cultivos fermentados.

Procedimientos de purificación

Tratamiento con hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio es un oxidante fuerte que destruye las membranas biológicas y todos los componentes celulares; sin embargo, bajo condiciones controladas este tratamiento alcalino puede ser utilizado en la purificación de los PHAs (24, 25). Fernández Vergara reportó el tratamiento de biomasa centrifugada en una relación 1:15, con solución de hipoclorito de sodio al 5,25 % (17). De igual manera se purificó el PHB obtenido de *Alcaligenes eutrophus*. El peso molecular promedio en la biomasa de partida fue de 1 200 000 Da y el índice de polidispersión de 3,0, después del proceso de purificación se obtuvo un producto final de PHB con 95 % de pureza, un peso molecular de 600 000 Da y un índice de polidispersión de 4,5 (26).

Este es un método económico donde se alcanzan altos grados de pureza en el producto final pero tiene como principal inconveniente la posible degradación parcial del polímero por acción del hipoclorito de sodio, además del problema ambiental relacionado con el tratamiento de los residuales clorados (9). Cuando se adiciona hipoclorito de sodio, el peso molecular promedio disminuye (27). Esta degradación puede prevenirse con el uso de agentes oxidantes como el bisulfito de sodio. Al ser tratadas las células solo con hipoclorito de sodio, el peso molecular promedio puede decrecer en un 30 %; sin embargo, con el empleo de bisulfito de sodio como anti-oxidante solo decrece un 14 %. El incre-

Tabla 1. Aplicaciones del PHB

▪ Empaques de productos agrícolas y de higiene personal
▪ Contenedores de aceites
▪ Recubrimiento de semillas para protegerlas de condiciones adversas aumentando su germinabilidad
▪ Películas para la protección de cultivos
▪ Microencapsulación de fertilizantes
▪ Fabricación de medicamentos de liberación controlada
▪ Implantes en el cuerpo humano sin causar rechazo ni inflamaciones
▪ Potencialmente, en la fabricación industrial de principios activos como antibióticos, vitaminas, y otros compuestos químicos y de interés farmacéutico

mento del pH de la solución de hipoclorito de sodio hasta 12 y la adición de agentes surfactantes incrementa la pureza final del PHB (28-29).

Se tiene información de la utilización de hipoclorito de sodio con EDTA o bisulfito de sodio para el aislamiento de PHB. En ambos casos se partió de una suspensión al 1 % (p/v) con solución de hipoclorito de sodio al 5 % (v/v) y pH 12,0. En el tratamiento con EDTA (10 mmol) una vez realizada la mezcla se incubó durante una hora a 37 °C en tanto con el bisulfito de sodio (2 %) la suspensión celular se mantuvo durante cinco minutos a 25 °C antes de su adición, incubándose seguidamente a 37 °C durante una hora. En ambos tratamientos se separó el precipitado por centrifugación a temperatura ambiente, lavándose los mismos sucesivamente con agua, acetona y etanol. El producto final fue liofilizado (1).

Por su parte, Barbosa y colaboradores (30) recuperaron el polímero a partir del liofilizado derivado de una suspensión del pellet celular, en solución de TRIS-HCl 0,5M de pH 7,0. La recuperación del polímero se realizó mediante dispersiones en hipoclorito (5 % p/v)-cloroformo (50 %).

La relación fue de 100 ml de solución por cada gramo de biomasa liofilizada. La suspensión se mantuvo en agitación a temperatura ambiente durante una hora, recuperación por decantación de la fase orgánica, concentración de 5 - 2.5 veces, precipitación del polímero con una mezcla de cloroformo-metanol en relación 1:10 durante 8 horas a 4 °C, separación por filtración y secado hasta peso constante.

Tratamiento con agentes surfactantes

Los agentes surfactantes han sido utilizados en procedimientos de extracción y purificación de PHAs. A bajas concentraciones, estas moléculas se insertan en la bicapa lipídica de la membrana celular. A medida que la concentración de surfactante se incrementa se incorporan moléculas a la bicapa.

Una vez saturado el sistema, la adición de más cantidad de surfactante produce la ruptura de la membrana celular, formándose grandes micelas que contienen fosfolípidos y moléculas del surfactante. Con este fin han sido utilizados el dodecil sulfato de sodio y el Triton X-100. Células liofilizadas fueron resuspendidas en solución de dodecil sulfato de sodio al 1 % (p/v), pH 10,2 y solución de Triton X-100 al 1 % (p/v) pH 12,5 incubada a 37 °C durante 15 min, centrifugada y el precipitado mantenido con agitación a temperatura ambiente durante 1 min en solución de hipoclorito de sodio 5 % (v/v), pH 12,0, separación del precipitado, lavado y liofilizado del producto final de PHB (1).

Otro procedimiento de aislamiento de polihidroxibutirato en caldos de fermentación fue desarrollado por Chavati y colaboradores (31). El sedimento obtenido fue lavado varias veces con Tris 0,05 M, pH 7,5 o agua destilada, tratada con hipoclorito de sodio 0,5 % + EDTA a 37 °C durante 1-2 h, disruptado, el precipitado de PHB lavado con agua, acetona y alcohol y secado hasta peso constante.

Dependiendo del surfactante usado y añadiendo un lavado final con hipoclorito de sodio al 5 % (v/v) se obtuvieron purezas entre 97 y 98 %, con un peso molecular promedio entre 730 000 y 790 000 Da. Cuando la biomasa celular se trató solo con el surfactante se obtuvieron pesos moleculares mayores pero la pureza del producto final fue un 10 % menor (32).

Extracción con solventes orgánicos

La naturaleza lipídica de los gránulos de PHAs justifica el uso de solventes orgánicos para su aislamiento y purificación. Con este fin se han utilizado diferentes solventes o mezclas de los mismos. La solubilización de los gránulos de PHAs con cloroformo, cloruro de metileno y su posterior precipitación con metanol o etanol frío, seguido de lavados con otros solventes es uno de los procedimientos más utilizados (33-34). Debido a la elevada viscosidad que muestran los PHAs se requieren grandes cantidades de solventes para la extracción, lo que eleva considerablemente el costo de producción del polímero (35).

Se describe un procedimiento para la separación del copolímero P (3HB-co-3HHx) empleando extracción con cloroformo y purificación mediante reprecipitación con hexano (36).

Por otra parte, se reporta la extracción de PHB a partir de liofilizados de *P. putida* GPo1 y *R. eutrophus* DSM 428, utilizando cloruro de metileno y 60 g de células liofilizadas por litro de cloruro de metileno. La suspensión se dejó en agitación, se filtró y concentró por evaporación a 60 °C a 0,35 bars hasta que la solución se tornó viscosa. El polímero se precipitó en metanol frío y se recuperó por filtración. Los polímeros de PHA fueron secados al vacío (30 °C, 30 mbar) por al menos un día (37 y 38).

Adicionalmente, el PHB puede ser extraído mediante una lisis celular y calentamiento a reflujo en metanol, con posterior filtración y reflujo con 1,2 dicloroetano, filtración, enfriamiento por debajo de 0 °C para formación de un gel, prensado y secado a 100 °C (17). Otra alternativa desarrollada fue el reflujo de células liofilizadas con cloroformo durante 6 horas, evaporación de la fase orgánica, centrifugación a 10 000 g, lavados con metanol y secado al vacío por 16 horas, a temperatura ambiente, resuspensión en acetona, filtración y secado del polímero (17).

Bello en 2008, reporta el empleo de diferentes variantes de purificación de PHB (hipoclorito de sodio 5 % (v/v), hipoclorito de sodio 5 % (v/v)+ EDTA 10 mmol/L, bisulfito de sodio 2 % (p/v) + hipoclorito de sodio 1 % (v/v), Triton X-100 1 % (p/v), SDS 1 % (p/v), metanol-cloroformo y cloruro de metileno-metanol) a partir de 1,8 g de células liofilizadas de *B. megaterium*. En el tratamiento con metanol-cloroformo la suspensión de células liofilizadas en metanol fue sonicada durante 5 min. La masa celular fue recuperada por centrifugación a 4000 g, 15 min, a temperatura ambiente, evaporado el metanol residual bajo corriente de aire y resuspensión del residual en cloroformo seguido del filtrado y secado del PHB obtenido bajo corriente de aire a temperatura ambiente.

También utilizó una mezcla de estas células con cloruro de metileno en una relación de 60 g de liofilizado por litro de solvente. La suspensión se dejó en agitación a temperatura ambiente por 12 horas, se filtró y se concentró por evaporación a 60 °C y, 0,35 bars, hasta que se tornó viscosa. El polímero se precipitó con metanol frío y el precipitado resultante se secó al vacío (30 °C, 30 mbar). Se reporta que todas las variantes excepto la de metanol-cloroformo tienen características similares a las descritas para los polihidroxibutiratos de origen bacteriano y se describen elevados porcentos de pureza del polímero, superiores al 95 %. Los porcentos de recobrado del polímero también exhiben altos valores, superiores al 94 % en las variantes.

El tratamiento con hipoclorito de sodio al 5 %, a pesar de ser un método suficientemente vigoroso, produjo pesos moleculares promedios alrededor de los 350 000 Da y está reportado en el entorno para cepas productoras de PHB. Las temperaturas de transición vítrea y de fusión alcanzaron valores de 7 y 175 °C, respectivamente.

Las muestras purificadas se analizaron por cromatografía líquida de alta resolución encontrándose máximos de absorción a los 210 nm alrededor de los cinco minutos, lo cual indica la presencia de ácido 3-hidroxibutírico en las mismas. El poli- β -hidroxibutirato resultante presentó propiedades físico-químicas comparables a las de los patrones de este polímero.

Por otra parte, la recuperación de polihidroxibutirato de biomasa de *Cupriavidus necator* fue reseñado por Fiorese y colaboradores (39). El procedimiento descrito incluye extracción con carbonato de 1,2-propileno, pretratamiento térmico entre 100-145 °C, con tiempo de contacto en el rango de 15-45 min. La precipitación abarcó un período de 48 horas alcanzándose un rendimiento y pureza superiores al 95 y 84 % del PHB.

De manera general la extracción con solventes orgánicos del PHB es un procedimiento costoso ya

que presupone la utilización de grandes volúmenes de solventes. La mayoría de estos solventes son de compleja manipulación debido a su toxicidad y volatilidad.

Cuantificación del polihidroxibutirato

Diferentes métodos han sido utilizados para la cuantificación de polihidroxibutirato. Lemoigne en 1926 describe por primera vez un método analítico para cuantificar el PHB y consistió en saponificar el PHB extraído de células y su cuantificación por gravimetría (40). No es hasta inicios de la década de 1960, cuando Slepecky y Law propusieron un método espectrofotométrico (41). En este procedimiento las células se digieren por completo con ácido sulfúrico concentrado en caliente, promoviendo así la ruptura de los polímeros a monómeros y la posterior oxidación de estos hasta ácido crotonico, el cual presenta un máximo de absorción cercano a los 210 nm. Martínez y colaboradores (29), reportaron una etapa previa de semi-purificación del polímero seguida del tratamiento con ácido sulfúrico.

Un método espectrofotométrico que modifica al método de Slepecky y Law (41); fue propuesto por Kim en 2008 (42). Este consiste en el lavado previo de la biomasa con tampón fosfato, digestión con solución de hipoclorito de sodio al 5 % + EDTA 10 mM, durante hora y media a 37 °C, separación de la biomasa, lavados (agua, acetona y alcohol) y secado. Finalmente, el material seco se digiere con ácido sulfúrico al 80 % durante 30 minutos a 90 °C y se mide la absorbancia a 214 nm.

En la actualidad son muy utilizados los métodos cromatográficos para la determinación y cuantificación de los PHAs de cadena corta como el PHB; son métodos de mayor sensibilidad y exactitud. Sin embargo, se reporta que estos métodos no son adecuados para la cuantificación de PHAs de cadena media y larga (43).

En la cromatografía líquida de alta resolución las muestras son tratadas con ácido sulfúrico determinándose el ácido crotonico formado.

En el análisis del poli- β -hidroxibutirato de *Rhizobium japonicum* por cromatografía de exclusión iónica de alta resolución y detección UV se empleó una columna Aminex HPX -87 H, la elución se realizó con ácido sulfúrico 0,014 N a un flujo volumétrico de 0,7 mol/L. Se utilizó como estándar interno el ácido adípico y detección entre 210-214 nm (44). En la cuantificación del PHB de *B. megaterium* a partir de mieles de remolacha y caña de azúcar (1) se aplicó un método sencillo que permite el procesamiento de gran cantidad de muestra en corto tiempo mediante el tratamiento alcalino con hidróxido de sodio 2 N a la materia seca celular resultante de 1 ml de caldo de cultivo, incubación con agitación a 100 °C durante 30 min y posterior neutralización con 0,5 ml de HCl 2N. Se utilizó una

Tabla 2. Producción y separación de PHAs a escala industrial

PHAs	Condiciones de cultivo	Condiciones de separación del PHAs
Poli-3-hidroxibutirato-co-3-hidroxihexanoato [P(3HB-co-3HHx)] (53)	Microorganismo: <i>Aeromonas hydrophila</i> 4AK4, en un fermentador de 20 000 litros. Fuente de carbono: ácido láurico Limitación de fosforo.	Extracción con acetato de etilo a 60 °C, durante 2 horas. La solución de polímero se filtra, se centrifuga y se precipita con 15 000 litros de hexano o heptano. Posteriores lavados con etanol y secado al vacío.
3-hidroxi octanoato (54)	Microorganismo: <i>P. putida</i> GPo1, c. Fuente de carbono: ácido octanóico. Fuente de nitrógeno: octanoato de amonio.	Extracciones del PHA con mezclas de acetona. Se obtienen 25 kg de células liofilizadas, a partir de 250 litros de acetona, que se concentran a 75 litros así como un 99 % de pureza

Tabla 3. Compañías que producen y comercializan PHAs

Imperio Químico Industrial ICI (inglesa)	“Biopol”: Es un copolímero de los monómeros hidroxibutirato e hidroxivalerato. Se desarrolló en la década del 70, mediante fermentación de la bacteria <i>Ralstonia eutropha</i> .
Wella, empresa alemana	Emplea “Biopol” para el envase de sus champúes
PHB industrial S.A	Con el “Biocycle” se han reducido los costos de producción hasta 5 USD/Kg, partiendo de azúcar de remolacha y maíz como sustratos. Se emplea en la producción de materiales plásticos de rápida utilización (desechables) y en la fabricación de equipamiento médico de uso veterinario y humano.
Metabolix (Cambridge, Mass)	Obtuvo licencias de patentes sobre inserción de genes para la producción de las enzimas claves en el mecanismo de producción de PHB en bacterias y cereales transgénicos como estrategia para disminuir costos.
Biotec (Melitta) Emmerich (Alemania)	Producción comercial de mezclas de almidón biodegradable-policaprolactona para envases, embalajes y manipulación de residuos
BASF Ludwigshafen (Alemania)	Desarrollo de copoliésteres sintéticos biodegradables y mezclas con almidón, para obtención de películas flexibles.
Bayer/Wolf Walsrode Leverkusen (Alemania)	Copoliéster-amida biodegradable, sintético y precomercial para obtención de películas flexibles.
Novamont Novara (Italia)	Producción comercial de almidón mezclado con policaprolactona y/o polivinil alcohol, “Mater-Bi”.

columna Aminex HPX-87H eluida con una solución de ácido sulfúrico 5 mmol y detección a 210 nm. Kichise y colaboradores (45) reportan la cromatografía líquida para cuantificar el contenido de PHB después de ser convertido el PHB a ácido crotónico.

Lössl y Eibl en 2003 (46), establecen un método en el cual realizan una hidrólisis con 200 µl de ácido

sulfúrico concentrado durante 60 min a 100 °C y adición de 400 µl de agua desionizada, 800 µl de amonio al 15 % y 200 µl de acetato de amonio 100 m, (pH 4,6), luego se filtra la muestra por 0,22 micra y se inyecta de 10-20 µl en columnas Synergi Polar-RP, usando una precolumna de 4 mm y como eluyente ácido fosfórico 15 mM.

El contenido de PHB se puede determinar por cromatografía de gases usando columna de 10m - CP-WAX-52CB, de 100 μm diámetro y 0,2 μm de fase líquida.

Ha sido utilizada la cromatografía gaseosa para cuantificar los niveles de PHAs, sometiendo las muestras a una metanólisis ácida convirtiendo así los ácidos β -hidroxicarboxílicos en sus respectivos ésteres metílicos que se volatilizan a más bajas temperaturas. El tratamiento se realiza con una mezcla que contiene metanol/ácido sulfúrico/cloriformo. La fase orgánica contiene los metil ésteres de los ácidos β -hidroxicarboxílicos (47).

Una metanólisis de células liofilizadas para formar los metil ésteres de los ácidos 3-hidroxialcanoicos, también se reporta (48).

La detección de las unidades monoméricas de cadena media por cromatografía líquida-gaseosa requiere de una base reactiva de Lewis, el trifluoruro de boro (BF_3) (49). La metanólisis con BF_3 fue aplicada a PHAs de cadena media obteniéndose un 94 % de recobrado del producto. El método puede ser aplicado para el análisis cuantitativo de PHAs puro, de cadena media y para PHAs de cadena media sin aislar, de la biomasa celular (50). También se ha detectado cuantitativamente el PHB utilizando la cromatografía acoplada a espectrometría de masa (GC-MS) y utilizando la técnica de espectroscopía infrarroja (IR) por transformadas de fourier (51, 52).

Producción de PHAs a escala industrial y comercialización

Se requieren grandes inversiones para los procesos de fermentación, recuperación o purificación de PHAs a gran escala. Los sustratos utilizados para que las bacterias produzcan PHA, son costosos.

Esto ha limitado el uso más amplio de los nuevos plásticos y ha impulsado el estudio de métodos para abaratar los costos de producción, entre los que se encuentran la modificación genética de cepas, la utilización de materias primas a menor precio y la obtención de plantas transgénicas que sintetizan PHA. En la tabla 2 se describen ejemplos de producción de PHAs a escala industrial informados (53, 54).

Extracciones del PHA empleando mezclas de acetona- agua han sido reportadas para hacer factible económicamente el proceso de recobrado del polímero (53, 54). La acetona constituye una alternativa de solvente más económico (53). No obstante, la mejor opción es reducir el uso de solventes para abaratar los costos de los procesos de separación de polihidroxialcanoatos.

En la tabla 3 se muestran diferentes compañías que producen y comercializan bioplásticos a escala industrial (55-58).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bello, D. Producción microbiológica y caracterización de Poli- γ -hidroxibutirato a partir de mieles finales de remolacha y de caña de azúcar Tesis presentada en opción del título de Master en Bioquímica, Mención Bioquímica Básica. Facultad de Biología, Universidad de La Habana, 2008
2. Jiun-Yee, C.; Sugama-Salim, Y.; Nyok-Sean, L.; Siew-Chen, L.; Raeid, M. A.; Kumar S. Bacterially Produced Polyhydroxyalkanoate (PHA): Converting Renewable Resources into Bioplastics. Current Research, Technology and Education Topics in Appl Microbiol and Microbial Biotechnol: 1395-1403. <<http://www.researchgate.net/publication/216173367>> 2010.
3. Bello, D. Eco Sitio 2002 - 2005. Plásticos biodegradables, una alternativa verde. <<http://www.eco-sitio.COM.A> > 21 noviembre 2004.
4. Lee, B.; Pometto, A.; Frazke A.; Bailey T.B. Biodegradation of Degradable Plastic Polyethylene by *Phanerochaete* and *Streptomyces* Species. Appl Environ Microbiol 57 (3): pp. 678-685, 1991.
5. Suk Ahn, W.; Jae Park, S.; Yup Lee, S. Production of Poly(3-Hydroxybutyrate) by Fed-Batch Culture of Recombinant *Escherichia coli* with a Highly Concentrated Whey Solution. Appl Environ Microbiol 66 (8): pp.3624-3627, 2000.
6. Luc, A.; Fringant, C. Association between plasticized starch and polyesters: processing and performances of injected biodegradable systems. Polym Eng Sci 41(5): pp. 727-734, 2001.
7. Ecositio. Plásticos Biodegradables o Bioplásticos. El Cuaderno de Por qué Biotecnología No 48. <<http://www.porquebiotecnologia.com.ar> > 2004
8. Anderson, A.J.; Dawes, E.A. Occurrence, metabolism, metabolic role and industrial uses of bacterial Polyhydroxyalkanoates. Microbiol Rev 54: pp. 450-472, 1990.
9. Lee, S.Y. Plastic bacteria Progress and prospects for polyhydroxyalkanoate production in bacteria. Trends Biotechnol 14: pp. 431-438, 1996.
10. Valappil, S.P.; Boccaccini, A.R.; Bucke, Ch.; Roy, I. Polyhydroxyalkanoates in Gram-positive bacteria: insights from the genera *Bacillus* and *Streptomyces*. Antonie van Leeuwenhoek. 91:pp. 1-17, 2007.
11. Doi, Y.; Kawaguchi, Y.; Koyama, N.; Nakamura, S.; Hiramitsu, M.; Yoshida Y.; Kimura, U. Synthesis and degradation of polyhydroxyalkanoates in *Alcaligenes eutrophus*. FEMS Microbiol Rev. 103: pp. 103-108, 1992.

12. Haywood, G.W.; Anderson, A.J.; Williams, G.A.; Dawes, E.A.; Ewing, D.F. (Accumulation of a poly (hydroxyalkanoate) copolymer containing primarily 3-hydroxyvalerate from simple carbohydrate substrates by *Rhodococcus* sp. NCIMB 40126. *Int. J. Biol. Macromol* 13: pp. 83-88, 1991.
13. Sudesh, K.; Abe, H.; Doi, Y. Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: Biological polyesters. *Prog. Polym. Sci.* 25: pp. 1503-1555. 2000.
14. Lemoigne, M. Produit de deshydratation et de polymerisation de l'acide β -oxybutyrique. *Bull Soc Chim Biol.* 8: pp.770-782, 1926.
15. De Almeida, A.; Ruiz, J.A.; López, N.I.; Pettinari M. J. *Rev Química Viva* 3 (3) abril. <<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar>>. 2004
16. Taguchi S.; Nakamura H.; Hiraishi T.; Yamato, I.; Doi, Y. In Vitro Evolution of a Polyhydroxybutyrate Synthase by Intragenic Suppression-Type Mutagenesis. *J. Biochem* 131: 801-806, 2002.
17. Fernández Vergara, A. Como producir PHB? <<http://usuarios.lycos.es/IngeBioquimica/PHB.html>> 2004.
18. Weimer, R. M. Biopolymers from marine prokaryotes. *Tibtech*.15: 390-394, 1997
19. Albertsson, A.C.; Karlsson, S. Degradable Polymers for the Future. *Acta Polymerica*, 46, 114-123, 1995.
20. Espín, G. Biología de *Azotobacter vinelandii*. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. <<http://biblioweb.dgsca.unam.mx/libros/microbios/Cap6/>> 2004.
21. Garkhail, S.K.; Meurs, E.; Van de Beld, T.; Peijs, T. Thermoplastic Composites Based On Natural Fibres: Polyhydroxybutyrate (PHB) and Flax: 1-10 <<http://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM12proceedings/site/papers/pap1175.pdf>> 2004.
22. Ramos-Comerzana, A.; Monteoliva-Sánchez, M. Potencial Biofarmacéutico de los residuos de la Industria Oleícola. *Ars Pharmaceutica*, 41 (1): 129-136, 2000.
23. Bello, D.; Brandl, H. Screening of *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, and *Azospirillum* for PHB-forming capabilities. Abstracts of the 66th Annual Meeting of the Swiss Society for Microbiology, Interlaken, Switzerland: 124, 2007.
24. Berger, E.; Ramsay, B.A.; Ramsay, J.A.; Chavarie, C. PHB recovery by hypochlorite digestion of non-PHB Biomass. *Biotechnol Techniques* 2: 227-232, 1989.
25. Kwang, S.H.; Keun, Y.C.; Lee, S.Y. Recovery and Characterization of Poly (3-hydroxybutyric Acid) Synthesized in *Alcaligenes eutrophus* and recombinant *Escherichia coli*. *Appl Environ Microbiol* 61: 34-39, 1995.
26. Berger, E.; Ramsay, B.A.; Ramsay, J.A.; Chavarie, C. PHB recovery by hypochlorite digestion of non-PHB Biomass. *Biotechnol Techniques* 2: 227-232, 1989.
27. Kang, S.R.; Sung, H.Y.; Young, J.Y. The effects of sodium bisulfate in extraction of PHB by hypochlorite. *Biotechnol Techniques* 9: 709-712, 1995.
28. Lasala, F. *Mesorhizobium plurifarum* 4033, una nueva especie productora de polihidroxialcanoatos (PHAs); estudio de la síntesis a escala de zaranda. Tesis presentada en opción al título de Máster en Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba. 2000.
29. Martínez, J.; Banchikova, Z.; Lasala, F.; Carballo, M.E.; Rozsa, Ch.; Galego, N.; Núñez, R.; Solano, R. High poly- β -hydroxyalkanoates (PHA) production in wild type *Rhizobium tropici* and *Mesorhizobium plurifarum* 4033 strains. SLAP 2000, Libro de resúmenes: 263, 2000.
30. Barbosa, M.; Espinosa Hernández, A.; Malagón Romero, D.; Moreno Sarmiento, N. Producción de poli- β -hidroxibutirato (PHB) por *Ralstonia eutropha* ATCC 17697. *Universitas Scientiarum. Revista de la Facultad de Ciencias Pontificia Universidad Javeriana* 10 (1): 45-54, 2005.
31. Chavati R.; González, M.; Galego, N.; Ortiz, P.; Martínez, J.; Martínez, R. Biosynthesis and characterization of poly(β -hydroxybutyrate) produced by *Bacillus circulans*. *Polymer Bulletin*, 37:429- 435, 1996.
32. Ramsay, J.A.; Berger, E.; Ramsay, B.A.; Chavarie, C. Recovery of Poly-3-Hydroxyalkanoic acid granules by a surfactant-Hypochlorite treatment. *Biotechnol Techniques* 4: pp. 221-226, 1990.
33. Labuzek, S.; Radecka, I. Biosynthesis of PHB tercopolymer by *Bacillus cereus* UW85. *J Appl Microbiol* 90: pp.353-357, 2001.
34. Wendlandt K.D.; Geyer W.; Mirschel G.; Hemidi, F.A. Possibilities for controlling a PHB accumulation process using various analytical methods. *J Biotechnol* 117: pp. 119-129, 2005.
35. Ojumu, T.V.; Yu, J.; Solomon, B.O. Production of Polyhydroxyalkanoates, a bacterial biodegradable polymer. *African J Biotechnol* 3 (1): pp. 18-24, 2004.
36. Medjeber, N.; Abbouni B. Production de biopolymères de type polyhydroxyalcanoates por *Bacillus megaterium* J. Soc. Alger.Chim 20 (2): pp. 133-141, 2010.
37. Zinn, M.; Weilenmann, H.U.; Hany, R.; Schmid, M.; Egli, T. Tailored synthesis of Poly(R-3-Hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)

- (PHB/HV) in *Ralstonia eutropha* DSM 428. *Acta Biotechnol.* 23: pp. 309-316, 2003.
38. Hartmann, R.; Hany, R.; Geiger, Th.; Egli, Th.; Witholt, B.; Zinn, M. Tailored Biosynthesis of Olefinic Medium-Chain-Length Poly(R-3-Hydroxyalkanoates) in *Pseudomonas putida* GPo1: with Improved Thermal Properties. *Macromolecules* 37: pp. 6780-6785, 2004.
 39. Fiorese, M.; Freitas, F., Pais, J., Ramos, A. M.; De Aragao, G.; Reis, M.A. Recovery of polyhydroxybutyrate (PHB) from *Cupriavidus necator* biomass by solvent extraction with 1,2-propylene carbonate. *Eng Life Sci* 9: pp. 454-461, 2009.
 40. Lemoigne, M. Produit de deshydratation et de polymerisation de l'acide β -oxybutyrique. *Bull Soc Chim Biol.* 8:pp. 770-782, 1926.
 41. Slepecky, R.A.; Law, J.H. Synthesis and degradation of poly- β -hydroxybutyric acid in connection with sporulation of *Bacillus megaterium*. *J Bacteriol* 82: pp. 37-42, 1961.
 42. Kim Heok, Y. Biosynthesis and characterization of polyhydroxyalkanoates by a locally isolated *Chromobacterium* sp. USM2 Universiti Sains Malaysia. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science <<http://eprints.usm.my/15338/1/>> 2009.
 43. Furrer, P.; Hany, R.; Rentsch, D.; Grubelnik, A.; Ruth, K.; Panke, S.; Zinn, M. Quantitative analysis of bacterial medium-chain-length poly(3-hydroxyalkanoates) by gas chromatography. *J. of Chrom A* 1143: p. 199-206, 2007.
 44. Karr, D.B.; Waters, J.K.; Emerich, D.W. Analysis of poly-3-hydroxybutyrate in *Rhizobium japonicum* bacteroids by ionexclusion high-pressure liquid chromatography and UV detection. *Appl Environ Microbiol* 46(6): p. 1339-1344, 1983.
 45. Kichise, T.; Taguchi, S.; Doi, Y. Enhanced Accumulation and Changed Monomer Composition in Polyhydroxyalkanoate (PHA) Copolyester by In Vitro Evolution of *Aeromonas caviae* PHA Synthase. *Appl Environ Microbiol.* May; 68(5): 2411-2419, 2002.
 46. Lössl, A.; Eibl, C.; Harloff, H. J.; Jung, C.; Koop, H.U. Polyester synthesis in transplastomic tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): Significant contents of polyhydroxybutyrate are associated with growth reduction Genetic Transformation and Hybridization. <<http://link.springer.de/link/service/journals/00299>> 2003.
 47. Rothermich, M.M.; Guerrero, R.; Lenz, R.W.; Goodwini, S. Characterization, Seasonal Occurrence, and Diel Fluctuation of Poly(hydroxyalkanoate) in Photosynthetic Microbial Mats. *Appl and Environ Microbiol* 66: pp. 4279-4291, 2000.
 48. Brandl, H.; Knee, E.J.; Fuller R.C.; Gross R.A.; Lenz, W. Ability of the phototrophic bacterium *Rhodospirillum rubrum* to produce various poly(P-hydroxyalkanoates): potential sources for biodegradable polyesters. *Int. J. Biol. Macromol.* 11: p. 49-55, 1989.
 49. Furrer, P.; Hany, R.; Rentsch, D.; Grubelnik, A.; Ruth, K.; Panke, S.; Zinn, M. Quantitative analysis of bacterial medium-chain-length poly (3-hydroxyalkanoates) by gas chromatography. *J of Chromatography A* 1143: pp. 199-206, 2007.
 50. Suk Ahn, W., Jae Park ,S.; Yup Lee, S. Production of Poly (3-Hydroxybutyrate) by Fed-Batch Culture of Recombinant *Escherichia coli* with a Highly Concentrated Whey Solution *Appl and Environ Microbiol*, August 66 (8): pp. 3624-3627, 2000.
 51. Saruul, P.; Srienc, F.; Somers, D. Samac D. Production of a Biodegradable Plastic Polymer, Poly- β -Hydroxybutyrate, in Transgenic Alfalfa. *Crop Science* 42: pp. 919-927, 2002.
 52. Misra, A.K.; Thakur, M.S.; Srinivas, P.; Karanth, N.G. Screening of poly- β -hydroxybutyrate-producing microorganisms using Fourier transform infrared spectroscopy. *Biotechnol Letters* 22: pp. 1217-1219, 2000.
 53. Chen, G. Q.; Zhang, G.; Park ,S. J.; Lee S. Y. Industrial scale production of poly (3-hydroxybutyrate-co-3- hydroxyhexanoate). *Appl Microbiol and Biotechnol*, 57, 50-55. DOI: 10.1007/s002530100 755, 2001.
 54. Elbahloul, Y.; Steinbüche, I. A. Large-scale production of poly (3-hydroxyoctanoic acid) by *Pseudomonas putida* GPo1 and a simplified downstream process. *Appl and Environ Microbiol*, 75, 643- 651. DOI: 10.1128/AEM.01869-08, 2009.
 55. Tsuge, T. Metabolic improvements and use of inexpensive carbon sources in microbial production of Polyhydroxyalkanoates. *J of Bioscience and Bioengineering* 94 (6): pp. 579-584, 2002.
 56. Vasconcelos, Y. Un plástico hecho a base de azúcar. *Revista Pesquisa FAPESP* 80: pp. 1-3, 2002.
 57. Molinari, D. PHB Industrial planned to start its operations in 2008, new plant will produce biocycle, a biodegradable plastic whose raw material is sugar: Poly-beta-hydroxybutyrate (PHB) production by a *Bacillus cereus* M5 strain in sugar-beet molasses. Brazilian bulletin Unicamp Innovation, University of Campinas, Brasil, 2008.
 58. CME. Declaración del Consejo Mundial de la Energía 2007. La industria energética revela su modelo para abordar el cambio climático. www.worldenergy.org: 1-4. <<http://www.biopolymer.net> > 2009.

Identificación básica de extractivos en alcohol benceno del bagazo de la caña de azúcar mediante CG/EM

Raúl Hernández-Sánchez¹, Laura Lami-Izquierdo¹, Jorge Pino-Alea²,
Amalia Cámara-Pérez¹, Yanay Martínez-Pérez¹

1. Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
heliondez@yahoo.es

2 Instituto de Investigaciones Alimenticias (IIA)
Carretera al Guatao, km 3 1/2, C.P. 19200. La Habana, Cuba

RESUMEN

Los extractivos separados del bagazo de la caña de azúcar, con una mezcla de etanol-benceno (1:2) en un Soxhlet a temperatura de ebullición por 6 horas, posteriormente llevados a sequedad y finalmente disueltos en acetona, son inyectados en un GC-17A/MS-QP5050 de la firma Shimadzu. Se realiza una determinación cualitativa y cuantitativa de dichos componentes, con un cauteloso porcentaje de confiabilidad. Las muestras analizadas corresponden al bagazo integral, desmedulado y prehidrolizado. Del 85-95 % de los compuestos separados se identificaron por su tiempo de retención, obteniéndose fragmentos moleculares característicos. Los espectros de masas derivados, se compararon con sus patrones reportados en la literatura.

Palabras clave: bagazo de caña de azúcar, extractivos, CG/EM.

ABSTRACT

Whole, dephited and prehydrolized bagasses were extracted with alcohol benzene mixture (1:2) in Soxhlet equipment during 6 hours at boiling temperature. The extracts were dried with rotative evaporator and the solids obtained were dissolved in acetone which was analyzed by GC/MS. The chemicals compounds of each extract were separated and identified based on spectral mass using standards and their relative content was determined by peak area normalization.

Keywords: sugarcane bagasse, extractives, GC/MS.

INTRODUCCIÓN

Los extractivos se definen como un amplio rango de compuestos que son extraídos de los materiales vegetales con solventes neutros (1). Constituyen entre 1 y 5 % del peso en las maderas duras y del bagazo. Presentan propiedades que los

hacen indeseables en la producción de pulpa y papel, dadas por el aumento en el consumo de reactivos de cocción y blanqueo (2,3), la reducción de los niveles de producción, la elevación de los costos de producción, la afectación de la calidad del papel y el incremento de las dificultades en los tratamientos de los residuales. Sin embargo, en la

actualidad la gran diversidad de especies químicas que constituyen los extractivos van encontrando interés científico e industrial, reportándose su empleo en la medicina (4), la perfumería, los productos dermatológicos, la química analítica, etc. (5,6).

En la actualidad se emplea el método de cromatografía gaseosa-espectrometría de masa (CG/EM) para la separación e identificación de compuestos naturales en diferentes materiales vegetales, entre los que se incluyen hojas y bagazo de la caña de azúcar (7-12). En este sentido se reporta la presencia de flavonoides y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, anticancerígenos y cardioprotectores (13,14).

Por lo anteriormente planteado, en este trabajo se pretenden identificar en el bagazo integral, desmedulado y prehidrolizado, los componentes químicos presentes en los extractos alcohol-benceno, solubles en acetona.

MATERIALES Y METODOS

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 °C; tiempo 30-120 min; presión 5-10 atm). Las muestras se molieron y se tamizaron aceptándose para las extracciones la fracción 40-60 mesh.

Los solventes utilizados fueron grado analítico, suministrados por la firma QUIMIPUR (España).

Extracción del bagazo

Las muestras se sometieron individualmente al proceso de extracción en un equipo Soxhlet (16) durante 6 horas, empleando como solvente mezcla alcohol-benceno (1:2) a temperatura de ebullición y a una velocidad de descarga de 4 veces por hora.

Los diferentes extractos se secaron sobre Na_2CO_3 anhidro y evaporados a sequedad en evaporador rotatorio a 45 °C y 0,01 Mpa. Los residuos así obtenidos fueron disueltos en acetona, desechando la porción insoluble y sometidos al análisis cromatográfico.

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 °C; inyector y detector a 250 °C; utilizando He como portador a la presión de 56,7 KPa y flujo de 51,2 ml/min, con un tiempo programado de 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.

Tabla 1. Resultados de la etapa de extracción

Muestra	Peso Bag.(g)	Peso Extracto (g)	Extractivos (%)	Solubles Acet (%)	%
B-1	9,6864	0,2776	2,87	0,1776	63,9
B-2	8,3770	0,1533	1,83	0,0928	60,5
B-3	9,2530	0,2490	2,70	0,1620	65,1

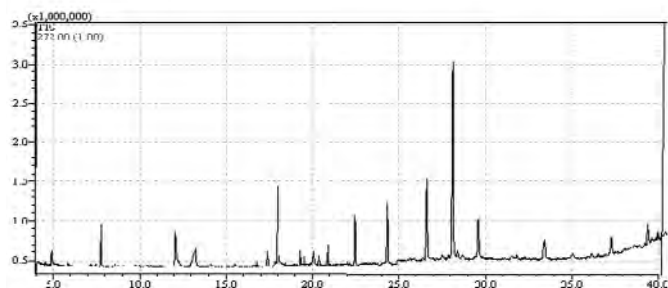


Figura 1. Cromatograma total de los compuestos solubles en acetona del extracto alcohol-benceno de la muestra B-1 realizados por CG/EM.

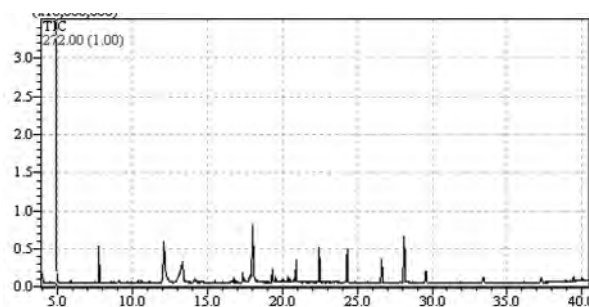


Figura 2. Cromatograma total de los compuestos solubles en acetona del extracto alcohol-benceno de la muestra B-2 realizados por CG/EM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se resumen los resultados obtenidos en la etapa de extracción de las muestras de bagazo.

Al analizar los resultados de la tabla se puede apreciar que en el porcentaje de extractivos no se observan diferencias significativas para las diferentes muestras, de igual forma, las fracciones solubles en acetona se encuentran entre el 60-65 % de los extractos alcohol-benceno obtenidos.

Las figuras 1, 2 y 3 muestran, los cromatogramas totales de los compuestos solubles en acetona de los extractos alcohol-benceno de los bagazos B-1, B-2 y B-3.

En la tabla 2 se reportan simultáneamente 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, donde se separaron entre 18 y 22 componentes, de los cuales se identificó un alto porcentaje.

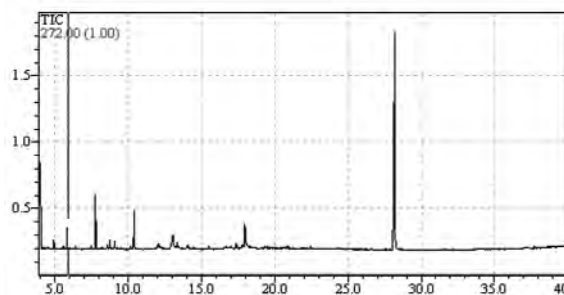


Figura 3. Cromatograma total de los compuestos solubles en acetona del extracto alcohol-benceno de la muestra B-3 realizados por CG/EM.

Tabla 2. Identificación analítica y contenido relativo de compuestos solubles en acetona procedentes de los extractos alcohol-benceno de las muestras de bagazo B-1, B-2 y B-3

No.	TR (min.)	Compuesto	Certeza (%)	Area % B1	Area % B2	Area % B3
1	4,96	p-Hidroxibenzaldehído	96	2,8	2,7	5,1
2	5,87	Vainillina	90	0,4	0,6	12,3
3	7,47	Ácido 4-Hidroxibenzoico	89	0,2	0,4	1,4
4	7,78	3,5-Di-Tert-Butilfenol	90	3,6	5,9	25,4
5	8,60	Ácido Vainillínico	81	0,2	0,3	2,2
6	8,72	2,6-Dimethoxibenzoquinona	90	ND	ND	1,5
7	9,06	1-Nonadeceno	90	ND	ND	3,2
8	10,39	Siringaldehído	96	ND	0,4	15,8
9	12,11	Coniferill Alcohol	78	8,7	20,4	3,4
10	13,1	Ácido p-cumárico	81	4,5	15,8	12,0
11	13,32	1-Hexadeceno	81	ND	ND	2,7
12	16,79	Difenil Sulfona	85	0,5	0,8	ND
13	17,36	Ácido Palmítico	92	1,9	2,1	1,1
14	17,84	3,5-Dimetoxi-4-Hidroxicinnamalaldehído	95	0,4	1,8	0,8
15	18,00	Derivado Benceno Oxigenado De PM 210		13,4	17,7	7,7
16	19,33	1-Hexadecanol	88	1,3	2,6	1,2
17	19,55	N-Heptadecano	80	0,6	1,0	0,3
18	20,08	Ácido octadecanoico isómero cis o trans	71	1,3	ND	ND
19	20,40	Ácido octadecanoico isómero cis o trans	68	1,4	ND	0,5
20	20,91	N-Nonadecano	95	3,0	2,8	1,3
21	22,45	N-Eicosano	92	8,4	5,5	1,2
22	24,32	N-Docosano	95	9,3	6,5	0,7
23	26,64	N-Tetracosano	89	18,2	5,8	0,4
24	29,60	N-Heptacosano	88	10,8	3,4	ND
25	33,44	Parafina	84	5,7	2,2	ND
26	37,28	Parafina	88	3,4	1,2	ND
Porcentaje de área de muestra identificada con exactitud				77,5	79,9	92,3
Porcentaje de área de muestra sin identificar				22,5	20,1	7,7

Tabla 3. Fragmentaciones/abundancia de los componentes

T. Retención (minutos)	Fragmentaciones		
18,00	192/999	149/ 854	106 456
B1, B2 y B3	78/383	77/383	132/350
33,44	57/999	71/722	87/617
B1 y B2	113/190	127/149	83/147
37,28	57/999	71/732	85/627
B1 y B2	113/217	127/159	69/140

La identificación de la muestra B-1 arroja que estos están formados por aldehídos, alcoholes, parafinas de alto peso molecular, sulfona en menor cantidad y ácidos, entre los que se encuentran los isómeros *cis* y *trans* del octadecanoico. En el bagazo desmedulado (B-2) aparecen compuestos muy similares al integral, sin la presencia de los isómeros *cis* y *trans* del octadecanoico; por otra parte, aparece el siringaldehído, compuesto no observado en el bagazo integral. Esto último pudiera deberse a problemas de concentración de la muestra, pues el siringaldehído es un componente fundamental de la lignina de bagazo (17). Por otra parte la muestra B-3 está constituida fundamentalmente por aldehídos y alcoholes.

En la tabla 3 se muestran las fragmentaciones de los componentes separados a tiempos de retención 18 min, 33,44 min y 37,28 min de las muestras B-1, B-2 y B-3, que no aparecen en las diferentes librerías de acceso

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 este caso, se considera que su presencia se debe al plástico de las tapas de los micro viales del equipo que tuvieron contacto con las muestras y al ser concentradas en los mismos. Por esta razón se hicieron tres determinaciones de diferentes solvente utilizados y tratados de igual manera que el de las muestras y se encontró la presencia del éster ftálico, lo que afirma que su presencia en el bagazo analizado es por contaminación.

CONCLUSIONES

1. Se identificó una gran variedad de componentes químicos mayoritariamente alcoholes, hidrocarburos, aldehídos y ácidos grasos.
2. 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 BIBLIOGRÁFICAS

1. Browning, B.L. Methods of Wood Chemistry Vol 1 Interscience Publishers, 1967.
2. Hillis, W. E. Wood extractives and their significance to the pulp and paper industry New York: Academic Press: pp. 513-520, 1962.
3. Beek, T. A.; Kuster, B.; Claassen, F.W; 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: pp. 302-311. 2007.
4. Traber, M G. Modern Nutrition in Health and Disease [J]. Baltimore 10: pp. 347-362, 1999
5. Peng, W.X.; Wu, Y.Q. Determination of Functional Components of Benzene/ Ethanol Extractives of Chinese-fir Wood GC/MS <www.iofbluемountain.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.seiofbluемountain.com/search/detail.php 28.08 .12.
7. Gutiérrez, A.; del Río, F.; González-Vila F.; Chemical Composition of Lipophilic Extractives from Eucalyptus globulus Labill. Wood Holzforschung 53: pp. 481-484. 1999.
8. Ekeberg, D.; Flæte, O.; Eikenes, M. Qualitative and quantitative determination of extractives in heartwood of Scots pine (*Pinussylvestris* L.) by gas chromatography J. . Chromatogr A, 1109: 267-272. 2006.
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: pp. 225-233. 2001.
10. Pietarinen, S.; Willför, S.; Vikström, F.A.; Holmbom, B.R.; Aspen, K. A Rich Source of Flavonoids J Wood Chem Technol. 26 (3): pp. 245-248. 2006
11. Lo Ket, S.; Liew Kang, Ch. Influence of Different Extraction Solvents on Lipophilic Extractives of

- Acacia Hybrid in Different Wood Portions Asian J Appl. Sci. 5: pp. 107-116. 2007.
12. Walford, S.; Egli, S.; Martincingh, B.; Separation, identification and characterization of extractives from sugarcane (*Saccharum officinarum*) leaf Proc. Afr. Sug. Technol. Ass. 82: pp. 342-345. 2009.
 13. Colombo, R.; Yariwake, J.; Queiroz, E.F.; Ndjoko, K.; Hostettmann, K. 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: pp. 51-59. 2005.
 14. Colombo, R.; Yariwake, J.H.; McCullagh, M. Study of C- and O- glycosylflavones in sugarcane extracts using liquid chromatography-exact mass measurement mass spectrometry J Brazil Chem Soc 19: pp. 483-490. 2008.
 15. Lois, J. Sistemas y equipos de desmedulado en la industria del, bagazo de la caña de azúcar. Editorial Científico Técnica, C.de la Habana. pp. 15-17. 1982.
 16. Solvent extractives of wood and pulp. Official Test Method Tappi T 204 om-88.
 17. Sarkanen, K.V. Lignins Wiley-Interscience 69-74. 1971
 18. Consulta personal con especialistas de productos naturales y plásticos 2013.
 19. IARC Monograph 77: 45. 2000.



FitoMas es un cóctel natural de sustancias orgánicas intermediarias complejas de alta energía, especialmente seleccionadas del conjunto mejor representado en la mayor parte de las especies botánicas a las que pertenecen los cultivos económicos, por lo que permite superar las situaciones estresantes sin perjudicar la producción de alimentos y productos útiles. FitoMas no es tóxico ni a las plantas ni a los animales.

Con su acción, FitoMas facilita la interacción suelo-planta, por lo que propicia el desarrollo de la rizosfera, la cual elabora hormonas de crecimiento y otras muchas sustancias útiles al vegetal

FITOMAS (H)

Potenciador de la acción herbicida cuando se mezcla con estos lo cual permite una sensible reducción de sus dosis. Incrementa el área radicular y mejora la floración cuando se aplica a dosis entre 0,2 y 1 l/ha, al inicio de la floración en frutales y después del ahijado en cereales.

FITOMAS (E)

Es un sustituto parcial de la fertilización convencional porque propicia el desarrollo de la rizosfera (microorganismos simbióticos que viven en las raíces), los que fijan nitrógeno atmosférico y movilizan otros nutrientes minerales.

FITOMAS (M)

Madurador de la caña por excelencia, facilita el engorde y cuajado de los frutos cuando se aplica un mes antes de la cosecha a tubérculos o raíces, en frutales y cereales.




**Producto Natural
Antiestrés**





Verificación y validación del software Fermenta 5.0 para la simulación de la fermentación alcohólica

Mauricio Ribas-García, Rafael Hurtado-Vargas, Fidel Domenech-López, Norge Garrido-Carralero

Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
mauricio.ribas@icidca.edu.cu

RESUMEN

La verificación y validación son aspectos críticos en el desarrollo de un modelo de simulación ya que no existe un conjunto de pruebas específicas que puedan ser fácilmente aplicadas para evaluar la corrección de un modelo. Cada proyecto de simulación emplea sus técnicas de validación acorde a las características del proceso que se está simulando y el grupo de trabajo que se conforme para su desarrollo. En este trabajo se emplea un enfoque práctico para la validación del modelo de simulación incluido en la herramienta de software FERMENTA 5.0. Con este objetivo se simuló un proceso real de fermentación alcohólica y sus resultados se compararon con los datos históricos del proceso y se utilizaron para determinar cuándo el comportamiento del modelo es muy similar al sistema real. Finalmente, se realizaron diferentes análisis de sensibilidad para evaluar la respuesta del modelo ante cambios de algunos parámetros.

Palabras clave: verificación, validación, modelos de simulación, producción de etanol, software de simulación.

ABSTRACT

Verification and validation are critical aspects in the development of a simulation model because it doesn't a group of specific tests that can be easily applied to evaluate the model's correction. Each simulation project uses its own validation techniques according to the characteristics of the process simulation and the team work that conforms to for its development.

In this paper a practical approach is used for the validation of the model simulation included in the software tool FERMENTA 5.0. With this objective, a real process of ethanol fermentation was simulated and its results were compared with the historical data of the process and used to determine when the model behaves as the system does. Besides, different sensitivity analysis were carried out to evaluate the model response to the changing of some parameters values.

Keywords: verification, validation, simulation models, ethanol production, simulation software.

INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación se usan fundamentalmente para resolver problemas de toma de decisiones. La verificación de un modelo es comúnmente definida como "asegurarse que la imple-

mentación computacional del modelo en un programa de computación este correcta". Por otra parte, validación significa "capacidad del modelo computarizado de poseer un rango de precisión satisfactorio dentro del dominio de aplicabilidad del proceso" (1).

Un modelo debe ser desarrollado con un propósito específico y su validez determinada con respecto a ese propósito. Se considera válido para un conjunto de condiciones experimentales si la precisión del modelo está dentro de su rango aceptable. Esto implica que las variables de respuestas del modelo sean identificadas y su cantidad requerida de precisión especificada a priori. Si el modelo contiene variables de naturaleza aleatoria entonces se emplean las propiedades y funciones de estas variables como la media y la varianza para definir la precisión (1,2).

Existe una relación muy estrecha entre confianza del modelo, costo (directamente proporcional a la cantidad de tiempo requerido para alcanzar la validación del mismo) y el valor que tienen sus resultados para el usuario.

El costo de validación es significativamente grande, especialmente cuando se requiere una elevada confianza en el modelo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que la validación de un modelo matemático forma parte esencial del proceso de modelación ya que es en esta etapa donde se decide si el modelo está apto o no para representar adecuadamente el problema bajo estudio.

En el presente trabajo se utilizan diferentes técnicas para validar los resultados de un modelo matemático empleado para describir la dinámica de los procesos fermentativos e incluido en la herramienta de software Fermenta 5.0.(3).

DESARROLLO

Existen cuatro enfoques básicos para decidir cuándo un modelo es válido. Cada uno de ellos requiere de un grupo de trabajo que desarrolla el modelo y otro que conduce el proceso de verificación y validación. De acuerdo a este criterio, se puede seguir uno de estos enfoques o una combinación de ellos.

- El grupo de trabajo que desarrolla el modelo es el mismo que toma la decisión de cuándo el modelo es válido.
- Incluir, dentro del grupo que desarrolla el modelo y lo implementa computacionalmente, a usuarios para decidir acerca de la validación del modelo de simulación.
- Empleo de una tercera parte independiente, para decidir cuándo el modelo de simulación es válido. Esta puede ser utilizada en paralelo con el desarrollo del modelo, aquí la verificación y validación del modelo se realiza por etapas y no se puede avanzar hasta que no se cumplan ambos requisitos en la etapa que se evalúa. La otra alternativa consiste en el empleo de la ter-

cera parte después que el modelo de simulación haya sido desarrollado. Esta última alternativa es extremadamente costosa y consume mucho tiempo (1).

- Empleo de un modelo de ponderaciones para evaluar la validez del modelo de simulación (4-6). Estas ponderaciones generalmente se determinan de manera subjetiva cuando se está conduciendo varios aspectos del proceso de validación y se combinan para calcular una ponderación global del modelo de simulación.

Para validar el modelo de simulación de procesos de fermentación incluido en la herramienta de software Fermenta 5.0, se utilizó una combinación de los tres primeros enfoques en distintas etapas del desarrollo de la herramienta de simulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de modelación, validación y verificación se dividió en varias etapas relacionadas entre sí.

Etapas 1: Definición del sistema real, idea, situación o fenómeno a ser modelado

Se modelaron las principales entidades en una fermentación alcohólica (la biomasa, el sustrato limitante, el producto y el calor).

Etapas 2: Definición del modelo conceptual mediante una representación matemática, lógica, verbal del sistema bajo estudio

La validación del modelo conceptual consistió en determinar si las teorías y supuestos, sobre las que se basa el mismo, son correctas y constituyen una representación razonable del sistema bajo estudio, para los propósitos específicos que se persiguen.

En la modelación matemática del proceso de fermentación alcohólica se incluye la descripción cinética, no únicamente a nivel del microorganismo, también a nivel del biorreactor. La ecuación general de conservación se define para cada entidad dentro del biorreactor como:

$$\left(\begin{matrix} \text{Velocidad de} \\ \text{Acumulación} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Velocidad de} \\ \text{Transporte} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{Velocidad neta} \\ \text{de Conversión} \end{matrix} \right)$$

Las ecuaciones resultantes son llamadas ecuaciones de estado del modelo y describen la dependencia del tiempo de las variables de estado del sistema. Apoyándonos en la teoría de los fenómenos de transporte y las leyes de conservación, para establecer la entrada y salida del transporte de la entidad bajo estudio y su consumo o producción, dentro del sistema, se construyó un modelo semifí-

sico de base fenomenológica (MSBF) mediante las ecuaciones del balance de masa, balance por componente y balance de energía.

El modelo de simulación obtenido está basado en los siguientes supuestos que constituyen simplificaciones de la realidad que no afectan significativamente la precisión de los resultados:

- El fluido en fase líquida dentro del fermentador no es discreto en ningún momento y el estado fisiológico de la población de microorganismos se representa por su velocidad específica de crecimiento.
- Se considera un sistema homogéneo, no hay diferenciación entre los sólidos (la levadura) y el líquido, tomándolos como si estuvieran en una misma fase (líquida).
- La masa del gas-vapor en el interior del fermentador es muy pequeña comparada con la del líquido y el equilibrio térmico es inmediato por lo que no se considera su dinámica.
- El flujo térmico que pasa por el intercambiador de calor, se asume con una respuesta dinámica rápida, en comparación con la del líquido que está en el interior del fermentador; su comportamiento estático se puede formular por una ecuación algebraica.

Etapas 3: Construcción del modelo computarizado, es la implementación computacional del modelo conceptual

El software Fermenta 5.0 está implementado con la herramienta de desarrollo rápido de aplicaciones C++ 6.0. La verificación del modelo computarizado asegura que la programación en computadora y la implementación del modelo conceptual son correctas. Las soluciones del modelo computarizado se compararon con un modelo similar implementado con el software MATLAB 7.0 y resuelto mediante la función ode45 de esta herramienta matemática, que tiene implementado un algoritmo Runge Kutta de cuarto orden. Los resultados obtenidos en todos los casos fueron similares.

Etapas 4: Fase experimental

Consiste en realizar inferencias acerca del sistema real mediante la conducción de experimentos en computadora con el modelo computarizado y validar que el comportamiento de las salidas del programa tiene suficiente precisión para los propósitos específicos que se siguen con el modelo sobre su dominio de aplicabilidad (Validación operacional). Para ejecutar esta etapa aparecen reportadas en la literatura diferentes técnicas y pruebas que se usan para verificar y validar un modelo de simulación (1,2). Entre ellas se encuentran:

- Comparación con otros modelos: Los resultados del modelo de simulación son comparados con

otros modelos de simulación ya validados o modelos analíticos.

- Validación por eventos: La ocurrencia de eventos en un modelo de simulación se compara con los eventos que ocurren en el sistema real y se determina si son similares.
- Prueba de condiciones extremas: La estructura del modelo y la salida del mismo debe responder adecuadamente a las condiciones extremas. Por ejemplo, si la concentración inicial de biomasa es cero, no puede haber proceso de fermentación.
- Validación de expertos: Consiste en la evaluación por expertos de los resultados de la simulación.
- Validación con datos históricos: Comparar las relaciones de entrada-salida del modelo con el sistema real.
- Análisis de sensibilidad: Consiste en cambiar los valores de entrada y los parámetros internos del modelo para determinar su efecto sobre el comportamiento de la salida del modelo y compararlo con el sistema real.
- Validación predictiva: Se utiliza el modelo para predecir el comportamiento del sistema y entonces se realizan comparaciones entre el comportamiento del modelo y el del sistema para determinar si son iguales.

Para validar la herramienta de software Fermenta 5.0, se comenzó por simular un proceso real de fermentación alcohólica instalado en una destilería que utiliza un medio de fermentación compuesto por una mezcla de melaza (7 % v/v) y jugo clarificado (93 % v/v). El proceso incorpora un esquema Melle-Boinot de recirculación de levadura donde toda la levadura tratada es enviada a los prefermentadores, el volumen de operación de la fermentación es de 135 m³.

El fermentador se opera en modo semicontinuo con alimentación incrementada de mosto según la política de flujo presentada en la tabla 1.

Tabla 1. Política de flujo de alimentación

Flujo, (m³/h)	Tiempo, (h)	Volumen de incremento,(m³)
15,00	1,66	59,9
20,00	1,66	93,1
25,00	1,66	134,6

La tabla 2 presenta un resumen de la información histórica del proceso a partir de una muestra de 172 fermentaciones realizadas en la destilería. Las variables concentración final de etanol, concentración de ART en la alimentación y eficiencia

Tabla 2. Resumen de la información de fábrica

Variables observadas	Recirculación de levadura	
	Valor promedio	Coefficiente de variación, (%)
Concentración de ART en la alimentación, (kg/m ³)	208,64 ± 3,82	4,860
Concentración de levadura en el inóculo, (kg/m ³)	74,36 ± 1,28	10,679
Concentración final de levadura, (kg/m ³)	23,62 ± 0,41	11,803
Concentración de etanol en el inóculo, (kg/m ³)	42,82 ± 0,83	12,057
Concentración final de etanol, (kg/m ³)	76,52 ± 0,76	4,578
Grado alcohólico inicial, (% v/v)	1,40 ± 0,03	12,057
Grado alcohólico final, (% v/v)	9,63 ± 0,10	4,578
Eficiencia de fermentación, (%)	84,86 ± 1,08	5,490
Tiempo de duración de la alimentación, (h)	5,12 ± 0,12	16,180
Tiempo de duración de la fermentación, (h)	8,80 ± 0,19	14,518

de fermentación, presentan dispersiones relativas con respecto al valor promedio menores al 6 % lo que indica un funcionamiento estable del esquema productivo durante el período de tiempo analizado. Las mayores dispersiones relativas (coeficientes de variación superiores a 10 %) se observan en las variables relacionadas con la concentración de biomasa en el inóculo y al final de la fermentación, lo cual es un resultado esperado, teniendo en cuenta la variabilidad intrínseca que aportan los organismos vivos. También en la tabla aparecen reflejados los intervalos de confianza al 95 %, para los valores promedios de cada variable.

A partir de la información de la tabla 2 se decidió establecer las siguientes condiciones iniciales para simular el proceso de fermentación real (tabla 3).

Cinética de crecimiento

Se definió una cinética de crecimiento basada en el Modelo de Monod, considerando el efecto de inhibición por biomasa. Para esto se tuvo en cuenta que el proceso de fermentación es operado con el objetivo de evitar el crecimiento de biomasa y que la energía metabólica en forma de ATP, sea dirigida fundamentalmente a las funciones de mantenimiento celular y como consecuencia a la formación del producto.

$$\mu = \mu_{\max} \frac{s}{k_s + s} \left(1 - \frac{x}{x_{\max}} \right)^m \quad \text{Ec. 1}$$

Los valores de los parámetros cinéticos fueron tomados a partir de distintas fuentes bibliográficas (tabla 4).

Tabla 3. Condiciones iniciales de la simulación

Condiciones iniciales de la simulación	Recirculación de levadura, valor	UM
Volumen de inóculo	35	m ³
Concentración de biomasa	74,36	kg/m ³
Concentración de sustrato	0,10	kg/m ³
Concentración de etanol	42,81	kg/m ³
Temperatura inicial	25	°C
Temperatura ambiente	25	°C

Tabla 4. Valores de los parámetros cinéticos

Parámetros	Valor	UM	Fuentes bibliográf.
μ_{\max}	0,032	1/h	(7)
k_s	0,025	kg/m ³	(8)
X_{\max}	74,36	kg/m ³	(9)
m	1,00	-	(10)

Cinética de consumo de sustrato

En la fermentación alcohólica, la formación de producto extracelular está directamente asociada al metabolismo energético y por lo tanto, todo el sustrato que entra en la célula es usado para funciones de crecimiento y mantenimiento, obteniéndose como consecuencia el producto. De esta forma la ecuación que describe la velocidad volumétrica de consumo de sustrato quedaría como:

$$r_s = \left[\frac{\mu}{Y_{xs}} + m_s \right] x \quad \text{Ec. 2}$$

La tabla 5 muestra valores de los parámetros del balance de sustrato. Los mismos se seleccionaron usando datos de la literatura y teniendo en cuenta que el gasto de energía requerido para las funciones de mantenimiento celular, es generalmente más importante en procesos semicontinuos como el que se está simulando, en comparación con cultivos en lote, donde es prácticamente insignificante debido a los altos valores de μ .

Cinética de formación del producto

Se estableció una cinética de formación del producto, directamente asociada al metabolismo energético y representada mediante el modelo de Luedeking Piret (11).

La velocidad volumétrica de formación del producto se calcula como:

$$r_p = (Y_{px}\mu + m_p)X \quad \text{Ec. 3}$$

Los valores de los rendimientos fueron seleccionados a partir de la estequiometría de la reacción y del análisis de la literatura (tabla 6). Se consideró un coeficiente de rendimiento producto-sustrato de 0,45 para una eficiencia de fermentación del 94 %.

Tabla 5. Valores de los parámetros para el balance de sustrato

Parámetros	Valor	UM	Fuentes bibliográf.
Y_{xs}	0,033	kg/ kg·h	(7)
m_s	0,260	kg/kg·h	(7)

Tabla 7. Valores de los parámetros que intervienen en el balance de energía

Parámetros	Valor	UM	Fuentes bibliográficas
ΔH_R	557,263	kJ/kg	(12, 13, 14, 15, 16)
A_{int}	43,26	m ²	Información técnica de los fabricantes.
U	27 214,2	kJ/m ² ·h·°C	Información técnica de los fabricantes.
A_{Fer}	135	m ²	Calculada a partir de la información de la geometría del fermentador.
U_{Pared}	16,705	kJ/m ² ·h·°C	(12, 17, 18)
T_{amb}	20	°C	Temperatura ambiente promedio existente en el lugar donde está ubicada la destilería.
T_{ref}	32	°C	Temperatura de referencia para controlar la fermentación.

Tabla 6. Valores de los parámetros estequiométricos

Parámetros	Valor	UM	Fuentes bibliográf.
Y_{ps}	0,44	kg/kg	a
Y_{px}	13,182	kg/kg	(9)
m_p	0,123	kg/kg·h	b

a. Estequiometría de la reacción

b. Ajustado a las condiciones del proceso

Balance de energía

La ecuación general para el balance de energía incluye los términos de calor generado en el bioproceso, calor transferido en el intercambiador de calor, calor transferido con el ambiente y el calor disipado a la atmósfera, conjuntamente con el etanol, agua y CO₂.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \sum_{i=1}^n Q_i^E - \sum_{i=1}^n Q_i^S + \frac{\partial Q_g}{\partial t} - Q_{transf} - Q_{amb} - Q_{disipado}$$

Ec. 4

Para realizar el balance de energía en el fermentador se utilizaron valores promedios de entalpía de reacción y coeficiente de transferencia de calor por la pared de acero inoxidable del fermentador; material ampliamente aceptado por los distintos expertos en fermentación alcohólica. En la tabla 7 se presentan los valores de los diferentes parámetros que intervienen en el balance de energía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Validación con datos históricos

Se realizaron 50 simulaciones con el Software Fermenta 5.0 correspondientes a igual número de

Tabla 8. Valores de los errores de predicción del modelo

Errores de predicción	Tiempo de duración de la fermentación (h)	Biomasa final (g/L)	Grado alcohólico final (% v/v)	Eficiencia fermentación ART sum. (%)
RSD	0,08	1,77	0,181	6,05
RSD%	0,96	6,86	1,90	7,11
MAE	0,18	1,28	0,59	2,94
ME%	1,66	4,84	5,62	3,13
Y_{\max}	10,82	26,42	10,56	93,84
\bar{Y}	8,43	25,84	9,52	85,13

fermentaciones realizadas en la destilería. Sus resultados finales fueron analizados estadísticamente y comparados con los valores observados en la industria. Diferentes autores reportan valores aceptables de error estándar residual relativo $RSD\% \leq 10\%$ y error medio relativo $ME\% \leq 5\%$ para el análisis de bioprocesos (21-24). En la tabla 8 se muestran el error estándar residual (RSD %) y el error medio absoluto (MAE), entre los valores observados y los predichos por la simulación, para cada variable de respuesta. En todos los casos sus valores se encuentran dentro del rango aceptable para el análisis de bioprocesos. Se observa que el tiempo de fermentación es predicho por el modelo, con un error medio absoluto de 0,18 h; esto representa una desviación de $\pm 1,66\%$ para el valor máximo de tiempo de fermentación observado 10,82 h. El grado alcohólico final puede ser predicho con error medio absoluto de 0,59 % v/v (representa una desviación relativa de $\pm 5,62\%$ para el valor máximo de grado alcohólico observado, 10,56 % v/v). La eficiencia de fermentación es predicha por el modelo con un error medio absoluto de 2,94 % (representa una desviación relativa de $\pm 3,13\%$ con respecto al valor máximo de eficiencia de fermentación observado, 93,84 %). La concentración final de biomasa es predicha por el modelo con un error medio absoluto de 1,28 g/L (representa una desviación relativa de $\pm 4,84\%$ con respecto al valor máximo de concentración final de biomasa observado, 26,42 g/L).

La figura 1 presenta los resultados de la simulación con el software Fermenta 5.0 de un caso-base, formulado a partir de los valores promedios que aparecen reportados en la tabla 2 y las condiciones iniciales de la tabla 3. El tiempo de duración de la fermentación, predicho por la simulación fue de 8,84 h el cual se encuentra dentro del intervalo al 95 % de confianza obtenido para esta variable [8,61; 8,99] (tabla 2).

El grado alcohólico predicho por la simulación es de 9,76 °GL, muy cercano al valor promedio observado de 9,63 °GL. La concentración final de etanol predicha por la simulación fue de 75,47 kg/m³. Este

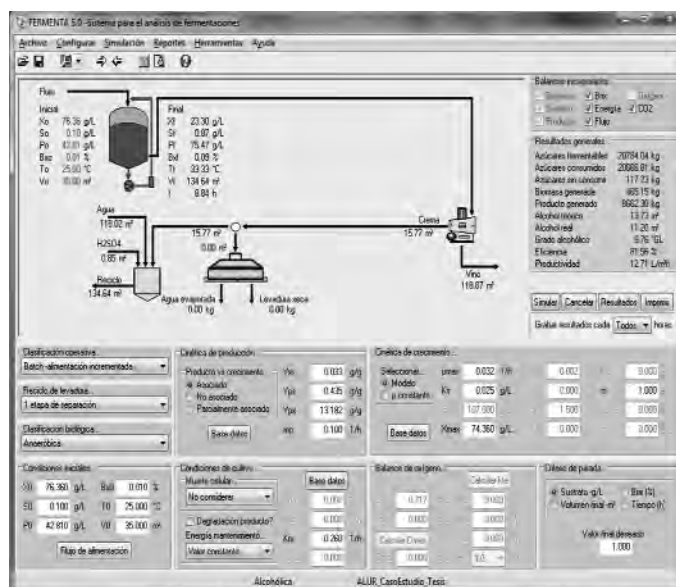


Figura 1. Vista principal de la simulación.

valor se encuentra dentro del intervalo de confianza estimado a partir de los datos del proceso (74,76; 76,28) (tabla 2). La concentración final de biomasa predicha por la simulación fue de 23,30 kg/m³, también perteneciente al intervalo de confianza estimado para esta variable [23, 21; 24,03] (tabla 2).

Validación predictiva

La figura 2 muestra los perfiles del comportamiento de la concentración de biomasa, producto y sustrato dentro del fermentador, así como el flujo de alimentación. Se observa que cuando comienza la alimentación se incrementa la concentración de sustrato en el fermentador hasta un valor cercano a la mitad de la concentración de ART en el flujo de alimentación y ocurre una disminución de la concentración celular por efecto de la dilución. Después que termina la alimentación, la concentración celular se mantiene alrededor de un valor estable y se incrementa la concentración de etanol, a medida que se van agotando los azúcares. Estos son resultados esperados para este tipo de proceso.

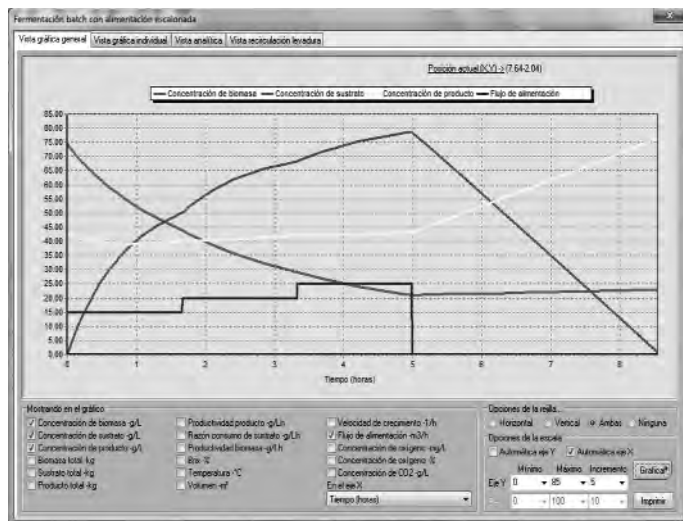


Figura 2. Perfiles del comportamiento del proceso de fermentación.

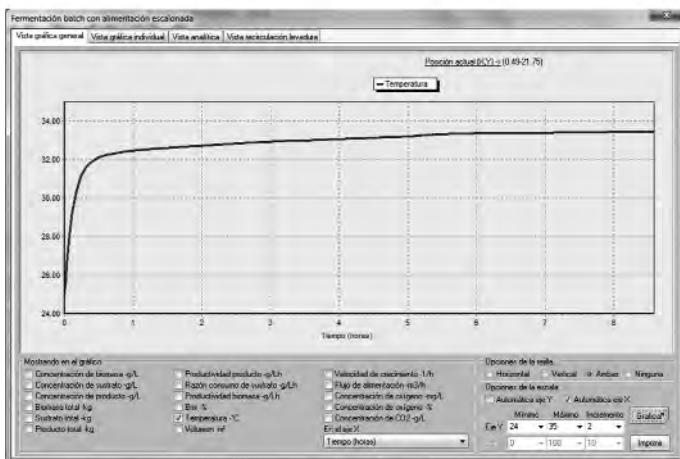
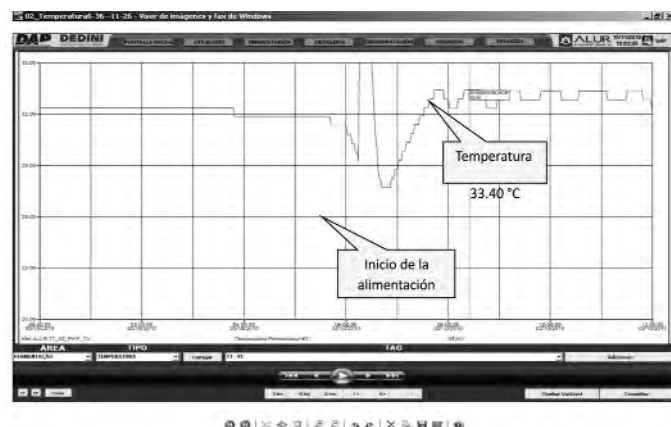


Figura 3. Perfiles de temperatura observados (superior) y estimados (inferior) por el modelo del proceso.

La figura 3 refleja los perfiles de temperaturas observados en una fermentación real y se comparan con el perfil de temperatura estimado por el modelo.

En ambos casos se observa que cuando comienza la alimentación la temperatura del fermentador está alrededor de 25 °C, después crece hasta el valor de temperatura de referencia (32 °C) y durante el resto del tiempo se mantiene en un valor de 32 ± 2 °C, por lo que se puede concluir que el comportamiento de los dos perfiles son muy similares.

Análisis de sensibilidad

Con el objetivo de evaluar la respuesta del modelo de simulación ante cambios de algunos parámetros y compararlo con el sistema real, se decidió realizar un análisis de sensibilidad. Se seleccionaron los siguientes parámetros: X_0 , S_a , μ_{max} , m_s , m_p y sus valores fueron modificados en un ± 30 %, con respecto al caso base.

En la figura 4 se muestran los gráficos de sensibilidad. Se observa que los parámetros más sensibles sobre el grado alcohólico final (figura 4 A) son, en orden decreciente, la concentración de sustrato en la alimentación (S_a) y la velocidad específica de formación del producto, debido al mantenimiento (m_p). En ambos casos la influencia es positiva. Este resultado es lógico, pues es de esperar que a mayor suministro de sustrato, mayor será la concentración celular final y la formación de etanol, siempre y cuando no exista inhibición por sustrato.

En cuanto a la eficiencia de fermentación (figura 4 B), los parámetros más sensibles son, en orden decreciente, m_p y m_s . La influencia de m_p es positiva, mientras que la de m_s es negativa. El parámetro m_p , de formación de etanol como consecuencia de la energía utilizada por las células para los procesos endógenos, es el de mayor impacto sobre la eficiencia de la fermentación.

Esto se corresponde con la estrategia del reciclo de biomasa al fermentador, evitar el crecimiento en esta etapa y dirigir el proceso a la formación de etanol.

El análisis de sensibilidad sobre la concentración final de biomasa (figura 4 C) muestra que cuando hay recirculación de levadura el aumento de la concentración final de biomasa se obtiene fundamentalmente incrementando la concentración celular en el inóculo.

En el caso del tiempo de fermentación (figura 4 D), aumentar la concentración de sustrato en la alimentación (S_a) implica una mayor duración de la fermentación y, por tanto, el metabolismo de las células se demora más en asimilar esta concentración de sustrato.

En la figura 4 E se observa que un aumento del 30 % del área de transferencia de calor de los intercambiadores (A_{int}) conlleva a disminuir la temperatura en apenas un uno por ciento. Por tanto, las áreas de transferencia de calor de los intercambiadores existentes en la destilería son suficientes para mantener la temperatura dentro del rango deseado.

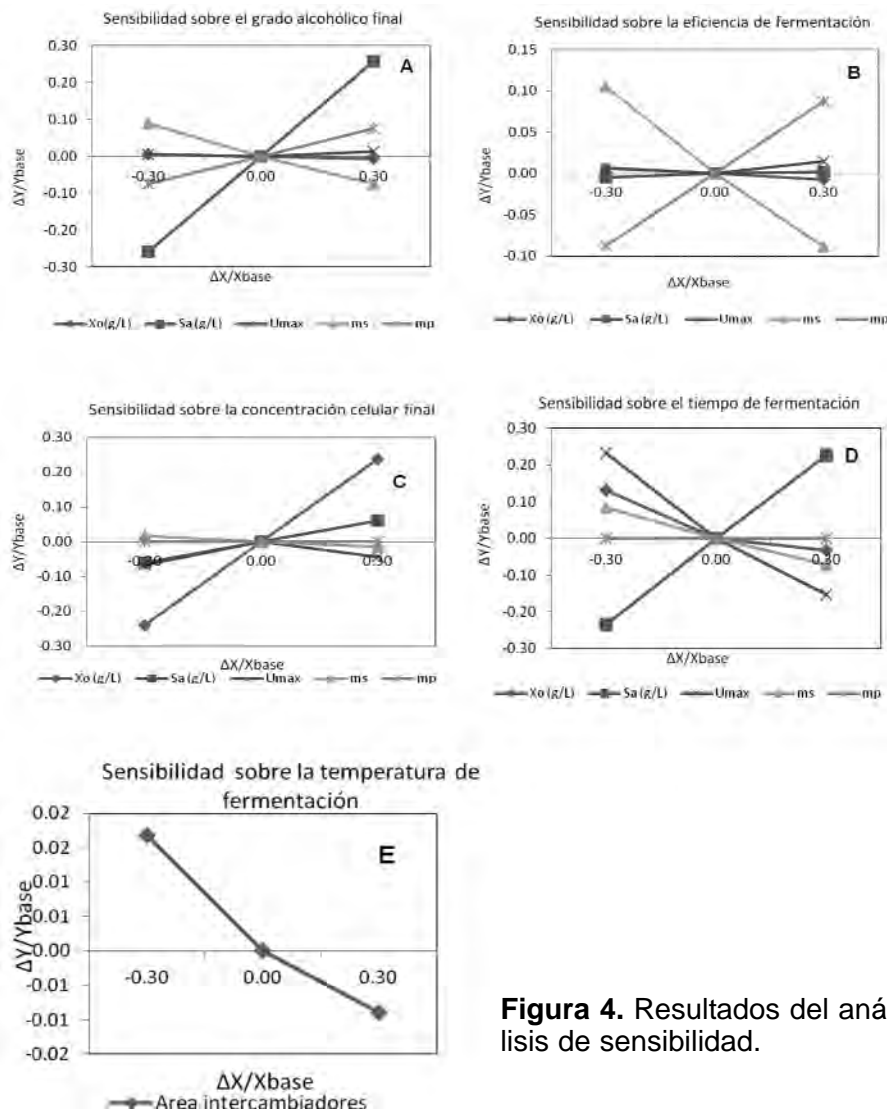


Figura 4. Resultados del análisis de sensibilidad.

CONCLUSIONES

1. Se aplicó un enfoque práctico para la verificación y validación de la herramienta de simulación Fermenta 5.0.
2. Los resultados de las técnicas de validación empleadas indican una elevada correspondencia entre el comportamiento del proceso real y la simulación.
3. La herramienta de simulación Fermenta 5.0, puede ser utilizada para predecir cuál será el comportamiento del proceso de fermentación alcohólica ante cambios de las condiciones de operación y los parámetros cinéticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sargent, R. G. Verification and validation of simulation models. In Proc. 2007 Winter Simulation Conf., ed. S. G Henderson, B. Biller, M.-H Hsieh,

J. Shortle, J. D. Tew, and R. R. Barton, p. 124-137. Piscataway, New Jersey: IEEE 2007.

2. Barrales, L. V.; Peña, I. R.; Fernández de la Reguera, P. Model validation: an applied approach. *Agricultura Técnica* 64 (1), 2004.
3. Ribas, M.; Hurtado R.; Domenech, F.; Sabadi, R.; Garrido, N. A software for simulation of fermentation processes. *Memorias del XXVII Congreso de la ISSCT*, México 2010.
4. Balci, O. How to assess the acceptability and credibility of simulation results. In Proc. 1989 Winter Simulation Conf., ed. E. A. MacNair, K. J. Musselman, and P. Heidelberger, p. 62-71. Piscataway, New Jersey: IEEE 1989.
5. Gass, S. I. Model accreditation: a rationale and process for determining a numerical rating. *Eur J Operational Res* 66 (2): p. 250-258, 1993.
6. Gass, S. I. and L. Joel. Concepts of model confidence. *Computers Operations Res* 8 (4): p. 341-346, 1987.
7. Converti A., Saleh A., Sunao S. Simplified Modeling of Fed-Batch Alcoholic Fermentation of Sugarcane Blackstrap Molasses. [en línea] Wiley InterScience, 2003. p. 22. < <http://www.interscience.wiley.com/> > [Consulta: Julio 2010]
8. Doran, P. M. *Bioprocess Engineering Principles*. USA: Editorial Elsevier Science & Technology Books, 1995 ISBN: 0122208552.
9. Rivera, E. C., Costa, A. C. Evaluation of optimization techniques for parameter estimation: application to ethanol fermentation considering the effect of temperature. *Process Biochem (Brasil)* (41): p. 1682-1687, 2006.
10. Atala, D. Kinetics of ethanol fermentation with high biomass concentration considering the effect of temperature. *Appl Biochem Biotechnol*. 10:p. 91-93, 2001.
11. Luedeking, R. Piret, E. L. Transient and steady states in continuous fermentation. Theory and experiment. *J Biochem Microbiol Technol Eng* 1 (4), 1959.
12. Boulton, R.; Singleton, V. L.; Bisson, L.; Kundee, R. *Principles and practices of winemaking*. New York. USA: Editorial Chapman and Hall, 1996.

13. Flanzy, C. Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos. Madrid España AMV Ediciones y Mundi prensa, 2000.
14. Ribereau Gayón, P.; Dubordieu, D.; Donéche, B.; Lonvaud. Traité d'Oenologie. Dunod. Buenos Aires, 1997.
15. Suárez, J. A. Levaduras vínicas. Funcionalidad y uso en bodega. Mundiprensa. Madrid España, 1997.
16. Willians, L., A.; Boulton, R. Modeling and prediction of evaporative etanol during wine fermentations. Am. J. Enol. Vitic, 34 (4):p. 234-242, 1983.
17. Geankopolis, C. J. Transport processes and unit operations. 3a ed. USA Prentice Hall International Editions, 1993.
18. McCabe, W.; Smith, J. y Harriot, P. Unit Operations of Chemical Engineering. USA Mc. Graw Hill, 1993.
19. Ribas, M.; Doménech, F. Integración Excel-Matlab para la simulación dinámica de sistemas de fermentación alcohólica. Revista de Ingeniería Química Española, (470):p. 104-109, 2009.
20. Villamizar Roa, E. J. Modelos y modelamiento matemático. [en línea] 2009 <http://www.matematicas.uis.edu.co/~elderj/> [Consulta: Julio 2010]
21. Haloui NEE, Picque D, Corrieu G. Alcoholic Fermentation in Winemaking: On-Line Measurement of Density and Carbon Dioxide Evolution. J Food Eng; 8:17-30, 1988.
22. Scaglia GJE, Aballay PM, Mengual CA, Vallejo MD, Ortiz OA. Improved phenomenological model for an isothermal winemaking fermentation. Food Control, 20 887-895, 2009.
23. Malherbe S, Fromion V, Hilgert N, Sablayrolles J-M. Modeling the Effects of Assimilable Nitrogen and Temperature on Fermentation Kinetics in Enological Conditions. Biotechnol Bioeng, 86:261-272, 2004.
24. Días, M.O.S., Maciel Filho, R., Rosell, C.E.V. "Efficient Cooling Fermentation Vats in Ethanol Production-Part I". Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 26, 2007.

Notación

$X :$	Concentración de biomasa en el fermentador	[kg/m ³]	$Q_i^S :$	Flujo de calor que sale del fermentador	[kJ/h]
$S :$	Concentración de ART en el fermentador	[kg/m ³]	$Q_{amb} :$	Flujo de calor transferido con el ambiente por la pared del fermentador	[kJ/h]
$P :$	Concentración de etanol en el fermentador	[kg/m ³]	$Q_{disipado} :$	Flujo de calor disipado	[kJ/h]
$T :$	Temperatura del fermentador	[°C]	$RSD :$	Error estándar	
$t :$	Tiempo de fermentación	[h]	$RSD\% :$	Error estándar residual relativo	%
$\mu_{max} :$	Velocidad máxima específica de crecimiento	[1/h]	$MAE :$	Error medio absoluto	-
$k_s :$	Concentración de saturación por sustrato	[kg/m ³]	$ME\% :$	Error medio relativo	%
$X_{max} :$	Concentración de inhibición por biomasa	[kg/m ³]	$Y_{max} :$	Valor máximo de la variable de respuesta	-
$m :$	Parámetro del modelo		$\bar{Y} :$	Valor promedio de la variable de respuesta	-
$Y_{px} :$	Coefficiente de rendimiento producto-biomasa	[kg/kg]	$\Delta H_R :$	Entalpía de reacción	[kJ/kg]
$Y_{ps} :$	Coefficiente de rendimiento producto-sustrato	[kg/kg]	$U :$	Coefficiente de transferencia de calor del intercambiador	[kJ/m ² ·K·h]
$m_p :$	Velocidad específica de formación del producto debido al mantenimiento	kg/kg·h]	$U_{Pared} :$	Coefficiente de transferencia de calor por la pared del fermentador	[kJ/m ² ·K·h]
$\frac{dQ}{dt} :$	Variación del flujo de calor	[kJ/h]	$A_{int} :$	Área de transferencia de calor del intercambiador	[m ²]
$\frac{dQ_g}{dt} :$	Variación del flujo de calor generado en la fermentación	[kJ/h]	$A_{Ferm} :$	Área del fermentador	[m ²]
$Q_{transf} :$	Flujo de calor transferido en el intercambiador de calor	[kJ/h]	$T_{amb} :$	Temperatura del ambiente	[°C]
$Q_i^E :$	Flujo de calor que entra al fermentador	[kJ/h]	$T_{ref} :$	Temperatura de referencia	[°C]

Metodología para la determinación de los costos de calidad en un laboratorio de ensayos físico-químicos

Ivonne Martínez-Pérez¹, Jesús Mesa-Oramas², Martha Salermo-Martínez²,
Carlos Peña-Velázquez², Alejandra Sánchez-Herrera²

1. Gerencia de Servicios Empleadora Corporación CIMEX S.A.
Calle 38 # 311 e/ 3ra A y 5ta, Miramar, Playa. LaHabana, Cuba

2. Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Carretera Central M. Martínez Prieto, km 2 1/2, Boyeros. La Habana, Cuba.
jesus.mesa@icidcaby.azcuba.cu

RESUMEN

El estudio de los costos es una de las vías para mejorar la eficiencia de las organizaciones, en particular los asociados a la calidad de los productos y servicios. En correspondencia con lo anterior, se propone una metodología que identifica y permite cuantificar los costos de calidad de un laboratorio de ensayos físico-químicos, cuya aplicación se ilustra a través de un ejemplo.

Palabras clave: calidad, costos, laboratorio de ensayos, ICIDCA.

ABSTRACT

Costs characterization is one of the ways to increase enterprise efficiency. In such a sense, one of the most important is the costs quality. In present paper a methodology for the identification and quantitation is proposed in order to identify and quantify quality costs in a laboratory for physical-chemistry assay, as well as, an application example is presented and discussed.

Keywords: quality, costs, laboratory essay, ICIDCA.

INTRODUCCIÓN

En los momentos actuales, el entorno internacional se caracteriza por la existencia de una crisis estructural sistémica, en la cual coexisten las crisis económica, financiera, energética, alimentaria y ambiental, con mayor impacto en los países subdesarrollados.

Cuba, con una economía dependiente de sus relaciones económicas externas, no ha estado exenta de los impactos de dicha crisis, por lo que a partir de las actuales condiciones y del escenario internacional, debe actualizar su modelo económico y trazarse políticas cambiarias dirigidas a enfrentar los problemas de la economía, con el objetivo de garantizar el desarrollo económico del país.

Basado en esto, las organizaciones deben realizar un proceso de perfeccionamiento de los mecanismos de gestión que le permitan tomar decisiones oportunas con vistas a alcanzar sus objetivos estratégicos.

Todo lo antes expuesto conllevó a la decisión de la dirección del país de efectuar un análisis de las estructuras del sector empresarial y del Estado, proceso del cual se han derivado transformaciones, que se sintetizan en los Lineamientos Económicos del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, celebrado en el año 2010, donde uno de los pilares fundamentales es el autofinanciamiento de las empresas.

En correspondencia con lo anterior, la Dirección de Gestión de Calidad del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), estableció como parte de su estrategia la reducción de sus costos, lo cual requiere de permanente actualización, con énfasis en la determinación de los relativos al aseguramiento de la calidad de los servicios, que le permita cuantificar y comparar la eficiencia en la prestación de sus servicios.

Por otra parte, el ámbito empresarial contemporáneo utiliza como uno de los pilares de la administración y que en la actualidad constituye una estrategia diferenciadora, el Control de la Calidad (1), que también tiene influencia en los costos, dada la necesidad de controlar los recursos utilizados para obtener y mantener la calidad, o los invertidos por no tenerla o perderla.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados, el Laboratorio de Ensayos y Calibraciones de los Alimentos (Leycal) de la Dirección de Gestión de Calidad del ICIDCA acometió el análisis y la evaluación de sus costos de calidad y como resultado de este proceso se ha elaborado la metodología que se describe a continuación.

Evolución del concepto de calidad

Desde tiempos remotos el hombre ha tratado de controlar la calidad de los productos que produce. En la Edad Media, cuando el concepto de calidad se lograba haciendo las cosas bien independientemente del costo o esfuerzo empleado para ello, con la finalidad de la satisfacción del artesano, del cliente y de haber creado un producto único. En la década del 90 aparecen las normas ISO 9000, como parte del proceso de incorporación acelerada del concepto de calidad en las organizaciones empresariales (2,3), surge el concepto de mejora continua, que expresa las acciones emprendidas en toda organización para aumentar la eficiencia y eficacia de las actividades y los procesos, con el fin de aportar ventajas adicionales tanto para la organización como para sus clientes. La secuencia de estas acciones y la repetición de las mismas, se recoge en el ciclo Deming, el cual consta de cuatro fases o acciones estratégicas: planear, hacer, revisar y ajustar, como se observa en la figura 1 (4).

Este ciclo evolutivo permite comprender la necesidad de que todos los miembros de la organización estén involucrados en el proceso de mejora continua y permite comprender también por qué en la actualidad la calidad se ha convertido en un elemento clave para las organizaciones, no solo para mantenerse en el mercado sino para lograr su supervivencia.

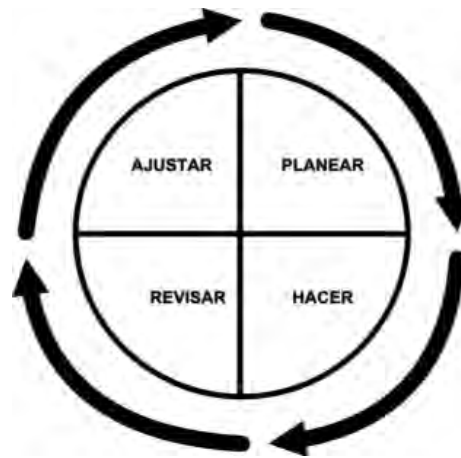


Figura 1. Ciclo Deming.

Costos de calidad

Se entiende como costos de calidad, aquellos incurridos en el diseño, implementación, operación y mantenimiento de los sistemas de calidad de una organización, así como los costos de productos y servicios frustrados o que han fracasado al no tener en el mercado el éxito que se esperaba y pueden representar alrededor del 30 % de los costos totales (5).

En el caso de los costos de calidad, pueden establecerse cuatro categorías para clasificar sus componentes (6): costos de prevención; costos de evaluación; costos de fallos internos y costos de fallos externos.

Los costos de prevención y evaluación son considerados como los costos de obtención de "la calidad", denominándose costos de conformidad y se consideran controlables debido a que la empresa puede decidir sobre su magnitud atendiendo a los objetivos que se trace.

Los costos de prevención son definidos como aquellos en que se incurre al intentar reducir o evitar las fallas, o sea, son costos de actividades que tratan de evitar la mala calidad de los productos o servicios.

Los costos de evaluación se refieren a aquellos que se producen al garantizar la identificación, antes de la entrega a los clientes, de los productos o servicios que no cumplen las normas de calidad establecidas.

Los costos de fallas internas y fallas externas se identifican como costos de la "no calidad" e incluyen el consumo de factores adicionales y los costos de oportunidad de los mismos.

Los costos de fallas internas están asociados a defectos y errores del producto o servicio, o no con-

formidad con los mismos, detectados antes de transferirlo al cliente y que, por tanto, este no percibe y no se siente perjudicado.

A diferencia de los anteriores costos, los relacionados con fallas externas, están vinculados con problemas que se encuentran después de enviado el producto o de haber brindado el servicio al cliente.

Para evaluar el comportamiento de cada costo de calidad, respecto a su costo total, se encontró en varias bibliografías consultadas que los autores definen diversos rangos de comportamiento, proponiéndose como proporción adecuada para el objeto de estudio, los rangos que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Intervalos de variación de los costos de calidad respecto a su costo total.

Costos totales de calidad	Valor máximo
Costos de prevención	10 %
Costos de evaluación	40 %
Fallas externas	25 %
Fallas internas	25 %

Metodología para la determinación de los costos de calidad

Para la realización de esta metodología se utilizó el ciclo Deming, comenzando por la "etapa revisar", a partir de un diagnóstico de la situación actual del laboratorio.

Etapa revisar

Esta etapa debe planificarse para un período de tiempo tal, que permita evaluar los resultados alcanzados para posteriormente, ajustar y volver a planear.

Paso 1. Análisis del comportamiento de los servicios prestados por el laboratorio en el período. Se resumen los servicios prestados durante el periodo y se comparan con los anteriores para analizar su comportamiento (variación).

Paso 2. Análisis de los resultados. A partir de los servicios prestados se determinan los costos reales y se evalúa su comportamiento teniendo en cuenta los costos planificados, lo cual permite la adopción de acciones correctivas que tributen a la búsqueda del mejoramiento continuo.

Paso 3. Evaluación del impacto de la capacitación en el desempeño de los trabajadores. Como parte de la evaluación del desempeño de los trabajadores se cuantifica el impacto de la capacitación realizada, mediante encuestas, entrevistas u otras modalidades.

Etapa ajustar

Concluida la revisión de los resultados, se pasa a la etapa de ajustar. En base al diagnóstico realizado en la etapa anterior se determinan los cambios a realizar, mediante el establecimiento de acciones correctivas y/o preventivas encaminadas a alcanzar un mayor control de los recursos, la disminución de las no conformidades (eliminando o disminuyendo las causas que ocasionan servicios defectuosos) y la reducción de los costos. Esta etapa consta de los pasos que se detallan seguidamente:

Paso 4. Determinación y actualización de los costos de calidad.

Paso 4.1. Identificación de los componentes de los costos de calidad aplicables al laboratorio.

Para determinar los costos de calidad dentro del costo total de los servicios del laboratorio, primeramente estos deben ser identificados y/o actualizados, lo que se realiza a partir del estudio del flujo del proceso del laboratorio, los sistemas de documentación, inspección y control establecidos y la interacción con la dirección del laboratorio.

Como costos de prevención, en el caso de un laboratorio de ensayos físico-químicos, se pueden señalar los siguientes:

- Entrenamiento y capacitación del personal en temas de calidad.
- Gastos de administración destinados a la mejora continua de calidad.
- Procesamiento y análisis de la información sobre el comportamiento de la calidad.
- Mantenimiento de equipos.
- Calibración y verificación de instrumentos y equipos.
- Salario del personal de dirección, destinados a la evaluación y puesta en práctica de acciones encaminadas a elevar la calidad.
- Auditorías al sistema de calidad y al desempeño de los técnicos.

En el caso de los costos de evaluación estos se corresponden con aquellos asociados a la evaluación de la calidad del servicio prestado, es decir, que este cumpla con los requisitos establecidos y abarca los relacionados a continuación:

- Verificación de los cálculos de los resultados emitidos por el laboratorio.
- Repetición de muestras como acción de control.
- Materiales consumidos en la actividad de inspección.
- Evaluación de los reactivos y el material almacenado.
- Estudios de satisfacción del cliente.

Los costos por fallas internas son aquellos en los que se incurre para identificar defectos antes de que el cliente reciba el servicio terminado y tiene las siguientes manifestaciones en el caso de estudio:

- Reinspecciones.
- Materiales desechados durante el proceso.
- Gastos por servicios no conforme.
- Análisis de fallas.

Finalmente se identifican los costos por fallas externas, que son aquellos en los que se incurre para solucionar defectos detectados por el cliente, que en este caso se asocian a la atención de quejas y reclamaciones de los clientes.

Paso 4.2. Establecer las responsabilidades

A partir de los resultados del paso anterior, la dirección analiza modificaciones en las responsabilidades correspondientes a cada trabajador, contenidas en el Manual de Calidad de forma tal que sean ajustadas a los resultados obtenidos de la aplicación de esta metodología.

Paso 4.3. Identificación y organización de la información.

Para la organización de la información deben tenerse en cuenta los aspectos siguientes:

- Diseño de los registros, procedimientos operacionales y flujo de la información para la determinación de los costos.
- Determinación de las personas que llevarán los registros primarios.
- Determinación de la frecuencia con que se analizarán los costos.
- Determinación de las personas responsables de calcular y analizar los costos.

Paso 4.4. Definición de las expresiones para el cálculo de los costos de calidad.

A partir de la clasificación de los costos y los

elementos que integran cada categoría, resulta indispensable establecer indicadores que permitan cuantificar el desempeño y la comparación entre períodos, para lo que se proponen las expresiones relacionadas en la tabla 2, destinadas a la evaluación del comportamiento de los costos de calidad referidos a los costos totales de los servicios.

Paso 4.5. Definir períodos de análisis

Se recomienda que el período de análisis del comportamiento de los costos se establezca en correspondencia con el período contable y de acuerdo a su naturaleza. Esto significa que los costos que sean posibles, se analizan mensualmente para facilitar el flujo de información, la fiabilidad de los datos, complementar el análisis de la gestión económica, y con ello facilitar la toma de decisiones oportunas para corregir o detectar cualquier desviación que se presente.

De igual forma se podrán comparar los resultados con igual período del año anterior.

Paso 4.6. Definir formas de recopilación y presentación de la información.

La información será obtenida a partir de los registros primarios de control, la observación y medición y a tales efectos se pueden crear registros específicos para facilitar el tratamiento de los datos que se requieren, respecto a los costos de la calidad y la presentación final de los resultados.

Paso 4.7. Presentación de los resultados.

La información debe facilitar su análisis e interpretación, por lo que se podrán emplear gráficos de barras para mostrar la relación entre dos o más variables o gráficos circulares con el objetivo de ofrecer las proporciones que ocupa cada tipo de costo en el costo total de calidad, permitiendo así interpretar las magnitudes absolutas de sus valores.

Tabla 2. Expresiones para la evaluación de los costos de calidad.

Costo	Expresiones de cálculo
Costos totales de calidad	$C = \frac{\text{Costos .Totales .de.Calidad}}{\text{Costos .de.los .Servicios}} * 100$
Costos por fallas internas	$C = \frac{\text{Costos.de.Fallas.Internas}}{\text{Costos.Totales.de.Calidad}} * 100$
Costos por fallas externas	$C = \frac{\text{Costos.de.Fallas.Externas}}{\text{Costos.Totales.de.Calidad}} * 100$
Costos de prevención	$C = \frac{\text{Costos.de.prevencción}}{\text{Costos.Totales.de.Calidad}} * 100$
Costos de evaluación	$C = \frac{\text{Costos.de.evaluación}}{\text{Costos.Totales.de.Calidad}} * 100$

Etapa planear

En esta etapa se definen las metas del nuevo ciclo, dirigido a reducir la brecha entre la realidad de los costos del proceso y la situación actual del laboratorio y consta de los pasos siguientes:

Paso 5. Bases para determinar los gastos que generará cada elemento.

Una vez definidas y clasificadas las actividades relacionadas con la calidad y que generan costos, se establecen los gastos en que se pudieran incurrir en cada una de estos componentes, tales como la utilización de la fuerza de trabajo, las materias primas e insumos y la depreciación de equipos.

Para esto se recopilarán algunos datos, como son: los gastos por la certificación del laboratorio, los gastos por la calibración de los equipos, el valor de la depreciación y el consumo de electricidad de los equipos, entre otros.

Etapa hacer

En esta etapa se procede a ejecutar el cambio, capacitando primeramente al personal y realizando una prueba con el objetivo de aumentar la motivación de los trabajadores por la implantación del sistema, evaluar el funcionamiento del nuevo ciclo y de esta forma garantizar la probabilidad del éxito y consta de los pasos que se detallan a continuación:

Paso 6. Planificación y prorrateo de los costos de calidad

Una vez identificadas las bases para determinar los costos de calidad, se procede a elaborar un presupuesto para este tipo de gastos, el cual debe abarcar el período de un año, teniendo en cuenta los resultados reales de períodos anteriores.

Para lograr este propósito debe realizarse desde dos enfoques diferentes: referir los costos de calidad como un porcentaje representativo del comportamiento en periodos anteriores, del costo de la cantidad de servicios planificado (escenario) sin incluir éstos, y prorratear aquellos que no pueden ser expresados directamente como un porcentaje de los restantes costos como es el caso de aquellos cuya base de cálculo es horaria, tales como el entrenamiento y capacitación del personal, el mantenimiento de equipos o aquellos que constituyen costos fijos como la calibración de equipos.

Tomando en cuenta estos aspectos, en la presente metodología se propone el siguiente procedimiento para el prorrateo de los costos de calidad que no pueden expresarse mediante una fracción del costo total de calidad.

Paso 6.1. Calcular los costos de calidad que no resulta posible expresar directamente como un porcentaje de los restantes costos (C_{ti}).

Paso 6.2. Determinar el costo unitario de cada uno de los ensayos que realiza el laboratorio (C_{ui}), excluyendo los costos que son de calidad (actualización de las fichas de costo).

Paso 6.3. Determinar la cantidad de análisis (n) que se pueden realizar en el laboratorio con vistas a obtener valores reales de los costos de los servicios, sin incluir los costos de calidad. Para esto se recomienda utilizar la técnica de análisis de escenarios, estableciéndose por criterios de expertos y el comportamiento histórico los posibles servicios a brindar en cada uno de los escenarios: bajo, medio y alto (C_{si}).

Paso 6.4. Determinar los costos totales de cada uno de los servicios, sin incluir los costos de calidad. (Costo unitario de cada servicio, C_{ui} * Análisis probables según escenario, C_{si}).

Paso 6.5. Definir como índice prorrateo k_i (%) para el servicio i -ésimo el valor obtenido a través de la expresión 1.

$$k_i = C_{ui} / \sum_{j=1}^n C_{sj} * C_{ui} \quad (1)$$

Paso 6.6. Asignar como costo de calidad al servicio i -ésimo (C_{ci}) el valor dado por la expresión 2.

$$C_{ci} = k_i * C_{tc} \quad (2)$$

Desde el punto de vista práctico, este cálculo tiene como inconveniente que el importe a incluir en la ficha de costo es correspondiente a un solo escenario y en la práctica existen tres importes en correspondencia con cada uno de los escenarios.

Para salvar este obstáculo, es posible calcular el promedio de los k_i (\bar{k}_i)

y la desviación estándar (σ) de esos tres valores y, si la diferencia entre los tres escenarios en términos del costo, es pequeña, resulta factible utilizar un único valor en las fichas de costo para cualquier escenario probable, sin que la discrepancia sea apreciable.

Bajo esas condiciones, la fórmula 2 puede ser sustituida por la 3.

$$C_{ci} = \bar{k}_i * C_{tc} \quad (3)$$

Paso 7. Realización de las acciones de capacitación

Se establecerá un plan de capacitación relativo a los costos de la calidad y temáticas asociadas, que abarque a los trabajadores desde la dirección hasta los niveles operativos.

Tabla 3. Costos que no se identifican como un porcentaje del costo total (C_{tc})

Elemento del costo	Expresión de cálculo ¹	Costo
Entrenamiento y capacitación del personal	$GC = (S_h + S_{hi}) * t + I$	4 229,90
Gasto de administración de calidad	$GAC = (S_{EC} + D + GEE) * t + I + OG$	2 358,68
Gasto de prevención de fallas	$GPF = (S_{EC} + GEE + D) * t + I + OG$	1 179,34
Mantenimiento de equipos	$GME = S_M * t + I + OG$	312,75
Gasto de calibración	$GCC = (S_M + GEE + D) * t + I + GSC + GT$	3 653,21
Salario del personal de dirección	$SPD = 0.2 * S_j$	1 834,78
Auditorías al sistema de calidad y al desempeño técnico	$GAS = S_{AI} * t + G_{ONARC}$	1 023,20
Estudios de satisfacción del cliente	$GEST = (S_{EC} + D + GEE) * t + I + OG$	157,24
TOTAL (C_{tc})	-----	14 749,10

1. El significado de los símbolos utilizados en las ecuaciones se muestra en el Anexo A.

Tabla 4. Escenarios probables

Actividad analítica	Escenarios probables por criterios de expertos (Csi)		
	Bajo	Medio	Alto
Servicio #1	350	400	450
Servicio #2	75	75	75
Servicio #3	100	135	170
Servicio #4	40	50	60
Servicio #5	60	60	60
Servicio #6	150	200	250
Servicio #7	30	30	30
Servicio #8	30	50	80

Resultados obtenidos aplicando la metodología propuesta

A continuación se desarrolla un ejercicio demostrativo de cómo realizar la planificación y el prorrateo de los costos de calidad para finalmente determinar el valor a incluir en la ficha de costo de cada servicio por este concepto.

Como primer aspecto, se procede a determinar el total de los costos de calidad que no se fijan directamente como un porcentaje de los restantes costos. Para ello se calculan cada uno de los gastos que conforman los mismos, teniendo en cuenta las bases para su estimación, lo que permite obtener el costo total de calidad (C_{tc}).

A continuación se obtuvo, de las fichas de costo existentes, el costo unitario de cada ensayo (C_{ui}), que no incluye el costo de calidad.

Una vez estimado el valor de C_{ui} se establecieron, a partir de los resultados históricos de la cantidad de análisis realizados en los últimos años y el criterio de expertos, los tres escenarios probables: bajo, medio y alto que se muestran en la tabla 4.

A partir de la proyección de servicios de cada uno de los escenarios, se determinaron los costos totales de cada escenario sin considerar los costos de calidad, C_{ui}^* , C_{si} y los valores de k_i y (\bar{k}_i) que se muestran en la tabla del Anexo B.

La desviación estándar del k_i entre los tres escenarios, es pequeña, como se aprecia en el Anexo B, por lo que es posible emplear un único valor en las fichas de costo, asignándole a cada análisis en las fichas de costo el producto C_{ci} por .

Una vez identificados y estimados los costos de calidad del laboratorio, resulta de interés estimar cuánto representan estos, respecto al costo total.

En la tabla 5 se muestra un resumen de los costos estimados en este trabajo, donde se aprecia que los costos de calidad se encuentran entre 28 y 35 %, respecto a los costos totales, según el escenario considerado, lo cual está en correspondencia con el 30 % del costo total del servicio.

Por otra parte, al calcular los indicadores propuestos en la tabla 2 del paso 4.4 de la metodología, para determinar cuánto representa cada componente del costo sobre el costo total de calidad, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 6, donde se aprecia que los costos de prevención constituyen más del 50 % del total de los

Tabla 5. Resumen de los costos de calidad estimados en este trabajo

Concepto de costo	Costo de los escenarios		
	Bajo	Medio	Alto
Total de los costos sin costos de calidad	\$ 46 701,75	\$ 56 608,40	\$ 66 917,25
Total costos de calidad	24 606,99	25 810,24	27 067,94
Costos de prevención	14 591,86	14 591,86	14,591,86
- Entrenamiento y capacitación del personal	4 229,90	4 229,90	4 229,90
- Gasto de administración de calidad	2 358,68	2 358,68	2 358,68
- Gasto de prevención de fallas	1 179,34	1 179,34	1 179,34
- Mantenimiento de equipos	312,75	312,75	312,75
- Gasto de calibración	3 653,21	3 653,21	3 653,21
- Salario del personal de dirección	1 834,78	1 834,78	1 834,78
- Auditorías al sistema de calidad	1 023,20	1 023,20	1 023,20
Costos de evaluación	9 203,56	10 192,90	11 232,66
- Verificación cálculo de los resultados	373,32	505,92	648,72
- Repetibilidad de las muestras	2 482,20	3 338,94	4 235,90
- Repetibilidad al inicio del periodo (30 muestras)	6 190,80	6 190,80	6 190,80
- Estudios de satisfacción del cliente	157,24	157,24	157,24
Costos de fallas internas	811,57	1,025,48	1,243,42
- Materiales desechados	344,55	459,40	574,25
- Gasto por servicio no conforme	467,02	566,08	669,17
Costo total	71 308,74	82 418,64	93 985,19
Costos de calidad como % del costo total	34,51 %	31,32 %	28,80 %

Tabla 6. Cálculos de los indicadores

Componentes de los costos de calidad	Escenarios		
	Bajo	Medio	Alto
Costos de prevención	59,30 %	56,54 %	53,91 %
Costos de evaluación	37,40 %	39,49 %	41,50 %
Costos de fallos internos	3,30 %	3,97 %	4,59 %

costos de calidad, valor que se encuentra muy por encima del por ciento considerado adecuado en la literatura especializada como se indica en la tabla 1 (10 %). Este resultado constituye un alerta para el laboratorio, que debe esclarecer las causas de este comportamiento.

En relación con los costos de evaluación, estos constituyen alrededor del 40 % del total de los costos de calidad, estando dentro del rango considerado por la literatura especializada y las fallas internas representan menos del 5 % del total de costos de calidad, comportándose por debajo del por ciento considerado normal.

En el caso de las fallas externas, no se estima

este indicador por solo haberse identificado una de este tipo en un período de cinco años.

Por otra parte, si se evalúa el escenario medio, el cual es representativo de cualquiera de los tres, por no existir grandes diferencias entre ellos, se observa (figura 2) que los costos de conformidad (prevención más evaluación) son superiores a los costos de no conformidad (fallos internos y externos) en relación a los costos totales de calidad, representando el 96 % de los mismos, lo que demuestra que la empresa está orientada a elevar la calidad de sus servicios y algo muy importante, la dirección reconoce que la calidad es una herramienta muy útil para la administración, por lo que emplea la mayor parte de sus costos en acciones de prevención y evaluación, lo que le ha permitido reducir las no conformidades.

Al analizar los elementos que conforman los costos de prevención, se puede observar que los más significativos son: entrenamiento y capacitación del personal, gastos de administración de calidad y gastos de calibración, lo que representa

■ Costos de Prevención ■ Costos de Evaluación ■ Costos de Fallos Internos

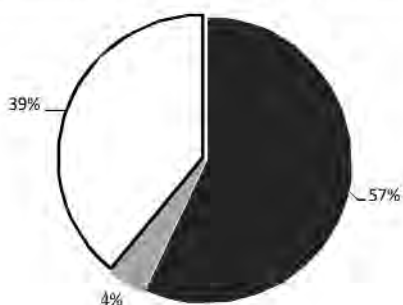


Figura 2. Comparación de los componentes sobre el costo total de la calidad.

el 70 % de este costo. Se debe realizar un estudio de los dos primeros con el objetivo de reevaluar los mismos y evitar que incidan negativamente en este costo, no así en los gastos de calibración ya que constituyen un costo fijo.

No obstante, las acciones que se adopten deben tender a disminuir progresivamente la magnitud absoluta de los costos, manteniendo los indicadores de calidad, eficiencia y eficacia del laboratorio.

CONCLUSIONES

Como conclusiones de este trabajo puede señalarse que la metodología propuesta a partir del

Ciclo Deming, permite incorporar en las fichas los valores de los costos de calidad en que incurre un laboratorio de determinaciones físico-químicas, así como conocer el comportamiento, proyectado y real de éstos, con vistas a adoptar las acciones que correspondan para minimizarlos y mantener un bajo índice de no conformidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ishikawa, K. ¿Qué es el Control Total de Calidad? La modalidad Japonesa, Edición Revolucionaria, La Habana, 1988.
2. International Standard Organization. Sistema de Gestión de la Calidad. Fundamentos y vocabulario. NC-ISO 9000:2005, Inglaterra: ISO, 2005.
3. International Standard Organization. Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos. ISO 9001:2008, Inglaterra: ISO, 2008.
4. Ciclo Deming, <http://www.monografias.com/trabajos13/genecal/genecal.shtml>, 17-4-12
5. Comunicación personal, Curso de Incertidumbre, Organización Escandinava NMKL, Cátedra azucarera, Universidad de La Habana, 2010.
6. López Rodríguez, Miriam, Los costos y el control total de la calidad, www.monografias.com, 17-4-12.

Anexo A. Relación de símbolos utilizados en las expresiones

D	Depreciación de equipos a utilizar.
GEE	Gasto de energía eléctrica para la realización de una actividad.
G_{ONARC}	Gasto asociados a las auditorías de la ONARC.
GSC	Gasto del servicio de calibración.
GT	Gasto de transportación.
I	Insumos requeridos.
OG	Otros gastos asociados.
S_{AI}	Tarifa horaria del auditor interno.
S_{EC}	Tarifa horaria del trabajador con la función de especialista de calidad.
S_j	Salario del Jefe del laboratorio.
S_h	Tarifa horaria del personal que se capacita.
S_{hi}	Tarifa horaria del instructor.
S_M	Tarifa horaria del metrólogo.
t	Duración de la actividad.

Anexo B. Cálculo del costo de los escenarios, k_i , \bar{k}_i y C_{ci} sin los costos de calidad.

Ensayos*	Cui	Costos de los escenarios			ki			\bar{k}_i	Cci
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto		
Servicio #1	\$ 15,47	\$ 5414,50	\$ 6188,00	\$ 6961,50	0,03 %	0,03 %	0,02 %	0,03 %	\$ 4,02
Servicio #2	9,47	710,25	710,25	710,25	0,02 %	0,02 %	0,01 %	0,02 %	2,46
Servicio #3	10,85	1085,00	1464,75	1844,50	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	2,82
Servicio #4	18,60	744,00	930,00	1116,00	0,04 %	0,03 %	0,03 %	0,03 %	4,84
Servicio #5	232,10	13926,00	13926,00	13926,00	0,48 %	0,40 %	0,33 %	0,40 %	60,35
Servicio #6,1	18,36	2754,00	3672,00	4590,00	0,04 %	0,03 %	0,03 %	0,03 %	4,77
Servicio #6,2	11,34	1701,00	2268,00	2835,00	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	2,95
Servicio #6,3	5,42	813,00	1084,00	1355,00	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	1,41
Servicio #6,4	19,84	2976,00	3968,00	4960,00	0,04 %	0,03 %	0,03 %	0,03 %	5,16
Servicio #6,5	12,55	1882,50	2510,00	3137,50	0,03 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	3,26
Servicio #6,6	11,38	1707,00	2276,00	2845,00	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	2,96
Servicio #6,7	16,49	2473,50	3298,00	4122,50	0,03 %	0,03 %	0,02 %	0,03 %	4,29
Servicio #6,8	10,35	1552,50	2070,00	2587,50	0,02 %	0,02 %	0,01 %	0,02 %	2,69
Servicio #6,9	17,82	2673,00	3564,00	4455,00	0,04 %	0,03 %	0,03 %	0,03 %	4,63
Servicio #6,10	17,77	2665,50	3554,00	4442,50	0,04 %	0,03 %	0,03 %	0,03 %	4,62
Servicio #6,11	13,94	2091,00	2788,00	3485,00	0,03 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	3,62
Servicio #7	10,88	326,40	326,40	326,40	0,02 %	0,02 %	0,02 %	0,02 %	2,83
Servicio #8,1	9,00	270,00	450,00	720,00	0,02 %	0,02 %	0,01 %	0,02 %	2,34
Servicio #8,2	2,61	78,30	130,50	208,80	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	1,15
Servicio #8,3	2,61	78,30	130,50	208,80	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	1,27

EDITORIAL ICIDCA le ofrece

- *Venta de más de 30 títulos sobre industria azucarera y sus derivados*
- *Venta y suscripción de la revista Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*



● Servicios de edición

Para más información:

ICIDCA

Vía Blanca 804 y Carretera Central,
S.M.P. La Habana, Cuba

E. mail: revista@icidca.edu.cu

Teléfonos: 698-3000

698-3008 ext. 210 o 211

Comportamiento de algunos parámetros del azúcar crudo en el quinquenio 2006-2010. Parte I

Roberto J. Rodríguez-Mambuca, Julián Rodríguez-López,
Jesús Mesa-Oramas, Fernando Fernández-Álvarez,
Alejandra Sánchez-Herrera

Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Carretera de Boyeros a la CUJAE, km 2 ½. Boyeros. La Habana. Cuba.
roberto.rmambuca@icinaz.minaz.cu

RESUMEN

Se muestra el comportamiento de los parámetros de calidad del azúcar crudo estándar durante el quinquenio 2006-2010 para las 13 provincias azucareras del país, teniendo en cuenta los resultados promedios de los análisis efectuados en el Laboratorio de Ensayo y calibración de los alimentos (Leycal), a las muestras de certificación enviadas por las diferentes empresas azucareras, escogiéndose para este primer trabajo los siguientes índices de calidad: humedad, pol, color Horne, color fotocolorimétrico y azúcares reductores.

Palabras clave: calidad, comportamiento, parámetros, azúcar crudo.

ABSTRACT

This paper shows the behaviour of the main quality parameters of the standard quality raw sugar for the five-year period 2006-2010 taking into account the 13 sugar -producing provinces in our country. Quality indices chosen for the first part of this work were: moisture, pol, Horne Index. Photo colorimetric colour and reducing sugars sent to the Leycal sugar lab by the different provincial sugar enterprises.

Keywords: quality, behaviour, parameter, raw sugar.

INTRODUCCIÓN

Desde el cuatrienio 2007-2010, los precios de los azúcares en el mercado internacional se han mantenido altos. Esto ha traído como consecuencia un incremento en los estudios, lo mismo de la parte agrícola que de la parte industrial, con el objetivo de obtener azúcares que cumpla con las especificaciones internacionales, para mantener un alto nivel de competitividad (1).

En correspondencia con lo antes señalado, como parte de la Política de Calidad del MINAZ, se creó el laboratorio de ensayo y calibración de los alimentos (LEYCAL), centro de referencia, que tiene dentro de los servicios que oferta la caracterización de los azúcares producidos en el país, según los requisitos de calidad de la norma de especificaciones (2) para azúcar crudo y la correspondiente para azúcares blancos (3).

Como resultado de este sostenido trabajo, hoy día se encuentran disponibles en el Leycal los datos correspondientes a los ensayos realizados durante el quinquenio 2006-2010 al azúcar crudo producido, cuyo análisis permite caracterizar la calidad del producto, así como las etapas que hay que mejorar en el proceso para cumplir con los requisitos de las normas de especificaciones.

Tomando en cuenta los aspectos señalados, se acometió el presente trabajo cuyo objetivo es brindar información acerca del comportamiento de diferentes parámetros, utilizados como indicadores de la calidad del azúcar crudo, en el caso de las muestras recibidas, durante el quinquenio 2006-2010, así como comparar las tendencias de esos índices en las diferentes provincias del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aspectos generales

Dado el carácter nacional del LEYCAL, se estableció un procedimiento que permite regularizar la entrega de las muestras por parte de los productores. Este consiste, en recibir anualmente como mínimo, tres muestras de cada empresa azucarera, una mensual para aquellas fábricas que trabajen más de 90 días de zafra y una trisemanal para las que trabajen menos de 90 días (mínimo de cuatro para aquellas que laboren más de 100 días).

A las muestras recibidas, se les da entrada en un registro habilitado para el efecto, las cuales reciben una clave, conformada por tres grupos de tres caracteres (dígitos y letras) cada uno separados por un guión: los tres primeros destinados a definir la zafra; un segundo conjunto que identifica al cliente y un tercer número de tres dígitos, correspondiente al orden de recepción de las mismas.

Una vez recibidas y registradas, las muestras son entregadas sucesivamente a los analistas para la realización de las once determinaciones establecidas (pol, humedad, color fotocolorimétrico, color Horne, almidón, dextrana, reductores, insolubles, tamaño de grano, ceniza y partículas ferromagnéticas), de acuerdo con los procedimientos de trabajo establecido en el Sistema de Gestión de la Calidad del LEYCAL, (4).

Aunque todos son importantes, se escogieron para esta primera parte, la humedad, la pol y el color por fotocolorimetría, que se encuentran entre los más relevantes, así como el color Horne y azúcares reductores, por la importancia que le dedican algunos refinadores de azúcar crudo. Igualmente debe significarse, que durante el quinquenio 2006-2010, fueron analizadas más de 1000 muestras correspondientes a las diferentes empresas azucareras que trabajaron durante este período.

A continuación se describen las características de los métodos utilizados para cada uno de los ensayos antes mencionados, así como una breve presentación de los factores que influyen en su degradación.

Índices: características y factores que influyen en el valor

Humedad

El método utilizado para su determinación fue el de humedad libre, que se basa en la desecación de la muestra a temperatura regulada, controlando estrictamente las condiciones de enfriamiento y su posterior determinación gravimétrica de la masa experimentada, (5).

Pol

La técnica aplicada fue la conocida como método de la masa normal, que consiste en pesar 26.0000 g en 100.00 ml de solución, (7) y que se corresponde con la determinación del pol en azúcar crudo (8) que es un método catalogado como oficial por la ICUMSA.

Color fotocolorimétrico

El método se desarrolla según la norma cubana (9), que se corresponde con la determinación fotocolorimétrica de color en una solución de azúcar crudo (10), que es un método catalogado como oficial por la ICUMSA.

Color Horne

El color Horne representa una determinación alternativa al método anterior el cual se detalla en C14 (11), que se basa en la comparación visual de la solución de ensayo con una escala de colores preparada por dilución de una solución de caramelo utilizada como referencia.

Azúcares reductores

La norma que rige este parámetro, es una norma ramal, la cual es de un máximo de 0,30 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aspectos generales

Humedad

La humedad, parámetro muy importante, (a menor humedad, mayor pol y viceversa). Esta favorece el desarrollo microbiológico y el deterioro químico, (13). En las muestras recibidas, la humedad de los azúcares no representó problema, pues la norma vigente, fija valores menor o igual que el 0,25 %.

En cuanto a los factores que incrementan el valor de la humedad en azúcar crudo pueden señalarse la mala calidad de la materia prima (6), el exceso de viscosidad en las masas, tamaño inadecuado del grano y trabajo deficiente en la centrifuga.

Como se observa en la figura 1, la norma fue cumplida por todas las provincias excepto Granma y Las Tunas que no cumplieron en el año 2007, destacándose las provincias de Pinar del Río, La Habana y Villa Clara. En términos generales, la mayoría de las provincias están por debajo del 0,20 %.

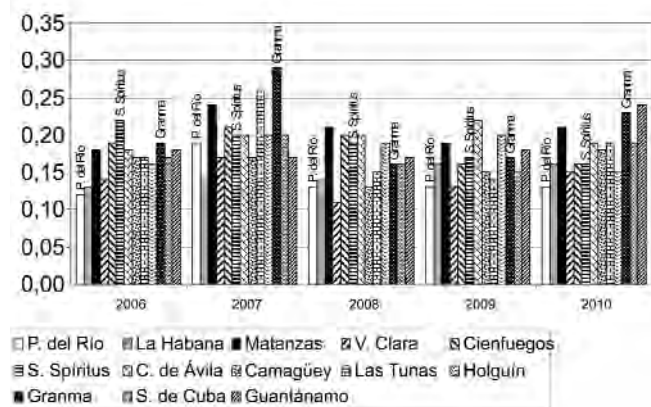


Figura 1. Humedad determinada por el Leycal durante el período 2006-2010.

Pol

Este parámetro es uno de los más importantes para determinar la calidad de los azúcares y su comportamiento se muestra en la figura 2.

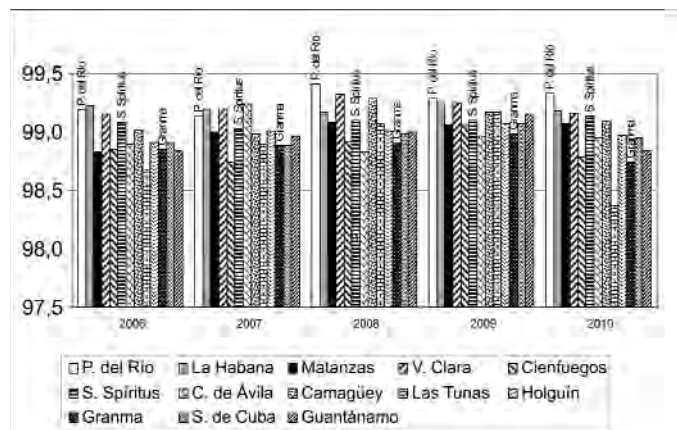


Figura 2. Pol durante los años 2006-2010.

En la práctica, esta magnitud se ve afectada por deficiencias agrícolas e industriales tales como: exceso de materia extraña; corte fuera de fecha y molido de caña atrasada.

Al analizar el gráfico, se observa que Las Tunas incumplió en el 2006, Cienfuegos en el 2007 y Las Tunas y Granma en el 2010. Sobresalieron en este

indicador por este orden: Pinar del Río, La Habana, Villa Clara, Sancti Spiritus y Camagüey. La norma vigente en este ciclo es 98,80 °Z.

Color fotocolorimétrico

El color de los azúcares, define su calidad para ser refinada. Varios autores (15, 16) tratan ampliamente lo relacionado con el color en los azúcares crudos, el cual puede ser caracterizado a través de la determinación de color fotocolorimétrico según la norma (9) y cuyo comportamiento por provincias, se muestra en la figura 3, La norma vigente hasta ahora es de 2000 UCI, sólo fue incumplida por la provincia Las Tunas, la que mejoró mucho a partir del año 2007. Durante el período los más destacados fueron: Pinar del Río, La Habana y Villa Clara.

Según se observa en el gráfico, todas las provincias cumplieron la norma. En este parámetro se destacaron en este orden: Pinar del Río, Villa Clara, Santiago de Cuba, La Habana, Camagüey y Matanzas.

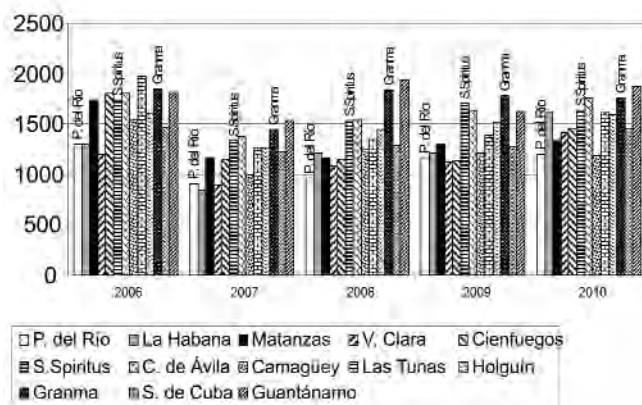


Figura 3. El color fotocolorimétrico durante el quinquenio 2006-2010.

Color Horne

Todas las provincias fueron cumplidoras de la norma (20 UCH), además se puede notar una mejora notable a partir del año 2008. Las provincias punteras en este indicador fueron Pinar del Río, La Habana y Villa Clara.

Azúcares reductores

Se observa que la mayoría de las provincias, a partir del año 2006, fueron cumplidoras.

Las provincias incumplidoras fueron: Matanzas en el 2006, Cienfuegos, Camagüey y Santiago de Cuba en el 2007, Cienfuegos, Granma y Santiago de Cuba en el 2008, Cienfuegos en el 2009 y en el 2010 Matanzas, Cienfuegos, Holguín, Granma y Santiago de Cuba.

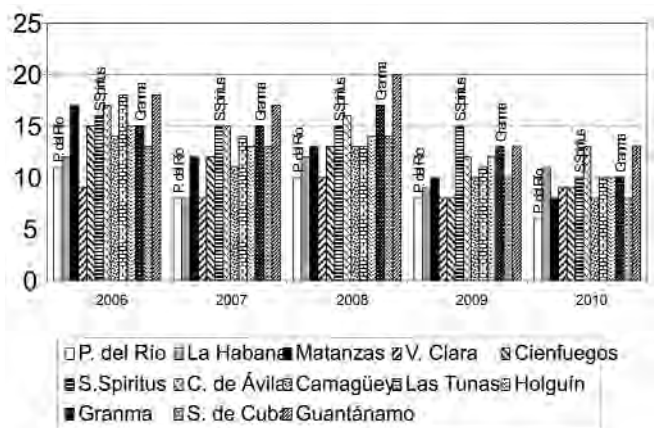


Figura 4. Color Horne obtenido en el período 2006-2010.

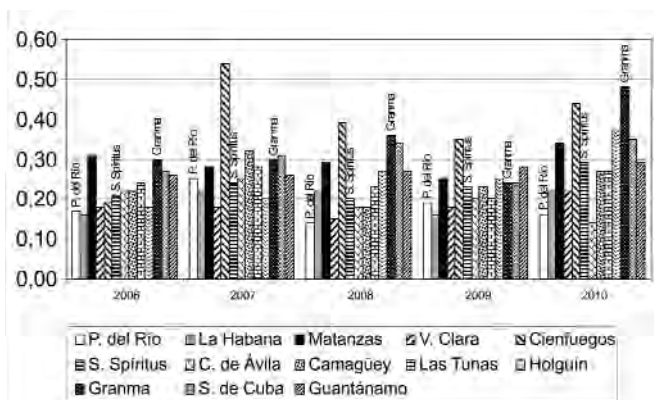


Figura 5. Valores de azúcares reductores detectados en el período 2006-2010.

Pinar del Río y Villa Clara, fueron las más destacadas.

Para la determinación de los azúcares reductores se emplea un método que se basa en la propiedad que posee el cobre II acomplejado, de oxidar a los azúcares reductores en un medio alcalino (12).

- La provincia de Cienfuegos presentó problemas con los reductores durante el ciclo.
- Las provincias de Pinar del Río, La Habana y Villa Clara, resultaron destacadas en varios años del período en diferentes indicadores.
- Los parámetros humedad, pol, color fotocolorimétrico y color Horne en general, no presentan problemas.
- El 2010 puede caracterizarse prácticamente por un deterioro en el indicador de azúcares reductores.

CONCLUSIONES

1. En general se experimenta una mejora a partir del período 2007- 2009, apreciando un ligero deterioro en la zafra 2010.
2. Durante el período analizado, los resultados obtenidos evidencian que no existió ninguna provincia con una tendencia desfavorable sostenida.
3. Las provincias de Pinar del Río, La Habana, Villa Clara y Holguín resultan destacadas en uno o más años del periodo en uno o varios indicadores.

Tabla 1. Resumen de los resultados obtenidos en los ensayos seleccionados por las provincias

Ensayo	Incumplidoras	Período	Destacadas
Humedad	Las Tunas, Granma	2007	Pinar del Río, La Habana y Villa Clara
Pol	Las Tunas	2006	Pinar del Río, La Habana Villa Clara y Sancti Spiritus
	Cienfuegos	2007	
	Las Tunas	2010	
Color fotocolorimétrico	Las Tunas	2007	Pinar del Río, La Habana y Villa Clara
Color Horne			Pinar del Río, La Habana y Villa Clara
Azúcares reductores	Matanzas	2006	Pinar del Río, La Habana, Villa Clara y Holguín
	Cienfuegos, Camagüey y Stgo. de Cuba	2007	Villa Clara y Holguín
	Cienfuegos, Granma y Stgo. de Cuba	2008	Pinar del Río, Villa Clara y Camagüey
	Cienfuegos	2009	Pinar del Río, La Habana y Villa Clara
	Matanzas, Cienfuegos, Holguín, Granma y Stgo. de Cuba	2010	Pinar del Río y Ciego de Ávila

4. Los parámetros presentados en el trabajo, fueron cumplidos según las normas vigentes.
5. El incumplimiento de las recomendaciones indicadas no implica necesariamente no poder alcanzar azúcares de calidad, sino que para alcanzarlos, se requerirá de un mayor esfuerzo y de un incremento en los costos de fabricación.

RECOMENDACIONES

El incumplimiento de las especificaciones de calidad, tanto en la esfera agrícola como industrial (2), es uno de los factores que afecta el cumplimiento de las normas de especificaciones establecidas para las características del azúcar crudo, por lo cual se debe poner énfasis en el control de la materia prima y la disciplina tecnológica en el proceso fabril.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Casanova, E.; Salerno, M. Evaluación de algunos mercados y proveedores por su calidad. ATAC. 62(2) p.7, 2001.
2. Azúcar de Caña - Especificaciones. NC 85: 2006.

3. Azúcares Blancos - Especificaciones. NC 377: 2006.
4. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y/o calibración. NC ISO/IEC 17025:2005.
5. Determinación de la humedad en azúcar crudo. Método gravimétrico. NC 81:2000.
6. Rein, P. Cane Sugar Engineering Verlag Dr Albert Bartens KG- Berlin 2007 p. 494.
7. Determinación de pol en azúcar crudo. Método polarimétrico. NC 83:2000
8. ICUMSA, Methods Book. Method GS1/2/3-1. Polarisation of Raw Sugar.
9. Determinación del color en una solución de azúcar crudo. Método fotocolorimétrico. NC 82:2000.
10. ICUMSA, Methods Book. Method GS1-7. Raw Sugar Solution Colour.
11. Pérez, F.H.; Fernández, F. Métodos analíticos para azúcar crudo. La Habana, Cuba. Publicaciones Azucareras., p. 88, 2006
12. Pérez, F.H.; Fernández, F. Métodos analíticos para azúcar crudo. La Habana, Cuba. Publicaciones Azucareras. p. 94, 2006,
13. Monterde J.; Ruso, R.; Fajardo, R. Estudio del deterioro de azúcares almacenadas a granel. Memorias 38 Conf. ATAC, pp. 126-140, 1968.

.....



Análisis de alternativas de mejora para la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos

Berlan Rodríguez-Pérez¹, Ana Margarita Contreras-Moya², Elena Rosa-Domínguez²

1. Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Cienfuegos, Carretera a Rodas, Cuatro Caminos, Cienfuegos, Cuba
brguez@ucf.edu.cu

2. Centro de Estudios de Química Aplicada, Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara. CP 54830, Villa Clara, Cuba

RESUMEN

La presente investigación, tiene como objetivo analizar la producción de azúcar en las tres empresas azucareras de Cienfuegos, para cuantificar los impactos ambientales con un enfoque holístico. Se utilizaron técnicas de recopilación de información tales como: la entrevista personal, la revisión bibliográfica, la tormenta de ideas y el trabajo en equipo, que sirven de apoyo para la utilización de mapas de proceso, diagrama de flujo, Análisis del Ciclo de Vida y análisis económico. Se tomó como referencia la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que aparece en la serie de normas NC ISO 14040, y se complementó con métodos de evaluación del impacto ambiental. A partir del desarrollo de las fases del procedimiento aplicado: definición de alcances y objetivos, análisis de inventario, evaluación de impacto ambiental y análisis de mejora; se lograron identificar y cuantificar los principales impactos que genera el ciclo de vida del azúcar, y analizar como variante de mejora la implementación del riego por goteo, indicando su factibilidad ambiental y económica.

Palabras clave: Análisis de ciclo de vida, producción de azúcar, riego por goteo.

ABSTRACT

Present research has as main objective the analysis of sugar production in all three sugar enterprises in Cienfuegos province aiming the quantitation with a holistic approach. Collecting techniques as: personal interview, bibliographic studies, brainstorming and team work were used in this work as a support for applying of process maps, flow diagrams, Life Cycle Analysis as well as economical analysis. Life Cycle Analysis (LCA) methodology was taken as reference according to the version that appears in NC ISO 14040 series complemented by selected environmental impact methods. From the development of applied steps: reach definition and objectives, analysis of stocks, environmental impact assessment and improvement analysis, the main impacts created by sugar life cycle were identified and quantitated and at the same time the improvement of the implementation of drip system pointing out its environmental and economical feasibility.

LCA results showed high impacts in some categories motivated by the technology of those production systems. With the application of the drip irrigation system, the herbicides can be reduced in 50 %, fertilizers in 30 % and fuel consumption in 70 %.

Keywords: Life Cycle Assessment, sugar farming and production, drip irrigation system.

INTRODUCCIÓN

Se puede asegurar, que producto de la acción humana, se está modificando la composición química (relacionada con la contaminación del aire) y física (relacionada con el clima) de nuestra atmósfera, introduciendo transformaciones que pueden variar el clima actual, no sólo en el ámbito local sino también a escala global. Estas modificaciones se reflejan, además, en el rápido deterioro de los materiales y en afectaciones de diverso grado al medio ambiente y a la salud humana (1).

La industria azucarera en Cuba, es una de las que provoca mayor impacto negativo sobre el medio ambiente, ya que en ella confluyen las emisiones de gases de efecto invernadero, de residuales con una alta demanda química y bioquímica de oxígeno, así como una alta incidencia sobre el suelo, dado por los métodos de producción y cosecha de la caña (2). Así pues, para evaluar medioambientalmente al sector se requiere: reconocer, cuantificar y calificar tanto los recursos utilizados como las emisiones generadas en las diferentes etapas del proceso productivo.

Tradicionalmente esta industria en Cuba ha tenido la función de producir azúcar y rones, generar electricidad y fabricar papel, utilizando el bagazo como materia prima (2). La industria papelera asociada a la producción de azúcar, estuvo muy deprimida en la década de 1990-1999, y actualmente están enfocadas a reciclar el papel (3).

El reconocimiento de la caña de azúcar como una fuente eficiente de biocombustibles (4) ha marcado un creciente interés por el tema. Algunos estudios han visto la caña de azúcar como un sistema de productos que puede ser mejorado y se han enfocado en buscar alternativas (3, 5-8); otros lo han comparado con sistemas de productos empleados para el mismo fin (9).

En particular la obtención de etanol se ha analizado a partir de la producción directa desde el jugo de la caña de azúcar (10-13) y las melazas (14; 15).

La producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos está concentrada en tres empresas azucareras: Antonio Sánchez, 14 de julio y 5 de septiembre. En ellas no se evalúa el impacto ambiental de la producción de azúcar con un enfoque holístico, que considera todos los componentes involucrados desde el cultivo de la caña hasta la elaboración y uso del producto final.

En cada fase del ciclo de vida del azúcar están identificados los problemas ambientales como el consumo de más de 1 151 739,51 litros de diesel para las labores de cultivo, la generación de 139 943,47 metros cúbicos de residuales líquidos, con un alto grado de Demanda Biológica de Oxígeno

(DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y acidez, así como la emisión de 76 866,32 toneladas de bagacillo. Contando con un rendimiento del suelo igual a 36,2 t/ha, y un potencial de 80 t/ha.

Según la situación expuesta surge el siguiente problema de investigación: ¿Cómo realizar la identificación y cuantificación de los principales impactos generados en el ciclo de vida del azúcar, así como una propuesta de mejora ambiental, en la provincia de Cienfuegos?

El presente estudio de análisis de ciclo de vida tiene como objetivo principal comparar posibles mejoras ambientales en los procesos de producción de las empresas azucareras de la provincia de Cienfuegos, para lo que se establecen los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un inventario del ciclo de vida del azúcar en las empresas azucareras de la provincia de Cienfuegos.
2. Evaluar y cuantificar los impactos medioambientales de la elaboración de azúcar a lo largo de todo su ciclo de vida.
3. Valorar variantes de mejora para reducir los impactos ambientales asociados a cada fase del proceso estudiado.

El alcance del estudio abarca las fases de preparación de tierras y cultivo, hasta la obtención de azúcar destinada al consumo nacional y exportación. Los principales clientes nacionales son las provincias centrales y el mercado internacional lo conforman China y Europa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta investigación, se utiliza el procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), según las normas NC-ISO 14 040 a la 43. El ACV es un proceso en el que se reconocen 4 etapas:

- Definición del objetivo y alcance.
- Análisis del inventario del ciclo de vida.
- Evaluación del impacto del ciclo de vida.
- Análisis de mejoras.

En la figura 1 se ilustran las conexiones entre estos cuatro pasos y se puede reconocer que se trata de un proceso iterativo, el cual permite incrementar el nivel de detalle en sucesivas iteraciones.

Unidad funcional

La unidad funcional del sistema analizado se define como la fabricación de 1 tonelada de azúcar. Para cada proceso unitario se define una unidad funcional específica:

- Fase agrícola, cultivo de la caña de azúcar: 1 tonelada de caña de azúcar.

- Fase industrial, producción de azúcar: 1 tonelada de azúcar.

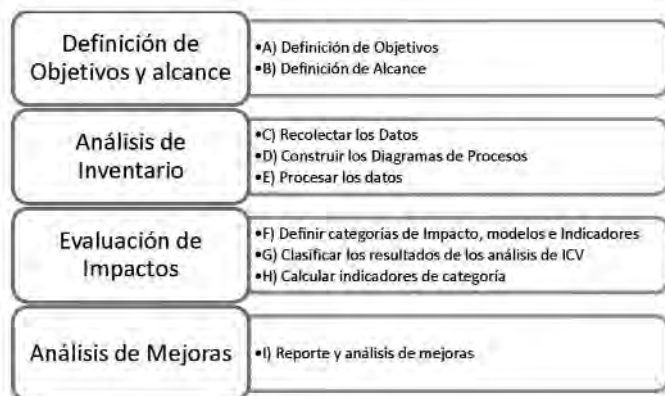


Figura 1. Etapas de la metodología ACV según NC-ISO 14041.

Definición de los límites del sistema

Los límites del sistema están definidos según los objetivos planteados.

Límites geográficos: el Análisis de Ciclo de Vida consumado se limita a la elaboración de azúcar en las empresas Antonio Sánchez, 14 de Julio y 5 de Septiembre, ubicadas en los municipios Aguada de Pasajeros, Abreus y Rodas pertenecientes a la provincia de Cienfuegos.

Límites temporales: el horizonte temporal considerado es desde el año 2006 hasta 2009, para los inventarios.

Etapas excluidas del análisis: Para este estudio quedan excluidas: las cargas ambientales relativas a la fabricación y mantenimiento de las maquinarias e infraestructuras necesarias para el cultivo de la caña de azúcar, los vehículos de transporte, la producción de fertilizantes y herbicidas, y las implicaciones de circulación, distribución y consumo del producto final.

Se ha incluido el suelo productivo hasta la profundidad del nivel freático al considerarlo parte del sistema productivo y parte del medio ambiente.

Calidad de los datos

Los datos han sido recogidos de instalaciones productivas específicas vinculadas a los procesos. Se han seleccionado los procesos cuya contribución a los flujos de masa y energía se espera que sean importantes y cuyas emisiones sean relevantes para el medio ambiente. Estos procesos son los incluidos en el cultivo de la caña y en la elaboración de azúcar. Para ello se han solicitado datos a las siguientes entidades: la Empresa azucarera "Antonio Sánchez", en Aguada de Pasajeros, la Empresa azucarera "14 de Julio" en Abreus, la Empresa azucarera "5 de Septiembre" en Rodas, el

Grupo de Extensión y Servicio Agrícola (GESA) en Cienfuegos y la Dirección provincial del Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ) en Cienfuegos. El presente estudio de ACV se ha realizado utilizando una herramienta informática comercial denominada SimaPro 7.1, desarrollada por Pre Consultants para el Análisis de Ciclo de Vida que estudia y compara los aspectos medioambientales de un producto, de una manera sistemática, siguiendo las recomendaciones de las normas ISO serie 14 040. Se utilizan bases de datos publicadas y disponibles en la herramienta informática SimaPro 7.1, para los procesos más comunes como combustibles y productos químicos. Las bases de datos usadas son:

- Ecoinvent unit process
- ETH-ESU 96
- IDEMAT 2001

Análisis del inventario

Recolección de datos

En el proceso de recolección de los datos necesarios para la investigación se procedió primeramente a describir cada uno de los procesos involucrados en el ciclo de vida del azúcar.

Descripción del proceso de cultivo de la caña

El cultivo de la caña de azúcar es la etapa inicial de suma importancia, en esta intervienen parámetros que se deben cumplir según se recomienda por el Instituto de Investigación del Cultivo de la Caña (INICA) y los respectivos Servicios de Recomendaciones para lograr un alto rendimiento de la caña. A continuación se describe cualitativa y cuantitativamente el proceso.

1. Preparación de suelos

Tiene por objetivo fundamental formar el lecho adecuado para la siembra, eliminar las malezas y crear condiciones para el posterior desarrollo de la plantación. Sus características se determinan en función del relieve, el clima, los suelos, las propiedades físicas, químicas y los principales factores limitantes. Las operaciones fundamentales son: descepe o descorone, rotura, cruce, recruce y subsolado; mullido y eliminación de brotes de malezas; y surcado. Actualmente, la gran mayoría de las áreas a plantar se preparan con técnicas de laboreo mínimo, el cual debe incluir la aplicación de glifosato, según recomienda el Servicio de Recomendaciones del Control Integral de Malezas (SERCIM). La cantidad anual promedio aplicada de glifosato en la provincia es la siguiente: 25389,6 L en Antonio Sánchez, 24608,7 L en 14 de Julio y 30176,5 L en 5 de Septiembre.

2. Plantación

En las condiciones climatológicas de Cuba nace el 40 % de las yemas que se plantan, por tanto el método más utilizado es triple trozo, punta con punta, es decir a surco corrido y a 1,60 m entre ellos, alcanzando entre 10 - 11 t/ha de semilla. Las actividades que se realizan son:

- corte, despajo, selección, transportación y pique de la semilla.
- fertilizar el fondo del surco con fósforo y potasio.
- plantar la semilla en el surco (la semilla debe tener de 45 - 60 cm de largo).
- tape y retape de las estacas plantadas.

Existen muchas variedades de semillas, creadas para buscar un mayor rendimiento de la caña de azúcar, de acuerdo a las condiciones del terreno donde se van a plantar. Específicamente en la provincia, las principales variedades que se plantan son C86-12 con un 38,9 % y C 323- 68 con un 23,1 %, siendo estas las recomendadas por el Servicio de Recomendaciones de Variedades y Semillas (SERVAS), ocupando un total de 8463,21 ha en Antonio Sánchez, 8202,91 ha en 14 de Julio y 10058,83 ha en 5 de Septiembre. Actualmente, el 92 % de las variedades en producción son cubanas y solo el 8 % de ellas proceden del extranjero. La plantación se realiza de forma manual y se divide en dos etapas: primavera (1ro de enero hasta el 30 de junio) y frío (1ro de julio hasta el 31 de diciembre).

3. Control de malezas

Esta operación se realiza con el fin de eliminar todas las malezas o malas hierbas que dañan la planta e impiden su desarrollo y crecimiento. Para dicha labor se aplican distintos herbicidas, de acuerdo al tipo de maleza y al estado de la planta, que son probados con anterioridad por el Instituto de Sanidad Vegetal y el Instituto de Investigación de la Caña (INICA), para determinar la cantidad necesaria que debe ser utilizada para eliminar las malezas, sin dañar el medio ambiente.

4. Aplicación de fertilizantes

La caña de azúcar, como toda especie vegetal, requiere un conjunto de nutrientes para su desarrollo y crecimiento, cuyas necesidades varían cuantitativamente, ya que algunos elementos que se consumen en cantidades muy pequeñas son también indispensables para el desarrollo de las plantaciones. En la fertilización se pueden utilizar fertilizantes de origen mineral y orgánico.

5. Corte y cosecha

El sistema de cosecha empleado presenta dos vías principales de suministro de caña a la fábrica: el corte por máquina combinada y su envío directo

a la fábrica y el corte manual o de combinada y su envío a los centros de limpieza en seco y después a la fábrica. En ambos casos no se realiza una separación total de estos residuos, denominándose como materias extrañas aquellas que llegan al central. En el desarrollo de ambos casos se utilizan como equipos el KTP-2M o Case y el John Deere.

Descripción del proceso de producción de azúcar

1. Recepción de la caña

La caña que llega del campo se muestrea para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente o se dispone directamente en las mesas de lavado de la caña para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras.

2. Picado de la caña.

Las picadoras son unos ejes colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giratorias que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño más uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.

3. Molienda

La caña preparada por las picadoras llega a los molinos, constituidos cada uno de ellos por dos o tres mazas metálicas y mediante presión se extrae el jugo de la caña. Cada molino está equipado con una turbina de alta presión. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua de imbibición, generalmente caliente, para extraer al máximo la cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. Este proceso de extracción es llamado maceración.

4. Clarificación/Purificación

La clarificación del jugo se da por sedimentación; por lo que el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Este jugo sobrante se envía a los evaporadores y la cachaza sedimentada, que todavía contiene sacarosa, pasa a un proceso de filtración antes de verterse al campo para el mejoramiento de suelos con deficiencia de materia orgánica. Para el desarrollo de este proceso se adiciona lechada de cal (CaO) en una proporción de 0,7 kg/t de caña, lo que eleva el pH, minimiza las posibles pérdidas de sacarosa y ayuda a precipitar impurezas orgánicas o inorgánicas en el jugo. Como resultado de este proceso se obtiene la cachaza, un 2,75 % del total de caña molida y jugo purificado.

5. Evaporación

Se comienza a evaporar el agua del jugo que se recibe en los evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles entre 10 y 12 % y se obtiene una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 55 al 60 %. En el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o la meladura. Se utilizan evaporadores de múltiples efectos al vacío, que consisten en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. La meladura es purificada en un clarificador. La operación es similar a la anterior para clarificar el jugo filtrado.

6. Cristalización

La cristalización se realiza en los tachos, recipientes al vacío de un solo efecto con la adición de Cristal 600. El material resultante, que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar), se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr la mayor concentración de sacarosa.

7. Centrifugación

La masa pasa por las centrífugas (máquinas giratorias en las cuales los cristales se separan del licor madre), por medio de una masa centrífuga aplicada a tambores rotatorios que contienen mallas interiores. La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de dos cristalizaciones sucesivas se obtiene una miel final (melaza) que se retira del proceso y se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes. Para la determinación de todas las entradas y salidas a cada operación del proceso es necesario realizar un balance de masa.

Construcción de los diagramas de procesos

Con la información expuesta anteriormente se está en condiciones de elaborar el inventario del proceso de elaboración de azúcar (ver tabla 1), en el que se recogen todas las materias primas, el uso de la energía, el combustible y las salidas o emisiones de cada uno de los procesos que intervienen en el ciclo de vida estudiado.

La descripción de las operaciones que se llevan a cabo en cada proceso: cultivo de la caña y producción de azúcar, sirven de base para diagramar dichos procesos, los cuales muestran, de forma gráfica, toda la información abordada hasta ahora. En la figura 2 se representa el ciclo de vida del azúcar tomado para este estudio, indicándose cada una de las fases del mismo. La figura 3 muestra, el

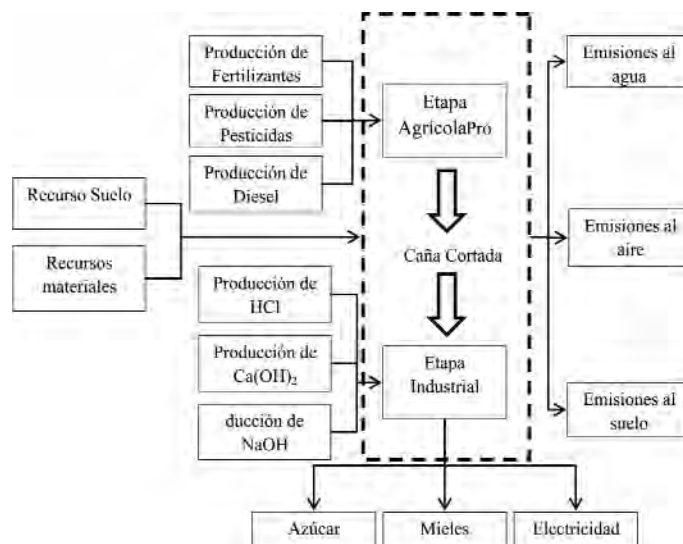


Figura 2. Representación del ciclo de vida del azúcar tomado para este estudio.

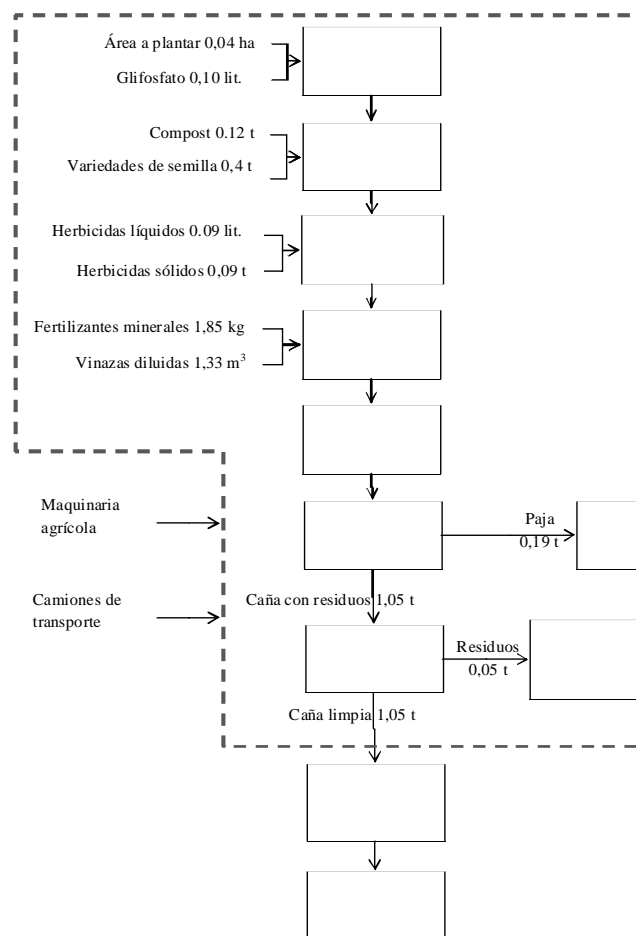


Figura 3. Proceso del cultivo de la caña de azúcar.

proceso del cultivo de la caña de azúcar, mientras que en la 4 es posible observar, de forma esque-

Tabla 1. Inventario de Ciclo de Vida de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos.

Producto	UM	Media	Producto	UM	Media
Ametrina	kg	13 362,47	Agua de imbibición	m ³	58 549,40
Amigan	kg	53 449,93	Azúcar de caña	t	25 226,33
Amoniaco (NH ₃)	kg	179 500,00	Azúcar de caña (refino)	kg	480,60
Asulam	l	44 541,45	Bagacillo	t	76 866,32
Cloruro de potasio (KCL)	kg	476 130,0	Bagazo	t	88 555,67
Compost	t	2 928,57	Cachaza	t	8 367,33
Diesel	l	1 151 739,51	Caña de azúcar	t	240 315,0
Diurón	kg	53 449,93	Demanda Biológica de Oxígeno DBO	kg	905,43
Envoke	kg	356,33	Demanda Química de Oxígeno DQO	kg	1 998,39
Esterol	l	17 816,63	Dióxido de carbono	t	11 512,24
Finale	l	13 362,47	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	g	351,26
Glifosato	l	26 724,93	Energía aportada	kW	1 682 205
Hexazinona	l	13 362,47	Energía consumida	kW	7 449 765
Merlin	kg	3 563,33	Etanol de caña	kg	6 336,61
MSMA	l	26 724,93	Ión amonio (NH ₄)	g	159,54
Nitrato de amonio	kg	753 366,67	Melaza (miel final)	t	8 566,33
Sal de amina	l	17 816,63	Óxido de calcio (CaO)	kg	156 204,75
Semilla de caña	t	93 537,33	Residuales líquidos	m ³	1 204,50
Suelo	ha	8 908,32	Residuos sólidos	t	57 288,72
Superfosfato triple (SPT)	kg	273 766,67	Vapor de biomasa	t	177,11
Urea	kg	556 833,33			
Vinazas diluidas	m ³	272.697,0			

mática y detallada, la elaboración de azúcar según se realiza en las empresas azucareras. Cada uno de estos procesos están enfocados a la obtención de una tonelada de producto final: caña de azúcar, azúcar; además están definidos los límites del sistema, según la etapa del alcance del estudio.

Procesar los datos

Con toda la información necesaria para el estudio y el cumplimiento de los objetivos planteados se procede a incluir los datos en el software SimaPro 7.1, con el cual se procesan los datos para evaluar el impacto ambiental de la producción de azúcar y luego valorar variantes de mejora ambiental.

Evaluación del impacto

A criterio de los autores del presente trabajo, el método Eco-Speed (16) para la evaluación del impacto de ciclo de vida es el más adecuado para este estudio por las siguientes razones:

1. Está confeccionado para el contexto cubano.
2. Incluye la categoría de impacto uso del agua y la categoría de daño contaminación de la tierra.
3. Aplica técnicas de estimación para el cumplimiento de las categorías de impacto, incluyendo

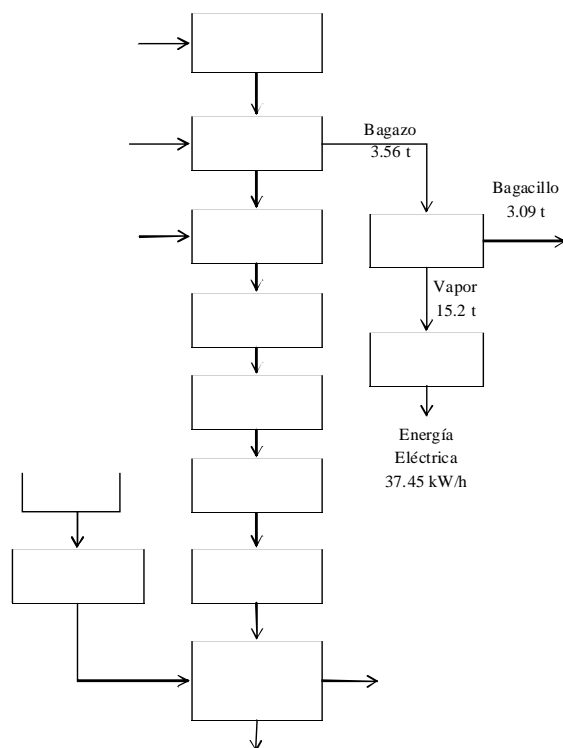


Figura 4. Elaboración de azúcar en las empresas azucareras estudiadas.

do en ellas la mayor cantidad posible de sustancias que afectan el medio ambiente.

Un análisis detallado con el método seleccionado (Eco-Speed), permite determinar cuáles son las categorías de impacto más significativas en el estudio: Land Use, Global Warming, Non Carcinogenic (air), para esto se utiliza un gráfico de Pareto, como se puede observar en la figura 5.

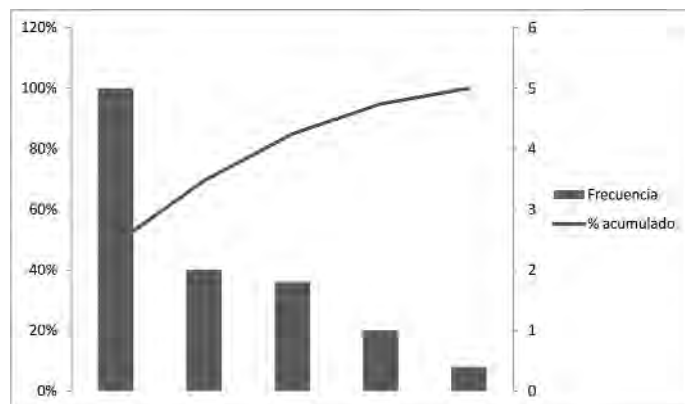


Figura 5. Gráfico de Pareto para las categorías de impacto más influyentes.

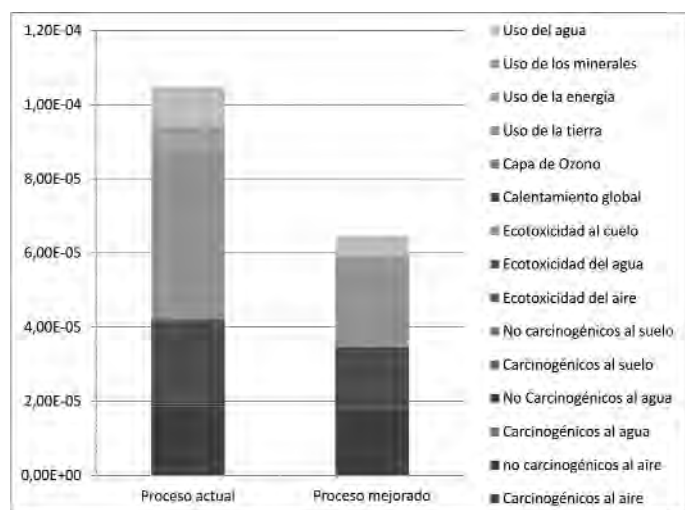


Figura 6. Comparación ambiental con ACV del proceso actual y la propuesta.

Análisis de mejoras

Según los resultados obtenidos las mejoras deben estar encaminadas al incremento de la productividad de los suelos y la disminución del uso de combustibles fósiles, causantes principales del elevado impacto en la categoría de calentamiento global.

Variante de mejora

Esta variante de solución consiste en implementar el sistema de riego por goteo para lograr la

máxima eficiencia en el aprovechamiento del agua y los suelos que se emplean actualmente en el cultivo de la caña. Esta tecnología de avanzada posee la capacidad de adaptación a todo tipo de superficies y desniveles, en su relieve natural, sin inversión en la nivelación y transporte de tierras, por lo que se incrementa notablemente la producción y la calidad de los productos. El impacto directo de esta medida, se manifiesta en la disminución de los fitosanitarios y abonos.

En el riego por goteo, la utilización de abonos tradicionales en superficie es casi ineficaz, así los sistemas de goteo mezclan el abono líquido o pesticidas en el agua de riego, lo que facilita el control del aporte de nutriente, sin pérdidas por lixiviación y con posibilidad de modificarlos en cualquier momento del cultivo (fertirriego). La implantación de esta medida permite una reducción en un 50 % del consumo de herbicidas líquidos (80174,8 L) y sólidos (37924,6 kg) con un ahorro por el importe de \$ 1 143 465,312. Por concepto de fertilizantes se ahorra un 30 % que equivale a 671 879 kg, implicando un ahorro \$ 186 995,5; y una disminución del consumo anual de combustible; en lo que se refiere al transporte para el riego de estos fertilizantes, representa una reducción del 70 %, que equivale a 178 423,047 L y un costo de \$ 102 843,0443.

También se requiere un menor número de obreros para las labores de cultivo. En la actualidad un obrero atiende dos hectáreas y con la nueva propuesta es suficiente uno para 24 hectáreas. El impacto sobre el índice de consumo de agua que tiene esta medida implica una reducción de entre 40 y 60 %, en comparación con otros sistemas de riego, permite la utilización de aguas de baja calidad (aguas residuales), en épocas consideradas inservibles para estos fines, ya que evita que se dispersen gotas con posibles patógenos en el aire.

En la figura 6 se puede apreciar la comparación entre el proceso actual y la propuesta de mejora, destacándose que el empleo del riego por goteo disminuye significativamente el impacto, la respiración de inorgánicos, la energía y el agua.

Para mejorar el análisis de los resultados, teniendo en cuenta que el estudio se llevó a cabo en un conjunto de centrales azucareros, es importante efectuar un análisis de incertidumbre para comparar los sistemas, ya que se tienen datos probabilísticos de los mismos. Se emplea, para este fin, el método de Montecarlo; el cual consiste en simular la ocurrencia de los procesos, teniendo en cuenta las funciones de probabilidad proporcionadas por el análisis de los datos. Para la simulación se emplea la hipótesis de comparación de que el proceso actual es de mayor impacto que el proceso mejorado.

Tabla 2. Resultados del método de simulación de Montecarlo

Categoría de impacto	A >= B	Mediana	Promedio	DS	CV (Coeficiente de variación)	2,50 %
Uso de la tierra	100 %	0,00058	0,00058	0,00011	19 %	0,000361
Calentamiento global	92 %	0,00735	0,00705	0,00497	70,50 %	-0,00336
Uso de la energía	78 %	0,00426	0,00395	0,00544	138 %	-0,00745
Uso del agua	66,30 %	0,00774	0,0067	0,0184	274 %	-0,0309
Ecotoxicidad (aire)	61,80 %	2,48E-06	2,59E-06	1,00E-05	387 %	-1,69E-05
Ecotoxicidad (agua)	57,30 %	4,26E-06	2,83E-06	2,64E-05	934 %	-5,17E-05
Carcinogénicos (agua)	55,40 %	7,12E-12	4,64E-12	5,53E-11	1,19E+01	-1,11E-10
Ecotoxicidad (suelo)	54,80 %	4,99E-08	2,47E-08	4,24E-07	1,72E+01	-8,43E-07
Uso de minerales	53,60 %	8,14E-08	4,68E-08	9,40E-07	2,01E+01	-1,92E-06
Carcinogénicos (aire)	52,70 %	7,29E-11	2,06E-11	9,97E-10	4,85E+01	-2,06E-09
Capa de ozono	51,60 %	6,88E-10	-6,20E-11	1,55E-08	-2,49E+02	-3,18E-08
No carcinogénicos (aire)	51 %	1,92E-09	5,33E-09	8,05E-08	1,51E+01	-1,41E-07
No carcinogénicos (suelo)	49 %	-9,69E-14	-2,73E-13	4,20E-12	-1,54E+01	-9,07E-12
Carcinogénicos (suelo)	49 %	-1,63E-17	-4,20E-17	6,36E-16	-1,51E+01	-1,38E-15
No carcinogénicos (agua)	39,60 %	-1,81E-11	-3,12E-11	9,84E-11	-315 %	-2,57E-10

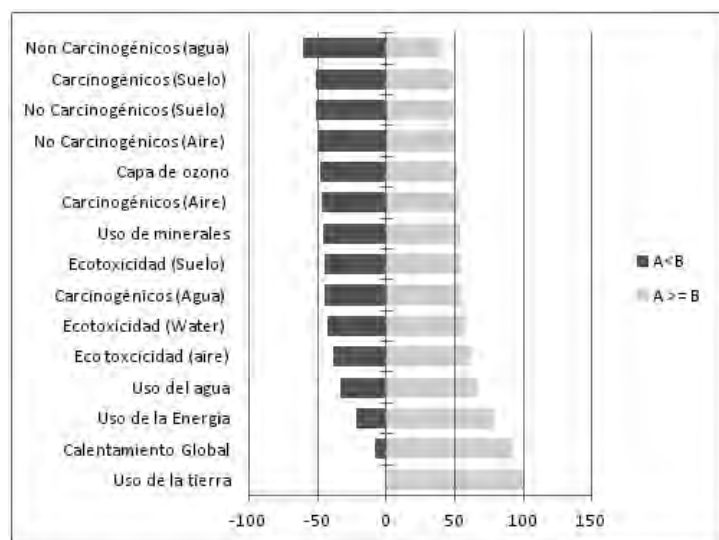


Figura 7. Resultados por categorías de impacto de la simulación de Montecarlo para la comparación de alternativas.

En la simulación realizada, se calcula un kilogramo de azúcar con el proceso actual menos un kilogramo de azúcar con el proceso mejorado, por lo que si los valores que se obtienen son cero o cercanos a este, no habrá evidencias de que el proceso actual sea más contaminante que el mejorado. En la aplicación se demuestra que por el contrario, el método actual resulta más contaminante que el mejorado, como puede verse en la tabla 2 y las figuras 7 y 8, utilizando un intervalo de confian-

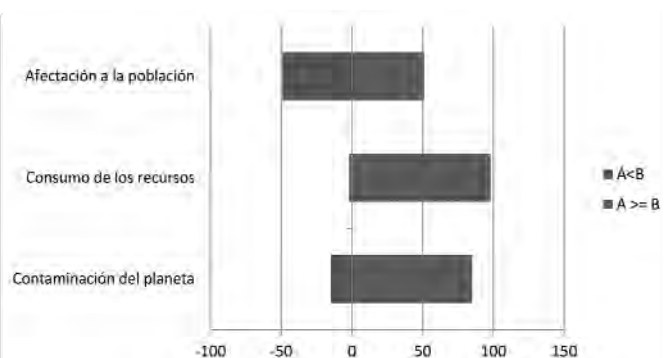


Figura 8. Resultados por categorías de daño de la simulación de Montecarlo para la comparación de alternativas.

za del 95 %. Para este estudio se utilizó un factor de corte de 0,005 el que se logró después de 1784 corridas. Se muestran los resultados de las distribuciones de probabilidad estimadas para la comparación A-B, siendo A, el proceso actual y B el mejorado, es oportuno destacar que los valores cercanos a cero, representan que no existen diferencias entre el proceso A y el B, los valores mayores que cero indican que el proceso A es más impactante que el B y los valores menores que cero indican que el proceso B es más impactante que A.

El impacto ambiental que tendrá el nuevo proceso se estima en menos de la mitad del que tiene el proceso actual. Estos impactos se representan en el gráfico por el tamaño de las barras, las oscuras indican la probabilidad de ocurrencia de que el

proceso actual sea menos impactante que el mejorado y las claras, la probabilidad de que el proceso actual sea más impactante que el mejorado, por lo que se considera factible desde el punto de vista ambiental.

Impacto económico

Todo este análisis fue realizado sin dejar de valorar que la desventaja más considerable del sistema de riego por goteo es el costo elevado de la instalación. Se necesita una gran inversión debido a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego y la casi necesidad de un sistema de control automatizado (electro-válvulas); sin embargo, el aumento relativo del costo con respecto a un sistema convencional no es prohibitivo.

Como lo demuestran los resultados de la valoración económica con la aplicación de esta variante de solución, la inversión neta para la implementación del sistema de riego por goteo, en un área de prueba de 120 hectáreas, asciende a \$ 264 000 y se obtiene una productividad del suelo de 120 toneladas de caña por hectárea, que es cinco veces más que las 24 toneladas de caña por hectárea que es el rendimiento actual de las mismas tierras. Además se debe conocer el comportamiento del dinero en el tiempo, para determinar las verdaderas ganancias del proyecto, por lo que se necesitan aplicar técnicas que demuestren la factibilidad de la propuesta. Así entonces se determina el Valor Actual Neto (VAN) para los flujos de caja proyectados en todos los años de evaluación del proyecto, además de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y se calcula el Período de Recuperación de la Inversión (PRI).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No existen reportes, hasta el momento, de estudios comparativos del impacto ambiental del ciclo de vida de la producción de azúcar con métodos de riego y sin ellos, como se presenta en este trabajo; sin embargo, son diversos los autores que plantean los beneficios de la aplicación del sistema de riego que se propone, entre otros se puede señalar el estudio de Bianchini *et al.* (17) quienes señalan que con el uso de este sistema de riego se crean las posibilidades para incrementar los rendimientos agrícolas a 35 t/ha. Considerar la explotación de diez máquinas en 997,8 ha podría aumentar la producción de azúcar en 3492,3 toneladas para un beneficio total de 558 406 USD.

En otro estudio realizado por García *et al.* (18), se plantea que el rendimiento máximo llegó a 224,34 t/ha, para un incremento con relación a las

áreas no beneficiadas con el goteo de 150,04 t/ha y el rendimiento mensual alcanzó valores de 11,81 t/ha. Además se muestra un valor de 1189,91 USD/ha anuales de ahorro, un 34 % superior a lo que se puede lograr con los métodos convencionales de riego.

Además en el contexto internacional otros autores como White *et al.* (19) obtuvieron que la producción de caña con la aplicación de 1955 mm de agua de riego por goteo es la más alta con 180,0 t/ha. De acuerdo con esto, la eficiencia en el uso del agua fue de 92,0 y 35,2 kg/ha-mm, respectivamente. No hubo diferencia en la productividad entre el tratamiento donde el fertilizante fue aplicado a través del suelo y el riego por goteo (164,8 t/ha) en comparación cuando se aplicó por fértil-riego (168,3 t/ha).

En cuanto al aspecto económico en general, varios estudios plantean una media de más de 900 \$/ha, además coinciden en que se han alcanzando rendimientos del orden de más de 150 t/ha.

CONCLUSIONES

1. Se determina, a partir de un análisis de datos históricos para el cultivo de la caña desde el año 2005, que existe un aumento en el consumo de combustible diesel y una disminución del rendimiento del área cultivada; y se identifican otras fuentes de contaminación ambiental en el ciclo de vida del azúcar.
2. La evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del azúcar detectó que las categorías de impacto más afectadas son el uso del suelo, el calentamiento global, y la respiración de inorgánicos.
3. La comparación del proceso actual con respecto a la implementación de una propuesta de un sistema de riego por goteo, comprueba que existe una disminución en un 50 % del consumo de herbicidas líquidos y sólidos, un 30 % de fertilizantes y un 70 % del consumo de combustibles, lo que significa un ahorro de \$ 1 433 303,8 al año para las 120 hectáreas donde se realizó la prueba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IPCC (2003). Chapter 6.12 Global warming potentials. IPCC third assessment report-climate change 2001. International panel on climate change.
2. Contreras, A.M. (2009). Comparative life cycle assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production .J Cleaner Prod 17(8):772-779.

3. Vargas, O.R. Estimación del impacto ambiental del cultivo de caña de azúcar utilizando la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV). 2003. Available at: <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rv12-11.pdf?ri=04762ea47793540e110b58c864a51968>. [Consultado enero 2009].
4. Miller, S.A.; Landis, A.E.; Theis, T.L. (2007). Environmental trade-offs of bio based production. *Environ Sci Technol* 41(15):5176-5182.
5. Beeharry, R.P. (2001). Carbon balance of sugar cane bioenergy systems. *Biomass Bioenergy* 20:361-370.
6. Kadam, K.L. (2002). Environmental benefits on a life cycle basis of using bagasse-derived ethanol as a gasoline oxygenate in India. *EnergyPolicy*, 30:371-384.
7. Botha, T.; von Blottnitz, H. (2006). A comparison of the environmental benefits of bagasse-derived electricity and fuel ethanol on a life-cycle basis. *Energy Policy* 34:2654-2666.
8. Macedo, I.C.; Seabra, J.E.; Silva, J. (2008). Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugar cane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass Bioenergy* 32(7):582-595.
9. Smeets, E.M.; Bouwmanw, L.F.; Stehfest, E. (2009). Contribution of N₂O to the greenhouse gas balance of first-generation biofuels. *Glob Chang Biol* 15(1):1-23.
10. Wang, M.; Wu, M.; Huo, H. (2008). Life-cycle energy use and greenhouse gas emission implications of Brazilian sugarcane ethanol simulated with the GREET model. *Int Sugar J* 110 (1317):527-545.
11. Luo, L.; van der Voet, E.; Huppes, G. (2009). Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugar cane in Brazil. *Renew Sustain Energy Rev* 13(6-7):1613-1619.
12. Ometto, A.R.; Hauschild, M.Z.; Roma, W.N.L. (2009). Life cycle assessment of fuel ethanol from sugar cane in Brazil. *Int J Life Cycle Assess* 14(3):236-247.
13. Hoefnagels, R.; Smeets, E.; Faaij, A. (2010). Greenhouse gas footprints of different biofuel production systems. *Renew Sustain Energy Rev* 14(7):1661-1694.
14. Nguyen, T.L.T.; Gheewala, S.H. (2008). Life cycle assessment of fuel ethanol from cane molasses in Thailand. *Int J Life Cycle Assess* 13(4):301-311.
15. Silalertruksa, T., Gheewala, S.H. (2009). Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand. *Energy* 34 (11):1933-1946.
16. Rodríguez, B.; Rosa, E.; Contreras, A.M. (2011). Eco-Speed: Life Cycle Assessment Methodology for Latin-American Countries. International Conference on Life Cycle Assessment, Coatzacoalcas, México.
17. Bianchini, A.; Magalhães, P.S.G.; Braunbeck, O. (2001). Cultivo do solo em área de cana-de-açúcar. *Revista STAB (Piracicaba)* 19:6-8.
18. García, H.R.; Peña, A.C.; López, R. A. (2009). Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y la productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de panela: tercer Informe de Avance del proyecto", CORPOICA, Bogotá-Colombia.
19. White, W.H.; Tew, T.L.; Richard, E.P. Jr. (2006). Association of sugarcane pith, rind hardness, and fiber with resistance to the sugarcane borer. *J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.* 26, 87-100.

Un centro moderno al servicio del medio ambiente



**Centro Nacional de Gestión
de Medio Ambiente
de la Industria Azucarera**



Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*

María Bernarda Ruilova Cueva¹, Aldo Hernández Monzón²

1. Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador
bernardaruilova@gmail.com

2. Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de La Habana.
CP 13 600, La Habana, Cuba

RESUMEN

Se caracterizaron los residuos agrícolas de la provincia de Bolívar, Ecuador, desde el punto de vista de su composición físico-química para su empleo en el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*. Los residuos agrícolas utilizados fueron: maíz, trigo, cebada, lenteja, bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz. Se realizaron análisis de: humedad, cenizas, extracto etéreo, proteína, fibra, extracto libre de nitrógeno, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, lignina, celulosa, hemicelulosa y minerales. Los residuos presentaron valores de humedad entre 9,12 y 13,91 %, después de dos meses de almacenamiento. Por su naturaleza leñosa son ricos en fibra, celulosa, lignina y hemicelulosa. El contenido de carbono fluctuó entre 50,12 y 56,55 %, y es la fuente directa de energía para su metabolismo. El contenido de nitrógeno fue variable 0,38-1,29 %. Se cultivó el hongo en los sustratos analizados y en la producción obtenida se valoró la eficiencia biológica y proteína. Se obtuvo en la mayoría de los casos una relación directa entre el contenido de nitrógeno con la eficiencia biológica y la proteína en el hongo.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus*, maíz, lentejas, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz.

ABSTRACT

The present paper has as its objective the physical and chemical characterization of agricultural wastes from Bolivar Province, Ecuador, to be used in the culture of *Pleurotus ostreatus* mushroom. The residues used were: corn, wheat, barley, lentils, sugarcane bagasse and rice husks. The analysis were moisture, ash, crude fat, protein, fiber, nitrogen free extract, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, lignin, cellulose, hemicellulose and minerals. The waste presented humidity values between 9.12 and 13.91%, after two months of storage. All residues are rich in fiber, cellulose, lignin and hemicellulose. Carbon content varied from 50.12 to 56.55%, and it is the direct source of energy for metabolism. Nitrogen content varied from 0.38 to 1.29%. The fungus was grown in all substrates and the production obtained was assessed in connection with biological efficiency and protein content. In the majority of cases a direct relationship between protein content and biological efficiency was found.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, corn, lentils, sugar cane bagasse, rice husk.

INTRODUCCIÓN

Mundialmente cada año se generan grandes cantidades de residuos de las cosechas agrícolas, esta biomasa residual se utiliza de diferentes maneras según el país y región; se estima que el 80 % de los residuos agrícolas de los países en vías de desarrollo son quemados, apenas el 15 % sirve como alimento para animales, el 4,5 % se reincorpora al suelo sin haberse realizado una descomposición previa y el restante 0,5 % se usa como materia prima en industrias como la papelería, aglomerados, etc. (1).

Es práctica común, en países en vías de desarrollo, quemar los residuos agrícolas que generan grandes cantidades de emisiones gaseosas como: monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno y otros óxidos que contaminan la atmósfera y que contribuyen al efecto invernadero.

A estos residuos agrícolas lignocelulósicos se les puede dar valor agregado mediante producciones más limpias a través del cultivo de hongos, considerados alimentos inocuos al no requerir de productos químicos para su cultivo y crecimiento. En la actualidad la biotecnología se ha convertido en una verdadera alternativa para la producción de alimentos, como es el caso de los hongos para el consumo humano, por la posibilidad de poder obtener grandes cantidades en pequeñas áreas, en cortos períodos de tiempo, mediante técnicas sencillas y a bajo costo, empleando como sustrato para su cultivo, residuos agroindustriales que son considerados desechos. Su eficiencia de conversión en proteína por unidad de área y de tiempo es muy superior, comparado con las fuentes de proteína animal (bovinos, peces y pollos) (2).

El hongo *Pleurotus ostreatus*, conocido también como el hongo ostra, gírgola, setas, orellanas, orejón, constituye una magnífica fuente de proteínas por contener hasta 35 %, este dato es significativo si se compara con el contenido en el arroz (7 %), en el trigo (13,2 %) y en la leche (25,2 %), todos expresados en peso seco. La humedad de los hongos es alta, en general se considera alrededor del 90 % (proteína 3,5 a 4 % de su peso fresco). Las proteínas de los hongos tienen todos los aminoácidos esenciales y son ricos en lisina y leucina, las cuales están en muy poca cantidad o ausentes en la mayoría de los vegetales fibrosos. Además, contienen minerales, vitaminas como la B1, B2, B12, C, D, niacina y ácido pantoténico, así como ácidos grasos insaturados y un bajo contenido calórico (3). También se caracteriza por tener propiedades antioxidantes e inmunomoduladoras por la presencia de β -glucano en su composición química (4). Son muy apetecidos por su excelente sabor, se les denomina carne vegetal y pueden adecuarse con

facilidad a diferentes preparaciones culinarias. Son ampliamente utilizados en la cocina gourmet y en la actualidad se continúa investigando para tratar de explotar todo su potencial, ya que se le atribuyen propiedades nutraceuticas (5).

Para los procesos de crecimiento y fructificación, los hongos requieren de la combinación de factores físicos como temperatura, humedad, luz, aireación, oxígeno y dióxido de carbono, cuyos valores y concentraciones óptimas varían en función de la etapa en que se encuentran (fase de incubación y fase de fructificación), además de un adecuado pH en un intervalo entre 5,5 a 7,0 (6).

Para su crecimiento adecuado, los residuos agrícolas proveen la fuente de minerales. El carbono es la fuente directa de energía para su metabolismo. Las especies de *Pleurotus* son potentes agentes biológicos capaces de degradar materiales ricos en lignina, celulosa y hemicelulosa (6).

Se ha informado que las necesidades de nitrógeno pueden cubrirse por las pro-teínas y aminoácidos que resultan de la descomposición químico-biológica de cuerpos orgánicos tales como: harinas, granos de cereales, estiércol o simplemente urea, al igual que la carencia de fósforo y azufre, entre otros. Se recomienda que la concentración final de nitrógeno en el sustrato debe estar dentro del intervalo de 0,6 a 1,5 %, y la relación C/N comprendida en un rango amplio de valores (30 a 300) (7). El contenido de proteína de *Pleurotus ostreatus* se relaciona significativamente con el contenido de nitrógeno del sustrato (5). Se ha demostrado también que el contenido de proteína de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus* se puede mejorar enriqueciendo los sustratos con fuentes orgánicas e inorgánicas de nitrógeno tales como harina de soya, salvado de arroz, trigo, alfarina o simplemente urea lo cual también aumenta la productividad (8).

Se han evaluado algunos sustratos para el cultivo de *Pleurotus* con expresión de su eficiencia biológica (E.B). En paja se obtuvo una E.B de 113 %, en pulpa de café (5 días fermentada) una E.B de 175,8 % y sin fermentar 170 %, en cascarilla de arroz una E.B de 38 %, en bagazo de caña de azúcar más paja de cebada una E.B de 66 % (6).

En Ecuador el cultivo de hongos comestibles como el *Pleurotus*, se encuentra muy poco desarrollado y en pequeña escala, a nivel artesanal, se cultiva utilizando aserrín en la provincia de Morona Santiago, en el oriente ecuatoriano.

Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar los residuos lignocelulósicos agrícolas de la provincia de Bolívar, Ecuador, desde el punto de vista de su composición físico-química para su empleo en el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* como residuos individuales o en mezclas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la planta piloto y laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Estatal de Bolívar y en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad, República del Ecuador.

Para la experimentación se utilizaron residuos lignocelulósicos de las cosechas agrícolas de la provincia de Bolívar, situada en el centro de Ecuador, cordillera occidental de los Andes, poseedora de diversidad de climas y cultivos por lo que al final de las cosechas quedan abundantes residuos agrícolas tales como: maíz, trigo, cebada, lenteja, vaina de frijol de zona de clima frío, el bagazo de caña de azúcar y la cascarilla de arroz de clima subtropical. De cada uno de los residuos se recolectaron aproximadamente 20 kg de forma aleatoria, posteriormente se trasladaron a una bodega bajo cubierta para realizar el secado natural según las características de la biomasa con la finalidad de uniformar la humedad. Después de dos semanas se tomaron muestras por triplicado de aproximadamente 4 kg de cada residuo para la realización de los respectivos análisis.

A los residuos lignocelulósicos se les realizaron los análisis siguientes: humedad, cenizas, grasas, proteína, fibra, extracto libre de nitrógeno (9), fibra detergente neutra (F.D.N.), fibra detergente ácida (F.D.A.), lignina (10), celulosa (por diferencia de la

FDA y la lignina) y hemicelulosa (por diferencia de la F.D.N. y la F.D.A.). Los minerales (P, K, Mg, Fe, Ca, Mn, Cu y Zn), se determinaron por absorción atómica, el nitrógeno a partir de la proteína y el carbono a partir de la materia orgánica, método de Walkley y Black), 1996), (11).

Se utilizó un programa para el diseño de mezclas sólidas de residuos agrícolas, (12) y los criterios de restricciones se tomaron teniendo en cuenta la disponibilidad de los residuos en la provincia y el contenido de nitrógeno en su composición.

En cada uno de los residuos analizados se cultivó el hongo *Pleurotus ostreatus*, y se determinó la eficiencia biológica y el contenido de proteína en el hongo cosechado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presentan los resultados de los análisis de composición de los diferentes residuos agrícolas analizados. Como puede apreciarse, el contenido de humedad de los residuos presentó un intervalo entre 9,12 a 13,91 %, lo que los hace muy similares para cualquier tipo de tratamiento. Las cenizas presentaron una amplia variación (2,57 a 13,59 %) relacionada con el contenido de minerales en las mismas. En cuanto al extracto etéreo, los residuos con más bajo contenido fueron el bagazo de caña y la cascarilla de arroz (0,67 y 0,30), los restantes se encuentran en el intervalo de 1,07 a 1,34 %. En el contenido de nitrógeno resaltan los

Tabla 1. Valores medios y desviación estándar de la composición de los residuos agrícolas analizados

Componentes (%)	Residuos agrícolas					
	Paja de cebada	Paja de trigo	Caña de maíz	Rastrojo de lenteja	Bagazo de caña	Cascarilla de arroz
Humedad	13,81 (1,88)	13,61 (0,09)	10,11 (0,22)	13,61 (0,09)	13,91 (0,13)	9,12 (0,00)
Cenizas	9,75 (0,51)	10,64 (0,34)	5,98 (0,11)	5,44 (0,00)	2,57 (0,15)	13,59 (0,08)
Extracto etéreo	1,27 (0,10)	1,34 (0,46)	1,15 (0,09)	1,07 (0,03)	0,67 (0,01)	0,30 (0,00)
Nitrógeno	0,84 (0,00)	0,46 (0,05)	0,38 (0,04)	1,29 (0,01)	1,10 (0,00)	0,77 (0,00)
Fibra	51,89 (1,70)	57,71 (0,50)	48,15 (1,63)	53,08 (0,89)	47,37 (0,00)	47,57 (0,63)
Celulosa	47,14 (1,02)	52,11 (0,51)	42,48 (0,24)	40,32 (0,99)	44,87 (0,66)	36,53 (1,69)
Lignina	10,53 (0,96)	10,68 (0,21)	7,02 (0,04)	16,12 (0,03)	14,40 (0,10)	22,53 (0,30)
Hemicelulosa	21,35 (0,99)	20,09 (0,31)	26,73 (0,30)	10,27 (2,10)	16,99 (0,45)	18,41 (2,47)

residuos de lenteja, bagazo de caña de azúcar, paja de cebada y cascarilla de arroz (1,29; 1,11; 0,84 y 0,77 % respectivamente), los valores más bajos se reportan para la paja de trigo y el rastrojo de maíz (0,46 y 0,38 %), valores que pueden considerarse bajos para la obtención de una mayor eficiencia biológica y el contenido de proteína en el hongo. Se considera que para el cultivo del hongo *Pleurotus* el contenido de nitrógeno puede estar entre 0,7-0,9 % en peso seco, (13), aunque también se menciona entre 0,5-1,5 %, (6).

El contenido de fibras, en la mayoría de los residuos, presentó valores muy cercanos (entre 47,37 y 53,08 %), con excepción del residuo de paja de trigo que fue superior (57,71 %). La celulosa en los residuos analizados fue mucho más variable entre 36,53 % para la cascarilla de arroz y hasta 52,11 % para la paja de trigo; los valores de la lignina en los residuos también presentaron amplia variación entre sí, desde 7,02 % para el residuo de maíz hasta 22,53 % para la cascarilla de arroz.

El residuo de lenteja fue el que presentó el valor más bajo de hemicelulosa (10,27 %); el bagazo de caña y la cascarilla de arroz presentaron valores de 16,99 y 18,41 %, el resto de los residuos agrícolas están entre 20,09 y 26,73 %. Los residuos analizados en cuanto a pH presentaron valores alrededor

de 7, excepto el bagazo de caña de azúcar que presentó un valor de 5,03.

Como se puede apreciar la composición de los residuos analizados es diferente, por lo que es importante conocer las características de cada uno de ellos para su utilización, en el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* como sustratos únicos o más específicamente en mezclas.

En la tabla 2, se presentan los resultados de la composición de minerales de los residuos agrícolas. Los valores más bajos de manganeso se encontraron en la paja de cebada y en la de trigo, (59 y 63,4 ppm, respectivamente), el residuo de lenteja y la cascarilla de arroz presentaron el mismo valor (98 ppm) y para el bagazo de la caña de azúcar y el maíz, los valores fueron muy similares (entre 123 y 126,4 ppm, respectivamente); en cuanto al calcio, el valor más bajo fue para la cascarilla de arroz (0,06 %), los demás se encuentran entre 0,12 y 0,29 %. En cuanto al contenido de fósforo, el valor más alto lo presentó la paja de cebada (0,14 %) y los restantes residuos estuvieron entre 0,03 a 0,07 %, el contenido de magnesio fluctuó entre 0,03 y 0,22 %; en cuanto al potasio, el valor más bajo resultó para el bagazo de caña de azúcar (0,07 %), 0,92, 0,99 y 0,11 % para la paja de trigo, residuo de lenteja y cascarilla de arroz, respectivamente, 1,88 % para la

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar del contenido de minerales de los residuos agrícolas analizados

Minerales	Residuos agrícolas					
	Paja de cebada	Paja de trigo	Caña de maíz	Rastrojo de lenteja	Bagazo de caña	Cascarilla de arroz
Calcio (%)	0,29 (0,03)	0,14 (0,05)	0,23 (0,05)	0,29 (0,00)	0,12 (0,01)	0,06 (0,00)
Fósforo (%)	0,14 (0,02)	0,03 (0,00)	0,04 (0,00)	0,05 (0,00)	0,04 (0,01)	0,07 (0,00)
Magnesio (%)	0,06 (0,00)	0,03 (0,01)	0,15 (0,03)	0,22 (0,01)	0,10 (0,01)	0,06 (0,01)
Potasio (%)	2,96 (0,65)	0,92 (0,04)	1,88 (0,20)	0,99 (0,00)	0,07 (0,01)	0,11 (0,00)
Sodio (%)	0,07 (0,01)	0,03 (0,01)	0,04 (0,00)	0,03 (0,00)	0,04 (0,01)	0,04 (0,01)
Hierro (ppm)	461,44 (10,26)	416,89 (0,93)	186,33 (2,64)	185 (1,00)	188,67 (0,58)	135,00 (1,00)
Azufre (ppm)	0,08 (0,01)	0,04 (0,00)	0,05 (0,00)	0,02 (0,00)	0,02 (0,00)	0,05 (0,01)
Cobre (ppm)	6,47 (0,14)	12,55 (0,53)	7,55 (0,53)	6,9 (0,10)	23,66 (0,57)	6,66 (0,57)
Zinc (ppm)	22,11 (0,78)	17,88 (0,78)	12,33 (0,70)	7,9 (0,10)	69,66 (0,57)	10,66 (0,58)
Manganeso (ppm)	59,0 (0,0)	63,4 (0,0)	126,4 (0,0)	98,0 (0,0)	123,0 (0,0)	98,0 (0,0)

caña de maíz y el valor más alto correspondió a la paja de cebada (2,96 %). Para el caso del cobre los valores fluctuaron entre 6,47 a 7,67 ppm para la paja de cebada, residuo de lenteja, cascarilla de arroz y rastrojo de maíz; la paja de trigo presentó un valor de 12,55 ppm y el valor más alto correspondió al bagazo de caña de azúcar (24 ppm); en cuanto al hierro los valores son muy variables, la cascarilla de arroz presenta el valor más bajo (135 ppm), el residuo de lenteja, bagazo de caña de maíz y bagazo de caña de azúcar, presentan valores similares, y los más altos corresponden a la paja de trigo y cebada (416,9 y 461,4 ppm, respectivamente). En cuanto al zinc, el valor más bajo fue para el residuo de lenteja (7,9 ppm), la cascarilla de arroz y la caña de maíz presentaron valores muy similares (11 y 12,33 ppm), la paja de trigo y cebada presentaron valores de 17,88 y 22,11 ppm, respectivamente, el valor más alto se obtuvo para el bagazo de caña de azúcar (70 ppm).

Estos resultados reportados reflejan los valores medios que se han encontrado en los residuos analizados y su variabilidad estará en dependencia de muchos factores tales como: variedad, condiciones de cultivo, fertilidad del suelo, etc.

Los valores medios de carbono y la relación carbono/nitrógeno de los residuos agrícolas se presentan en la tabla 3, en la que se puede apreciar que todos estos residuos son ricos en fuente de carbono y los valores fluctúan entre 50,12 y 56,55 %, es uno de los principales elementos para el crecimiento y fructificación del hongo *Pleurotus ostreatus* y la relación C/N varía en un intervalo de 40,13 a 143,52, al respecto no existe un valor declarado como óptimo y se citan en literatura intervalos bastante amplios (30 a 300) (7).

En la figura 1 se presentan los resultados de la eficiencia biológica y el contenido de proteína en el hongo cultivado, en los residuos agrícolas caracterizados (rastrojo de caña maíz, paja de trigo, paja cebada, rastrojo de lenteja, bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz), como puede apreciarse existe una tendencia a un incremento de la eficiencia biológica y del contenido de proteína en los cuerpos fructíferos en aquellos residuos con mayor contenido de nitrógeno.

Tabla 3. Valores medios y desviación estándar del contenido de carbono y la relación carbono/nitrógeno de los residuos analizados

Paja de cebada	Paja de trigo	Caña de maíz	Rastrojo de lenteja	Bagazo de caña	Cascarilla de arroz
52,35 (0,03)	51,64 (0,04)	54,54 (0,00)	54,85 (0,00)	56,55 (0,09)	50,12 (0,04)
62,32 (0,30)	112,26 (0,00)	143,52 (0,00)	42,68 (0,30)	40,13 (0,08)	64,73 (0,46)

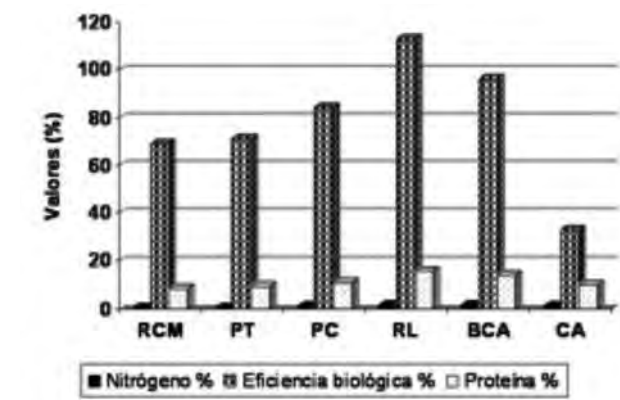


Figura 1. Comportamiento de la eficiencia biológica y el contenido de proteína en el hongo cultivado en diferentes residuos.

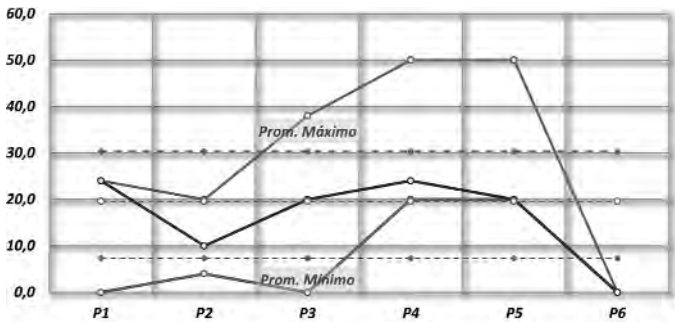


Figura 2. Visualización del comportamiento de los residuos en una mezcla estandarizada en N (%) haciendo uso del programa.

En la figura 2 se presenta el comportamiento de una mezcla haciendo uso del programa para el diseño de mezclas de residuos agrícolas, dando las restricciones máximas y mínimas de la participación de cada componente en la mezcla, por ejemplo mezclando: rastrojo de caña de maíz 24 %, cáscara de arroz 10 %, paja de cebada 20 %, rastrojo de lenteja 24 % y bagazo de caña 20 %, se obtiene una mezcla estandarizada con un contenido de nitrógeno de 0,86 % y la relación C/N en 61,68 % (12).

El programa permite al usuario diseñar mezclas estandarizadas con nitrógeno y otros minerales, de acuerdo a las necesidades nutritivas, para el mejor crecimiento del hongo, además se puede visualizar el comportamiento de cada uno de los componentes dentro de la mezcla.

Con este fin se deben realizar investigaciones para la evaluación de diferentes mezclas estandarizadas en nitrógeno y la relación C/N con estos residuos, para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*, teniendo en cuenta que lo que se pretende es lograr una mejor producción y un mayor contenido de proteínas en la composición del hongo. De esta forma se podrá determinar cuál debe ser la estandarización más adecuada en nitrógeno de las mezclas para el aprovechamiento de los residuos agrícolas de la región en el cultivo del hongo y satisfacer así necesidades alimenticias de gran impacto en la seguridad y soberanía alimentaria.

CONCLUSIONES

- Los datos analíticos reportados reflejan los valores medios de los residuos analizados. Es de esperar cierta variabilidad en dependencia de muchos factores como: variedad, condiciones de cultivo, fertilidad del suelo, etc.
- Los materiales analizados son de fácil disponibilidad, ricos en lignocelulosa y con un contenido de nitrógeno que fluctúa entre 0,38 - 1,29 %, por lo que pueden emplearse solos o en mezclas, combinando los de menor con los de mayor contenido de nitrógeno para el cultivo del hongo o emplearse fuentes de mayor contenido de nitrógeno para enriquecer el sustrato, buscando una mayor eficiencia biológica y contenido de proteína en el hongo.
- Los residuos de lenteja, bagazo de caña de azúcar y paja de cebada utilizados en el cultivo del hongo presentaron los mayores valores de eficiencia biológica (113, 96 y 84 %, respectivamente).
- Existe una tendencia de incremento en el contenido de proteína (16,82; 15,78 y 15,47 %) en los hongos cultivados en sustratos con mayor contenido de nitrógeno (1,29; 1,11 y 0,84 %).
- La cascarilla de arroz como sustrato único no es adecuada para el cultivo del hongo, por su poca retención de humedad y más bien es excelente para utilizarla en mezclas porque ayuda a mantener una buena aireación en el sustrato.
- Con los residuos agrícolas de esta región se pueden hacer mezclas balanceadas con nitrógeno en diferentes intervalos, que están en dependencia de las proporciones de cada componente (restricciones máximas y mínimas), relación (C/N) y de los otros componentes. El programa así mismo permite visualizar los cambios que ocurren en el interior de la mezcla al variar uno de los componentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vargas, J.; Beltrán, K.; Rodríguez, P. Inventario Nacional de Emisiones Gaseosas que producen el Efecto Invernadero en el Sector Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador: p. 20. 2001.
2. Escobedo, R. Producción de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*): SAGARPA, Puebla, México: p. 2, 2006.
3. Albertó, E. Cultivos Intensivos de los Hongos Comestibles, Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur: pp 33-34, 2008.
4. Chang, Shu-T.; Buswell, J.; Miles, P. Genetics and Breeding of Edible Mushrooms. Departament of Biology the Chinese University of Hong Kong and Department of Biological Sciences State University of New York at Buffalo USA: pp 158-160 y 314.
5. Ciappini, Ma.; Gatti, .B.; López, .L. *Pleurotus ostreatus* una opción en el Menú. Estudio sobre las gírgolas en la dieta diaria. Rev. Redalyc, Argentina: p. 129. 2004.
6. Sánchez J .Royse D. La Biología y el cultivo de *Pleurotus spp*. LIMUSA, México. Cap. VIII. pp. 168-170. 2001
7. Francisco, J.; Gea, A. Cultivo de setas *Pleurotus*. Rev. Tecnología Agroalimentaria. Albacete, España. Num. 9: pp. 41-48. 2011.
8. Velasco, J. Cultivo de hongos Setas (*Pleurotus ostreatus*), colegio posgraduados Montecillo. México. 2004.
9. A.O.A.C, Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist, 15 the edn, AOAC International. Arlington, 1990.
10. Van Soest, P.J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for determination of fiber and lignin. J. Assoc. Off. Agric. Chem. 1963.
11. Walkley, A.; Black, I. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38. 1934.
12. Fernández, F.; Ruilova, M.; Hernández, A. Programa para el Diseño de Mezclas Sólidas de Residuos Agrícolas, ISPJAE, Cuba. 2011.
13. Getahun, A. Successful Oyster (*Pleurotus ostreatus*) Mushroom Cultivation substrates Performance, Yield, Quality and efficiency of Mushroom Production, USA. pp 25. 2011.

Diseño del Centro Virtual de Información Tecnológica del Azúcar

Maby Hernández-Curbelo, Rafael Hurtado-Vargas

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)
Vía Blanca No. 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón.
CP 11000. La Habana, Cuba.
maby.hernandez@icidca.edu.cu

RESUMEN

Se presentan los resultados del proyecto de diseño del Centro Virtual de Información Tecnológica del Azúcar. Los objetivos principales de este trabajo están orientados a crear condiciones que aseguren la disponibilidad de información en la organización AZCUBA. Se propone el crecimiento de la Biblioteca Virtual de los Derivados, la compatibilización entre las bibliotecas del sector y el desarrollo de una nueva plataforma tomando en cuenta los mayores volúmenes de información a procesar.

Palabras clave: Biblioteca virtual, administración de bibliotecas, ciencias de la información

ABSTRACT

The results of the project for design of virtual centre of technological information of sugar are presented. The main purposes of this project are oriented to create conditions that ensure that the availability of information inside AZCUBA organization. The growth of the Virtual Library of Derivatives, the compatibility among libraries in sugar sector and the development of a new platform taking into account the higher volumes of information are proposed.

Keywords: virtual library, libraries management, information sciences.

INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia para el desarrollo de un país, acercar las fuentes de conocimiento a quienes posibilitan los avances tecnológicos y científicos. En este sentido, las bibliotecas son el pilar de la educación de todas las comunidades y las bibliotecas especializadas son el mayor apoyo de conocimiento para los estudiantes de nivel superior, personal docente y de investigación científica. En esta

época de grandes cambios en el acceso a la información, matizada por las nuevas tecnologías de la informática y las telecomunicaciones, las bibliotecas deben ampliar sus responsabilidades y su horizonte laboral hacia las redes, el manejo de bases de datos, el análisis estadístico, la evaluación, disseminación y comercialización de la información, los nuevos tipos de usuarios, los nuevos formatos de información, la educación a distancia y la protección de la información (1).

Con el desarrollo de Internet, la generación y disponibilidad de una colosal cantidad de información, se convirtió en un gran reto para los profesionales de la información que deben encontrar la forma más adecuada de organizar y suministrar al usuario la información que precisa, de manera rápida y sencilla. Para lograr este fin se hace necesario que la información disponible, que crece incesantemente, esté bien organizada y se pueda administrar. La manera más eficiente es utilizar bases de datos y sistemas de recuperación de información.

Las bibliotecas que han sido automatizadas están siendo transformadas o complementadas, implementando bibliotecas digitales, bajo el concepto general de recopilar, almacenar y organizar información de manera digital, para poder realizar búsquedas, recuperaciones y procesamientos mediante las redes de computación; todo bajo un ambiente sencillo para el usuario y tomando en cuenta factores fundamentales como la presentación y la representación de la información, los mecanismos de almacenamiento y recuperación, la interacción con el usuario, la plataforma tecnológica y el ancho de banda de la red. El campo de las bibliotecas virtuales cada vez toma mayor importancia dentro de las áreas de la información, estas representan una interesante combinación entre aplicaciones, sistemas y longevas teorías tradicionales en el manejo de la información ordenada y estructurada. Asimismo, representan amplias oportunidades para desarrollar nuevas formas de acercamiento al conocimiento, especialmente en áreas de ciencia y tecnología.

Los centros virtuales de información son un escalón superior en la organización, manipulación y presentación de los recursos de información que, sin dudas, ofrecen posibilidades reales para facilitar la recuperación de la información requerida por los usuarios. Las posibilidades son enormes, puesto que el empleo de redes, tanto universales (Internet) como internas (Intranets), permiten ofrecer servicios fuera de su entorno habitual con las ventajas que ello conlleva: rapidez, comodidad para el usuario, descongestión de las bibliotecas, rentabilización de recursos y superación de barreras.

El aumento de la demanda y el uso de la información y de las publicaciones digitales ha sido una de las razones fundamentales por la que el modelo de biblioteca virtual también ha tenido que evolucionar, y hoy día cuenta con un fuerte componente de comunicación en línea, que permite el intercambio y la masificación de conocimiento. De este modo, el modelo de biblioteca virtual se transforma en un centro virtual de información y conocimiento (2).

DESARROLLO

Antecedentes

Durante los últimos años el ICIDCA ha trabajado en la modernización de su red local y en la aplicación de la tecnología de las Intranets. Este servicio ha permitido colocar, al alcance de investigadores y dirigentes del centro información local necesaria para apoyar las actividades de investigación y dirección (3).

Por otra parte existe el software BIBLIO (4) que administra las operaciones usuales de la biblioteca como la asistencia a la sala, préstamos, análisis estadístico y procesamiento de sus fondos, dando la posibilidad de almacenar toda la documentación existente en la misma, clasificada en los principales tipos de documentos (libros, revistas, patentes, traducciones, informes, reproducciones y otros).

A partir de estas condiciones se vincula el acceso a la base de datos del software BIBLIO a través de la Intranet, incluyendo la consulta de información a texto completo para aquellos documentos que se puedan hacer públicos. De esta manera se desarrolla nuestra biblioteca virtual que es hoy en día la Biblioteca Virtual de los Derivados de la Caña de Azúcar, la cual ha estado en explotación en nuestro centro hace varios años.

Además existe una Intranet del sistema AZCUBA con alcance nacional. La colección digital de información que forma parte de la Biblioteca Virtual de los Derivados se instaló en los servidores de AZCUBA, en esta colección no se encuentra la información que pudiera existir en bibliotecas de otras instituciones del organismo.

Existe mucha información técnica en formato digital que puede adquirirse por diferentes vías sin grandes costos. Fundamentalmente, estudios bibliográficos realizados por estudiantes de posgrados, maestrías y doctorados, que no están incorporados a las bibliotecas del sector y que están en formato digital.

En el mundo moderno se desarrollaron rápidamente los repositorios de información digital o bibliotecas virtuales, debido al acelerado desarrollo y posibilidades de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones.

Este proyecto se propone, a partir de la experiencia acumulada por el ICIDCA, desarrollar un centro virtual que ponga en manos de técnicos y profesionales del sector, la mayor cantidad de información relacionada con la Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar y que se pueda acceder a ella desde diferentes instituciones, garantizando que la disponibilidad de información se incremente en el sistema AZCUBA. Para esto se propone el crecimiento de la Biblioteca Virtual de los Derivados, la compatibilización de las bibliotecas del sector y el desarrollo de una nueva plataforma que garantice su efectividad ante el crecimiento del volumen informativo.

Diseño

Al seleccionar o diseñar una aplicación integrada para administrar la biblioteca hay que tener en cuenta cuatro ámbitos: funcional, tecnológico, económico y técnico (5) y contar con la participación de forma conjunta del bibliotecario y el personal asociado a las tecnologías de la información (6). A partir de este análisis es que se determina si un determinado paquete de software cumple los requerimientos y cuáles son los módulos que deben implementarse. En el mundo hay software propietario comercial, que puede adaptarse a necesidades específicas, software libre o de código abierto (7-9) y hechos a la medida (en caso de contratarse la programación íntegra de un sistema, que satisfaga intereses propios que no se alcanzan con los sistemas comerciales o de código abierto).

El Centro Virtual de Información Tecnológica será desarrollado en ambiente web. Las aplicaciones web tienen varias ventajas sobre los programas de software descargables tradicionales. Estas son las principales:

- Al ejecutarse, a través de los navegadores se puede acceder a ellas desde cualquier computadora conectada a Internet o Intranet.
- No es necesario instalar ningún software en la computadora, por lo que no hay que preocuparse por costos de licencias o actualizaciones.
- Las actualizaciones las realiza el desarrollador en su servidor y por ende cada vez que se conecte tendrá la última versión disponible.
- No hay incompatibilidades con los sistemas operativos porque todo se maneja en el navegador.
- No ocupan espacio en el disco duro porque se ejecutan a través de la web.
- Consumen pocos recursos de hardware porque las tareas se realizan en otro ordenador.
- Finalmente, no habrá más obstáculos para permitir pruebas sencillas y efectivas de herramientas y aplicaciones. Actualmente, cuando se habla de software costoso, hay todavía una gran cantidad de funcionalidades y pequeños detalles que no se pueden probar ni descubrir antes de comprometer dinero en alguna compra total.

El Centro Virtual de Información Tecnológica estará compuesto por dos aplicaciones web:

- Aplicación para la administración.
- Aplicación para los usuarios.

Aplicación para la administración

Esta aplicación está integrada por los diferentes módulos que forman parte de lo que es el sistema de administración BIBLIO 5.0. Permite administrar las bases de datos, que para su estructuración y organización han pasado un proceso de clasificación, en el que los contenidos se han agrupado en

clases, de acuerdo con sus propiedades y características comunes. Pueden crearse diferentes bases en distintas entidades, las cuales se pondrán en los servidores para ser alcanzadas en línea.

La figura 1 muestra los módulos fundamentales de la aplicación de administración, dentro de los que se destacan: procesamiento de fondos documentales (digitales y no digitales) según la catalogación utilizada en base a las normas cubanas, sala y préstamos, estadísticas, seguridad y control de usuarios.



Figura 1. Pantalla principal de la aplicación de administración.

La aplicación cuenta con tres tipos de usuarios: administradores, usuarios avanzados y usuarios invitados. La administración estará disponible solo para usuarios administradores del sistema, por lo que su acceso será restringido y los usuarios tendrán que autenticarse, como lo muestra la figura 2.



Figura 2. Control de usuarios de la aplicación de administración.

Los administradores de la aplicación tendrán a su cargo todos los tipos de documentos con sus plantillas para la entrada de datos, en dependencia de las características del documento. En caso de que exista la versión digital del documento se cargará dicho archivo al almacenamiento en disco el

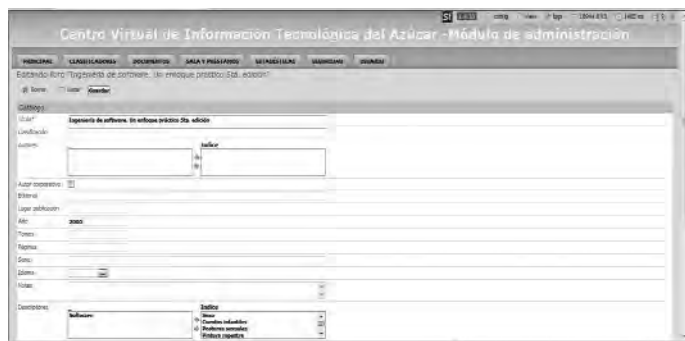


Figura 3. Administración del tipo de documentos (libros).

correspondiente. En la figura 3 se muestra la administración del tipo de documento (libros).

Un aspecto muy importante, a tomar en cuenta en las bibliotecas y centros virtuales de información, es conocer realmente cómo es la utilización de los mismos. Para ello, es fundamental el empleo del análisis estadístico, con vistas a la toma de decisiones acertadas en el mantenimiento de la colección digital. Babini (10) define un grupo de estadísticas a tal efecto como apoyo a la gestión interna y externa de la biblioteca virtual.

En esta aplicación, además de las estadísticas del sistema BIBLIO 5.0, se incorporaran aquellas que tienen relación con el acceso en línea, entre las que se destacan:

- Temáticas más solicitadas por los usuarios.
- Documentos de la colección digital más descargados.
- Cantidad de información (kilobytes) descargada.
- Número de consultas que recibe la biblioteca en un período de tiempo dado.
- Cantidad de demandas no satisfechas por problemas en las páginas.

Después de este análisis se pueden estimular las entidades que participan en este proyecto para que envíen textos completos que aumenten las potencialidades de la colección digital, lo cual es de gran apoyo para la investigación científico-técnica. Además a partir de las descargas que realiza el usuario se pueden conocer sus intereses, con vistas a la creación posterior de un módulo de disseminación selectiva de la información.

Aplicación para los usuarios

Las bibliotecas o centros virtuales disponen de todos los servicios clásicos de una biblioteca tradicional, tales como los de lectura y búsqueda de información, pero además aprovechan el potencial que ofrecen las nuevas tecnologías de la información para llevar estos servicios al cliente, dando la posibilidad de un acceso rápido a los documentos a texto completo, sin la necesidad de realizar un esfuerzo significativo por parte del usuario.

Una biblioteca provee una gran variedad de servicios entre los cuales la búsqueda y recuperación de información a texto completo, de forma organizada y con documentos estructurados, es considerado el servicio por excelencia. Si este servicio no está presente, no puede hablarse de una biblioteca virtual. Además de este y del universo de usuarios que se desee atender, pueden desarrollarse diferentes servicios.

Esta aplicación estará compuesta por acceso a la colección digital y catálogo en línea (búsqueda y recuperación) como sus servicios principales. Contará además con otras opciones complementarias como: acceso a bases de datos en línea, acceso a sitios de interés, información general y registro de usuarios. El registro de usuarios es importante para el acceso a documentos que estén clasificados como restringidos.

Como muestra la figura 4 el usuario podrá seleccionar la base de datos con la que desea trabajar, para conectarse a la institución de interés. Si este no se ha registrado será un usuario invitado y solo tendrá acceso a los documentos públicos, si trata de acceder a un documento restringido tendrá que autenticarse y si tiene ese privilegio podrá descargar el documento.



Figura 4. Pantalla principal de la aplicación de usuarios.

La opción colección digital permite que el usuario conozca, por cada tipo de documento, todo lo que existe en formato digital. Además brinda la posibilidad de acotar esta colección a través de un formulario de búsqueda, donde el usuario determinará el criterio por el que quiere profundizar. La figura 5 muestra la colección digital para el tipo de documentos (libros).

Por otra parte la opción catálogo en línea, que se muestra en la figura 6, brinda la posibilidad de una búsqueda avanzada en toda la documentación existente, combinando los campos de búsquedas más importantes como son: autores, descriptores y título y si el documento existe en formato digital podrá ser descargado, siempre y cuando sea un



Figura 5. Colección digital para el tipo de documentos (libros).



Figura 6. Catálogo en línea para las publicaciones no seriadas.

documento público o el usuario tenga el privilegio de descargar un documento restringido.

Usualmente, los usuarios están alternando entre búsqueda e inspección, de hecho muchos de los usuarios no saben si deben empezar por una búsqueda o una simple inspección, por lo tanto es recomendable ofrecer ambas opciones, que incluso, en muchos casos no pueden presentarse por separado. Regularmente lo que se presenta después de una búsqueda es una lista de los materiales que cumplen con las restricciones que determinó el usuario y que posteriormente deberá inspeccionar para elegir sobre cuál profundizará. Este es un proceso iterativo, otro motivo para mantener unidas la búsqueda y la inspección.

CONCLUSIONES

- El diseño del Centro Virtual de Información Tecnológica del Azúcar, con una amplia colección digital en constante actualización, es un elemento importante para el desarrollo de la actividad científica en el sector.

- El Centro Virtual de Información Tecnológica del Azúcar, proporcionará a sus usuarios a través de una interfaz web, un solo punto de acceso a todos los servicios y fuentes de información, apoyando de esta manera las actividades de investigación, producción y dirección del sector.
- La posibilidad de cargar bases de datos de diferentes instituciones es un paso hacia la integración del conocimiento acumulado en las bibliotecas del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hurtado, R.; Hernández, M. Diseño e implementación de la biblioteca virtual especializada de los derivados de la caña de azúcar. ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar. 43 (3), 46-51, 2009.
- Bonilla, K. V. De la biblioteca virtual a los centros de información y conocimiento. Estudio del caso de la Bibliotheek Technische Universiteit Delft, 91-104, 2005.
- Hernández, M.; Hurtado, R. La biblioteca virtual de los derivados de la caña de azúcar: El camino hacia un centro de información y conocimiento virtual. ICIDCA Sobre los derivados de la caña de azúcar. 41 (2), 44-50, 2007.
- Hurtado, R.; Carnesoltas, A.; Roselló, S. BIBLIO: Un sistema para gerencia de bibliotecas. Revista Española de Documentación Científica. 19 (3), 327-335, 1996.
- Anaya, A.; Pérez, C. Aplicación de un algoritmo logístico para la selección de un software integrado de bibliotecas, Serie Bibliotecología y Gestión de Información, No 14, Junio 2006.
- Vasconcelos, G. Participação do bibliotecario na criação e planejamento de projetos de softwares: o envolvimento com a tecnologia da informação, BIBLIOS, 5 (17), Enero-Marzo, 2004.
- Sanjo, J. Adoption of open source digital library packages: a survey, In Kumar, Manoj, K., Eds. Proceedings CALIBER 2007: 5th International Convention on Automation of Libraries in Education and Research Institutions, pp. 98-102.
- Rodríguez, M.; Peña, R. CLABEL: un software libre para la creación de catálogos públicos con acceso en línea en las bibliotecas, ACIMED, 12 (2), Ciudad de La Habana, Marzo-Abril, 2004.
- Porcel, M. L.; Rodríguez, M. "Software libre: una alternativa para las bibliotecas", ACIMED, 13 (6), 2005. Disponible en: (http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol13_6_05/aci090605.htm)
- Babini, D.; Vergara, F.; Archuby, G. Estadísticas de usuarios en una biblioteca virtual. El caso de la biblioteca virtual de la red CLACSO. En: El profesional de la información enero-febrero, 16 (1), 57-61, 2007.

Caracterización de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar almacenados a granel

Omar Triana-Hernández, Tamara S. León-Martínez,
María I Céspedes-Vázquez, Amalia Cámara-Pérez

Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Departamento de Química del Bagazo. CP 33500, Quivicán, Mayabeque, Cuba.
satria@infomed.sld.cu

RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares alcanzados en la caracterización química y microbiológica realizada a los residuos de la cosecha de la caña de azúcar, cogollo y paja (RAC) de la zafra azucarera 2010-2011 del CAI Manuel Fajardo, almacenados a granel a la intemperie y sin control microbiológico, comprobándose que este material no deberá almacenarse de esta forma por más de nueve meses, momento a partir del cual comienza su deterioro, y no podría ser empleado para la obtención de derivados químicos.

Palabras clave: biomasa, bagazo, paja, cogollo, almacenamiento.

ABSTRACT

The results achieved in the chemical and microbiological characterization on the agriculture residues of sugar cane (tops and trash) concerning to the sugar harvest 2010-2011, in Manuel Fajardo sugar mill, are presented. These residues were stored in bulk in the open and without microbiological control. It was found that this material must not be stored in this way for more than nine months, after which they begins to deteriorate, and could not be used to obtain chemical derivatives.

Keywords: biomass, bagasse, trash, tops, storage.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria de la caña de azúcar constituye la mayor reserva estratégica de biomasa por su carácter renovable y su considerable volumen anual, la que puede representar un aporte sensible al desarrollo económico del país dentro de los acuerdos existentes para la conservación y cuidado del medio ambiente.

La caña de azúcar, se produce en más de cien países y constituye un cultivo de gran importancia en su gestión económica, es la materia prima para

producir azúcar, numerosos derivados y alimento animal, tiene la característica de ser una de las plantas que más eficientemente aprovecha la energía solar, por ser un cultivo del tipo C4 (1), con una producción de biomasa que le da un lugar privilegiado en cuanto a la protección del medio ambiente, por su alta eficiencia en el proceso de fotosíntesis.

Los residuos agrícolas resultantes de la cosecha cañera no son empleados en la cuantía que las circunstancias actuales exigen, a pesar de ser un formidable recurso como fuente de energía.

La solución del aprovechamiento de estos residuos depende de toda una serie de factores, tales como: recolección, transporte, almacenamiento, procesos tecnológicos para la obtención de sus principales componentes químicos y los posibles usos de los mismos.

Paradójicamente, los métodos de cosecha de la caña están orientados a aprovechar sólo los tallos de la planta, dejando el resto en el campo, en el mejor de los casos como residuos agrícolas de la caña (RAC), generalmente quemados antes del corte, en aras de alcanzar alta productividad en la cosecha, y por la poca asistencia al desarrollo de tecnologías para el corte mecanizado de la caña, la recolección, preparación y manipulación de los RAC (2).

Cuando se quema la caña para el corte, o los RAC en las instalaciones de limpieza, se produce una contaminación del medio ambiente con diseminación de cenizas, humos y gases tóxicos, que amenazan a la población aledaña con enfermedades bronco-respiratorias, y afectan la calidad de vida del hombre, las plantas y los animales.

Los RAC, compuestos por hojas verdes y secas, cogollos y cañas no recuperables, representan una disponibilidad de 50 millones de toneladas métricas, una vez preparados representan un valioso recurso natural, renovable anualmente, abundante y propio para la industria de los derivados, como alimento animal, energía, fertilizantes, etc., con incidencia favorable en la protección del medio ambiente y alta rentabilidad económica. Su valor energético ascendió, en Cuba, en 2007-2008, a 140-160 USD/t; mientras los costos de preparación y transporte oscilan entre 10-15 pesos/t, cuando se aprovechan las capacidades instaladas (3).

El bagazo de caña de azúcar, es el residuo que queda después del proceso de producción de azúcar, es el más utilizado en esta industria, que cubre casi el 27 % de la demanda energética actual del país y continuará jugando un papel central en la satisfacción de dicha demanda.

En cifras generales, en una zafra de 8 millones de toneladas de azúcar se deben moler más de 70 millones de toneladas de caña, lo que produciría más de 20 millones de toneladas de bagazo; de estos, unos 2 millones se pueden utilizar como alimento animal y en la producción de derivados, mientras que el resto se emplea, por la propia industria azucarera, para la producción de vapor y la electricidad que requiere su funcionamiento (4).

Se desarrollan diversas experiencias con el objetivo de aprovechar todo el potencial que encierran los residuos de la cosecha que se acumulan en los centros de acopio. Por ejemplo, se buscan formas de comprimir la paja en pacas o briquetas, y mediante la pirólisis convertirlas en carbón o gases combustibles, para satisfacer las necesida-

des energéticas de los propios centros de acopio, y como sustitutos de los medios convencionales de obtención de energía.

A causa de la necesidad de eliminarle a la caña, que va a ser transportada al central, la mayor cantidad de cogollo y hojas, en el campo queda un potencial disponible lo suficientemente grande como para estudiar en detalle sus formas de aprovechamiento. Hasta hoy estos estudios han sido pocos y han estado centrados en su utilización, como fuente para la alimentación del ganado, siendo esta y la generación de electricidad, como combustible directo o en la gasificación las de mejores perspectivas, pues las aplicaciones industriales como la producción de furfural, tableros y otros derivados, han sido poco estudiados.

La preparación de la biomasa agrícola cañera o residuos agrícolas de la caña (RAC) es una operación que puede resultar muy compleja debido a la poca uniformidad, el tamaño de las partículas, la alta humedad y el alto contenido de tierra cuando la recolección no es adecuada, siendo generalmente indispensable en el esquema tecnológico de transformación energética (5).

Los equipos destinados a la preparación de esa biomasa reciben un material de muy baja densidad con tamaño de partículas de hasta un metro de longitud, las cuales deben ser reducidas en el menor de los casos a alrededor de 50 mm (6).

La caña de azúcar en su estado natural está formada por 8,44 % de cogollo y hojas verdes, 19,74 % de vainas y hojas secas, y 71,82 % de tallos limpios. La paja posee una estructura muy diferente al cogollo, está constituida por la vaina y la hoja seca, mientras que el cogollo está formado por fracciones de tallo y hojas verdes.

En la tabla 1 se muestra la composición química de la paja integral y del bagazo (8).

Tabla 1. Composición química de la paja en su estado natural y bagazo integral (%)

Análisis	Paja integral	Bagazo integral
Celulosa	45,13	46,60
Lignina	14,11	20,70
Pentosanos	25,56	25,10
Cenizas	8,03	2,60
Pectina	4,28	-
Solubilidad H ₂ O fría	9,78	2,26
H ₂ O caliente	13,35	4,11
NaOH al 1%	40,2	34,9
Ext. Alcohol/benceno	3,54	2,7

Al comparar la composición química de la paja integral con los valores reportados para el bagazo, se detecta que las diferencias se encuentran fundamentalmente en el contenido de lignina, y pueden estar determinadas por la composición morfológica de ambos materiales. Los valores de cenizas de la paja, con respecto al bagazo varían considerablemente.

El cogollo además de estar constituido por hojas verdes posee jugo, que varía en su composición con respecto al jugo del tallo y que se muestra en la tabla 2 (9).

Tabla 2. Composición comparativa de los contenidos de jugo

	Jugo de cogollo	Jugo de caña
Grado Brix	9,55	18,20
Pol %	1,13	15,38
No. Pol (reductores) %	8,64	3,85
Pureza	11,66	88,16

Los valores de la Pol y el grado Brix disminuyen con la altura de la planta mientras que los azúcares reductores aumentan proporcionalmente.

En el cogollo, además de azúcares, coexisten otras sustancias como ceras, savias, gomas, clorofila, xantofila, sustancias solubles en agua, polifenoles, como los carotenos y sustancias no solubles en agua, la antocianina, considerada un polifenol, aunque soluble en agua o en débil solución alcalina que se incorpora al jugo y su mayor contenido se encuentra en el cogollo, ya que aumenta con la altura de la planta; esta sustancia al estar en contacto con el aire toma una coloración oscura, de ahí el cambio de coloración que experimenta el jugo de la caña, siendo más rápido en el jugo del cogollo.

Para el caso del bagazo, dadas sus características, su empleo en la industria de los derivados y que solo está disponible durante una parte del año (época de zafra que dura de tres a seis meses), los países que lo emplean como materia prima, se ven obligados a almacenarlo en grandes cantidades. Este almacenamiento puede ser compactado en pacas húmedas, en pacas presecadas o a granel. La selección del método de almacenamiento que habrá de emplearse está en correspondencia con la tecnología posterior (10).

Los métodos para conservar los residuos de la cosecha de la caña de azúcar, más usados son la compactación y la formación de pacas, dada sus características, heterogeneidad y el uso que se le dará a los mismos (como alimento animal y para quemar en las calderas del central azucarero).

En el presente trabajo se recogen los resultados preliminares alcanzados en la caracterización de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar (RAC) paja y cogollo durante el almacenamiento a granel, a la intemperie y sin control microbiológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer las potencialidades de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar y su posible utilización para la obtención de derivados químicos, se recolectó paja y cogollo de la zafra 2010-2011 del CAI Manuel Fajardo, la que se almacenó en condiciones medioambientales naturales, tal y como se obtienen en el centro de acopio, formándose una pila de dos metros de altura y 4 metros de diámetro y sin control microbiológico, por un período de 12 meses (figura 1).



Figura 1. Almacenamiento a granel de RAC. Pila de paja y cogollo.

El muestreo se realizó cada tres meses, siendo el primer muestreo en el mes de marzo. Se tomó muestra del interior de la pila, de la superficie y de los bordes inferiores o costanera, los que se mezclaron. La caracterización química se realizó según las normas TAPPI.

Para conocer los principales microorganismos que crecen en la pila se realizó un muestreo en el mes de junio y otro en septiembre y se obtuvieron muestras del interior de la pila a un metro de profundidad, de la superficie y de la orilla o costanera y se evaluaron de forma independiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en la caracterización química durante los diferentes muestreos.

El comportamiento del material almacenado indica que existe variación en el contenido de los

Tabla 3. Caracterización química de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar (almacenados a granel)

Análisis	1^{er} muestreo marzo	2^{do} muestreo junio	3^{er} muestreo septiembre	4^{to} muestreo diciembre
Celulosa %	40,5	38,9	38,4	36,7
Lignina %	22,1	27,1	29,9	29,5
Pentosanos %	-----	18,4	9,77	22,5
Cenizas %	9,8	6,9	12,4	11,2
Sol H ₂ O fría %	8,6	7,2	6,5	8,7
Sol H ₂ O cal %	11,2	9,6	10,4	13,8
Sol NaOH 1 %	41,3	46,4	46,0	52,6
Extractivos A/B %	5,51	3,66	4,48	4,17

diferentes componentes químicos con el almacenamiento.

El contenido de celulosa varía de 40,5 % en el primer muestreo a 36,7 %, en el último muestreo, mientras que los valores de lignina aumentan, estos valores relativos determinan que al disminuir unos se incrementen los otros. Con el almacenamiento se aprecian variaciones en la composición química, dado esto por la solubilización y la pérdida por acción de microorganismos, si tenemos en cuenta que este material fue almacenado en condiciones medioambientales sin ningún control.

En los pentosanos se aprecia un comportamiento irregular de valores a los 3 meses de almacenamiento, de 18 % a 9, 77 %, incrementándose su valor a más del 50 % en el último muestreo. Las solubilidades mantienen un comportamiento regular incrementándose en el caso de la solubilidad en NaOH al 1% a los nueve meses de almacenado, 52,6 %, así como la solubilidad en agua caliente, 13,8 %; esto sucede como consecuencia del propio almacenamiento, siendo un índice del deterioro que está sufriendo el material almacenado. Existen reportes de la literatura de solubilidad en NaOH al 1 % en la composición de la paja molida y fresca del orden del 40 % y en agua caliente de 13,49 % (10), por lo que deberán estudiarse con más profundidad los aspectos relacionados con el almacenamiento de residuos a granel, con vistas a su empleo en la obtención de derivados químicos y que no deberá excederse de los nueve meses de almacenado, a no ser que se introduzca algún sistema controlado, similar al del almacenamiento del bagazo. El bagazo es el residuo de la caña después de molida, mientras que la paja y el cogollo son residuos de la cosecha que difieren en características respecto al tallo de donde proce-

de el bagazo, por lo que no tienen por qué comportarse de igual forma ni en el almacenamiento, ni en su composición fibrosa (% del contenido de los diferentes elementos que lo conforman).

La caracterización morfológica que aparece en la tabla 4 (11, 12), donde se muestran los valores de longitud de fibra y diámetro de los componentes de los RAC y el bagazo, evidencia que las fibras de la paja y el bagazo coinciden en la longitud promedio (1,5 mm), pero en cuanto al diámetro, las fibras del bagazo son más anchas que las del resto de los componentes de los residuos. Las principales diferencias podrán estar dadas por el contenido de fibras, y no por sus dimensiones, es de destacar además que en los residuos existe una mayor abundancia de células epidérmicas, pero menor cantidad de células parenquimatosas, si tenemos en cuenta las funciones de cada una de las partes del vegetal.

Con respecto a la caracterización microbiológica (tabla 5), los valores de las poblaciones de microorganismos obtenidas, bacteria, hongos y levaduras indican que estas están dentro de los parámetros normales para este tipo de residuo almacenado a la intemperie, sin control microbiológico, aunque a partir del segundo muestreo comienzan a aparecer hongos y levaduras debiendo ser los causantes de la degradación del material lignocelulósico, pues se conoce de la acción de hongos de pudrición blanca sobre estos materiales causando la degradación de los componentes de la

Tabla 4. Dimensiones de las fibras de los residuos de la caña de azúcar y el bagazo

Dimensiones	Paja	Cogollo	Hojas	Bagazo
Longitud promedio mm	1,55	1,49	1,15	1,5
Diámetro promedio μ m	13,9	15	11,7	20
Diámetro de lumen μ m	6,6	5,7	4,6	12
Ancho de pared μ m	7,3	9,2	7,3	8

Tabla 5. Caracterización microbiológica de la paja y el cogollo de caña almacenados a granel

Zona muestreada	Primer muestreo	Segundo muestreo
Interior de la pila	Bacterias $6,7 \times 10^7$ ucf/g	Bacterias: colonias color crema $4,5 \times 10^7$ ucf/g Bacterias: colonias amarillas $7,4 \times 10^5$ ucf/g Hongos y levaduras $2,1 \times 10^7$ ucf/g
Superficie de la pila	Bacterias $6,6 \times 10^7$ ucf/g	Bacterias 2×10^7 ucf/g Hongos y levaduras $2,4 \times 10^7$ ucf/g
Borde inferior de la pila	Bacterias $8,9 \times 10^7$ ucf/g	Bacterias 2×10^6 ucf/g Hongos $1,37 \times 10^7$ Levaduras $2,5 \times 10^7$ ucf/g

pared celular (13), por lo que es importante caracterizar que tipo de microorganismo, lignolítico, celolítico o de otro tipo crece en este sustrato, para definir la estrategia a seguir.

Es de destacar que existen pocas referencias en estudios de caracterización química de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar, así como de métodos de almacenamiento para estos usos.

En nuestro país, de los 5,5 millones de toneladas de residuos de la cosecha, que se producen fundamentalmente en forma de paja, se destina más de un millón de toneladas al alimento del ganado vacuno, quedando alrededor de 4 millones de toneladas de paja-combustible disponible, en los más de 700 centros de acopio y limpieza existentes en todo el país, que equivalen a aproximadamente 700 mil toneladas de petróleo combustible. En su gran mayoría, este potencial se quema sin provecho (3).

Los residuos de la caña de azúcar han sido poco utilizados con otros fines, si tenemos en cuenta que los principales productores de caña de azúcar son países del tercer mundo, donde el empleo de estos es muy costoso por su volumen, heterogeneidad, manipulación, transportación y almacenamiento, de ahí que se emplee como forraje para alimento animal, para quemar y el resto queda en el campo.

CONCLUSIONES

Dada la poca experiencia que existe en el conocimiento sobre la composición, características y posibles usos para la obtención de derivados químicos de alto valor agregado de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar (RAC), se impone la necesidad de continuar estudiando estos aspectos, así como las posibles formas de almacenamiento, sin olvidar las particularidades de esta materia prima, que aunque abundante, necesita evaluarse económicamente para definir si realmente es factible su transportación y almacenamiento para su posterior empleo en la obtención de derivados químicos.

Los resultados obtenidos de manera preliminar muestran que este material no debe ser almacenado por más de nueve meses a granel y sin control microbiológico momento a partir del cual comienza su deterioro.

RECOMENDACIONES

Incluir como parte de los estudios de esta materia prima, diferentes tipos de pulpeo, donde se puedan evaluar las características de la pulpa obtenida, los rendimientos y demás aspectos para la obtención de derivados químicos como lignina, celulosa y hemicelulosas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Botta, S. Estudios morfológicos y Anatómicos de la Caña de Azúcar. Su relación con la sequía. Tesis para optar por el grado de Dr. en ciencias. La Habana. Cuba. 1978.
2. Aguilar, A.; Hernández, B.; Oliva, D. Solución medioambiental sustentable en la cosecha de la caña. www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar24/articulo04.htm 24-5-2012.
3. Fernández, R.J. Energía de la Biomasa: Tipos de Biomasa Y su aprovechamiento energético. Monografías. com S.A. 2011.
4. Pérez, E.; Aguilar, P. Estado del arte del uso energético de los RAC. En: Memorias del II Congreso Internacional de Biomasa. Holanda. 2002.
5. Aguilar, P. Potencialidad energética de los residuos agrícolas de caña. Parte I Disponibilidad durante la cosecha. Revista Cuba-Azúcar, 30 (1): 7-11 2001.
6. Padilla, J. A.; Lois, J. Utilización de los residuos. Cap. V. La industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico Técnica. La Habana. Cuba. pp. 132-146. 1986.

8. Bambanaste, R. El Bagazo. Cap. IV. La industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico Técnica. 1986. La Habana. Cuba. pp. 111-130.
9. De Armas, C.; González, L. La Caña de azúcar como fuente de energía. Cap. II. La industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico Técnica. 1986. La Habana. Cuba. pp. 57- 89.
10. Bambanaste, R. Almacenamiento de bagazo. Cap. IV. La industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico Técnica. 1986. La Habana, Cuba. pp. 121-130.
11. Fernández, J. Biomasa lignocelulósica. Informe interno. Unión de Investigación Producción de la Celulosa del Bagazo Cuba-9. 2010.
12. Triana, O.; Leonard, M.; Saavedra, F.; Fernández, N.; Gálvez, G.; Peña, E. El bagazo de la caña de azúcar. Atlas del Bagazo de la Caña de Azúcar. Cuba-9, GEPLACEA, PNUD, ICIDCA, 1990. pp. 39 - 44.
13. Fernández, N.; Gutiérrez, I.; Triana, O.; I Seminario Internacional sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, GEPLACEA. La Habana. Cuba. 1988. pp 79-101.

CERALBE

Centro de Referencia de Alkoholes y Bebidas

Servicios analíticos

Asesoría tecnológica

Capacitación y entrenamiento

Actividad científico-técnica

LABEB,
Laboratorio Acreditado por
NC-ISO/IEC 17025:06



Pretreatments employed in lignocellulosic materials for bioethanol production: an overview

Danay Carrillo-Nieves^{1,2}, Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas¹,
Olga Sánchez-Collazo¹, Georgina Michelena-Alvarez³, Hector Yznaga-Blanco⁴,
José Luis Martínez-Hernández^{*2}, Cristóbal Noé-Aguilar²

1. Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave 114 No.11901, Marianao 19390, La Habana, Cuba.
2. Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. V. Carranza e Ing. José Cárdenas s/n. República Oriente. 25280. Saltillo, Coahuila. México.
3. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) Vía Blanca 804 y Carr. Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba
4. Centro de Investigación, Oficina de Transferencia de Tecnología, La Habana, Cuba

* Autor por correspondencia: jose-martinez@uadec.edu.mx

ABSTRACT

Lignocellulosic materials are raw materials with high cellulose content and they constitute the most abundant sources of biomass on planet. They are attractive for their low cost and high availability in diverse climates and places for the bioethanol production, however, the main impediment for its use is the appropriate selection from the technological and economic point of view of the stages of pretreatments and hydrolysis, that allow the breaking down of the lignocellulosic matrix to obtain the necessary substrates in the processes of fermentation. Pretreatment is an essential step in the enzymatic hydrolysis of biomass and subsequent production of bioethanol, which have been divided in three groups for its study in: physical-chemical, hydrothermal and biological. The aim of this paper is to analyze the potential of several pretreatment methods for bioethanol production from lignocellulosic materials.

Keywords: Lignocellulosic materials, pretreatments, bioethanol production.

RESUMEN

Los materiales lignocelulósicos son materias primas con alto contenido de celulosa y constituyen la más abundante fuente de biomasa en el planeta. Resultan atractivos por su bajo costo y elevada disponibilidad en diversas locaciones y condiciones climáticas para la producción de bioetanol. Sin embargo, el mayor impedimento para su uso es la selección apropiada desde los puntos de vista económico y tecnológico para las etapas de pretratamiento e hidrólisis que permitan la ruptura de la matriz lignocelulósica a fin de obtener los sustratos necesarios para el proceso de fermentación. El pretratamiento es un paso esencial en la hidrólisis enzimática de la biomasa y la subsecuente producción de bioetanol, y ha sido dividido en tres grupos para su estudio, a saber: físico-químicos, hidrotérmicos y biológicos. El objetivo de este trabajo es el análisis de las potencialidades de varios métodos de tratamiento en la producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos.

Palabras clave: materiales lignocelulósicos, pretratamientos, producción de bioetanol.

INTRODUCTION

Bioethanol is one of the renewable energy sources that replace the use of the fossil fuels partly (1). In the production of ethanol by fermentation of sugary, amylaceous and lignocellulosic raw materials are used. The sugary raw materials have the advantage that their component carbohydrates are in form of monosaccharides and oligosaccharides, and the substrate can be fermented directly by the producing microorganisms (2). The starchy matters contain starch, which cannot be fermented directly, and requires to be previously hydrolyzed by chemical or enzymatic ways with the purpose to obtain sugars that can be fermented by the yeasts (3).

Ethanol has been produced traditionally by fermentation of sugary and starchy raw materials. However, the availability of these raw materials is not enough to cover the demand that requires the production of ethanol. The alimentary and environmental security should be considered as social aspects (4), because those raw materials constitute important sources of foods.

The production of high amount of bioethanol will be possible only if lignocellulosic materials is used (5). Lignocellulosic materials is composed of three main components: cellulose, hemicellulose and lignin (3). Lignocellulosic material is attractive for its low cost and high readiness in diverse climates and places. However, the main impediment for its use is the lack of a cheap technology to degrade the recalcitrant fraction of biomass (1), because pretreatments step and hydrolysis are required to allow break of the lignocellulosic matrix to obtain the necessary substrates in processes of fermentation (6).

Despite the advantages of lignocellulosic materials, the existent technologies for bioethanol production starting from these raw materials are complex and expensive (7). A primordial and decisive step in these processes is the stage of pretreatment of raw material to expose the cellulose or to modify pores in the material to be hydrolyzed and fermented to bioethanol (8-12). Different strategies of pretreatments have been proposed for the processing of biomass, some of which have demonstrated to be effective, nevertheless the profitable commercialization of bioethanol production starting from cellulose to industrial scale still requires study. To know the structural characteristics of lignocellulosic biomass and the changes that happen during pretreatment would help to reduce the costs (13-14). The definition of type of pretreatment to apply depends of the lignocellulosic material that will employ. Due to its importance in processes of bioethanol production, in this paper is shown a background of methods that have been developed for hydrolysis lignocellulose material and to make of

the conversion of lignocellulose in bioethanol an economically viable process.

Lignocellulosic materials

Raw materials with high cellulose content are the most abundant sources of biomass on planet. Lignocellulosic materials only comes from vegetable origin, being the main sources: the forests (timber industry), agricultural cultivations as: cereals (wheat, rice, barley), trash (cane of sugar, sweet sorghum), stubbles (corn), residuals of crops (leaves, branches, grass, fruits, straw) and other industrial residuals as those of industry of paper (15).

Vegetable biomass is composed in 90 % of lignocellulose and its chemical composition is very different from products with high content of sugars or starch. The structure of these materials is composed by organic polymers of high molar mass as: polysaccharides (cellulose and hemicellulose), lignin, extractive (mixes of different organic compound), ash and some inorganic components [9]. The present quantities of each one of these components varies in function of raw materials (16-19). The knowledge of the interactions among cellulose structures, hemicellulose and lignin is incomplete until now (8).

Cellulose

Cellulose is one of the organic compounds more broadly distributed in vegetable kingdom. It is a white substance, not very soluble in water and in other solvents, being the main component of plant cell walls of the superior plants. It is a homopolysaccharide of lineal chain, formed by a great number of units of glucose and composed by three fundamental fractions: α -cellulose (higher mass molar), β -cellulose and γ -cellulose. Hydrolysis of anyone of the varieties of cellulose is difficult and its transformation in glucose requires an energetic treatment. This transformation is made through several stages and immediately before formation of glucose it produces a disaccharides reductor well-known as cellobiose. Cellobiose is formed by two units of D-glucose united (3-20) to each other by a β -(1,4)-glycosidic bonds (21).

Although in the celluloses exist amorphous regions sensitive to the enzymatic degradation, most of them are packed in bigger units called microfibrils, forming in this way a very stable configuration due to the formation of bridge of hydrogen among neighboring macromolecules of cellulose and Van der Waals intermolecular forces, that offers a grade of very high crystallinity and for consequence a certain resistance to the hydrolysis (1).

Each microfibrils is formed by 30-50 cellulose chains and as in almost all the vegetable fibers, the cellulose is associated to other support materials, as hemicellulose and lignin (22).

Hemicellulose

Hemicelluloses is a complex group of heteropolysaccharides that are in major quantity in the tender shafts of plants in growth or in the external cover of the seeds of peas, beans or other vegetables (23). Their monomers component are hexoses D-mannose, D-glucose and D-galactose, as well as the pentoses D-xylose and L-arabinose and they form ramified chains (23). Also, they contain uronic acids as 4- O-methylglucuronic, D-galacturonic and D - glucuronic (24) and acetyl and methoxyl groups. Hemicelluloses of the hard wood is rich in xylans and they contain limited quantities of mannans, and a higher number of acetyl groups in comparison with the soft wood (23). Hemicelluloses of the agricultural waste are similar for their content to hemicelluloses of the hard wood (3). Hemicelluloses of the soft wood are rich in mannans and have a low content of xylans. Hemicelluloses are easily hydrolysable by acids (7). In the plant cell wall, hemicelluloses are the connection between lignin and cellulose and providing a whole cellulose-hemicelluloses-lignin network structure more rigidity (25).

Lignin

Lignin is an amorphous heteropolymer, formed by several acids and phenyl propane units (p-coumaryl, coniferyl, and sinapyl alcohol) (25), united in a three-dimensional, ramified and extremely complex structure with high mass molar (26). It is the more important non carbohydrate component present in the plant cell wall of the mature plant that confers rigidity to the fibers, impermeability and protection to the polysaccharides against microbial attacks (27). It is considered the adhesive that maintains united cellulose fibers and hemicellulose through covalent bonds and bridge of hydrogen. Monomers of lignin are p-hydroxyphenilic units derived of coumaryl alcohol in the agricultural waste, guayacilic units derived of coniferyl alcohol in the soft wood and the siringylic units derived of the sinapyl alcohol in the hard wood (23). Lignin is highly resistant to the chemical and biological degradation.

Pretreatments applied to the lignocellulosic materials

One of the main problems linked to bioethanol production starting from lignocellulosic biomass is the definition of type of pretreatment to apply (28). The pretreatments have as objectives (29):

- To disrupt matrix of carbohydrates to diminish the grade of cristallinity and to increase the quantity of amorphous cellulose, that is more appropriate for the use of lignocellulosic material in the production of biofuels.
- To remove and to separate hemicellulose of cellulose.

- To remove the covered with lignin.
- To increase the available superficial area of material and porosity of cellulose.

During pretreatments, most of cellulose and hemicellulose are hydrolyzed to monosaccharide and lignin is liberated or it can even break down (30-31). The products obtained after the application of pretreatments are diverse and they can be grouped in hemicellulose and cellulose, fenolic compounds (of lignin and extractive) and in minor quantity in inorganic compounds (15).

Literature reports diverse pretreatment methods (32-35) that can be grouped in three groups: physical-chemical, hydrothermal and biochemical. The selection of pretreatment and its application will be in function of structural characteristics and composition of lignocellulosic material that it is studied besides completing such requirements as:

- To avoid degradation or loss of carbohydrates.
- To improve formation of sugars or capacity of later hydrolysis of sugars.
- To avoid formation of inhibitory subproducts for the hydrolysis and/or fermentation.
- Effectiveness at low cost.

Physical- chemical pretreatments

This pretreatment groups alters the physical-chemical characteristics of material and they have as objective to increase the accessible area, the size of the pores, the decrease of the cristallinity of the cellulose and polymerization grade, the partial hydrolysis of hemicelluloses and the partial depolymerization of lignin. They act on cellulose, hemicellulose and lignin improving the hydrolysis process until reaching 25 % and reducing time in 60 %.

The physical methods are characterized because demands big quantities of energy and high costs, being necessary the employment of equipments for the reduction of size of particles to increase the specific surface of the material. Those more used at the moment are the mill of balls, roller, hammer and the colloidal one, achieving a reduction of the size of particles between 1-3 mm, besides extrusion, expansion and pyrolysis methods. Nevertheless, trituration methods are impracticable for big productive scales due to the high energy requirements (29).

Among other methods that have been studied they are the employment of microwaves, radiation with gamma rays and radiation with ray-electronic, but for now these methods based on irradiation and electric means are not ready to be used in industrial scale (8).

On the other hand exists a variety of chemical products as acids, alkalis, organic solvents, agents oxidizers and supercritical flows that are considered as pretreatment agents (32).

In pretreatments with acids in general is used the sulfuric acid (H_2SO_4) for economic reasons and it can include one or several stages. With the diluted acid the pretreatment is carried out in two stages, due to differences that exist between the degradation of cellulose and hemicellulose. The first stage is carried out at low temperatures to maximize the yield of hemicellulose and the second stage at high temperatures to help the hydrolysis of cellulose. The acid addition increases the speed of solubility of the hemicelluloses in comparison with other pretreatments, having little impact in the degradation of the lignin (36-37).

Concentrated acid can be used for the treatment of the solid remainders of the employment of diluted acid, generating an oxidizer medium more aggressive for the destruction of cellulose and lignin. The biomass dries off before the addition of concentrated sulfuric acid and after the treatment, it is added water and heating energy to achieve the liberation of the sugars, producing a gel that can be separated from the residual solid (38).

The use of other acids such as nitric, hydrochloric and phosphoric for this type of pretreatment have been reported (39).

The use of acids destroys the polysaccharides and separates them of the lignin; the obtained liquid contains sugars coming from the hydrolysis of the hemicelluloses and the solid contains part of cellulose and lignin. It is important to control time of hydrolysis because the sugars are unstable on acid environment and they are degraded to aldehydic compound of type of furfural that are inhibitors of the fermentation (40). Also, the costs of equipment to be used are increased, due to the employment of expensive alloys or non metallic materials, as ceramic or bricks of carbon, resistant to the acids (41, 42); due to this is proposed the use of acids diluted to very low concentrations to avoid problems of corrosion and the necessity of a system of acid recovery, improving in this way the economic viability (37).

The acids pretreatments with organic solvents are a variant of the previous pretreatment that replaces the washing with water, carried out to the biomass after having applied the acid, for an organic solvent (43). This pretreatment has been used in biomasses with a high lignin content and it was developed for woody biomasses [44]. This pretreatment allows the total breakup of the present carbohydrates in the lignocellulosic biomass (cellulose and hemicelluloses) and the extraction of lignin, using a solvent of high dilution power at its boiling temperature after having applied the acid (45). The more used acid in this type of pretreatment is the phosphoric acid (H_3PO_4). It is used to break the complex connections of lignin-carbohydrate; hydrolyzes weakly cellulose and hemicellulose to

fragments of low polymerization degree and it removes the acetyl groups of the hemicellulose to form acetic acid (10).

During the pretreatment are formed two phases, a black liquor where can be found the solvent with the dissolved lignin and chemical products and a dense phase with the remaining solids (44). Common solvents are methanol, ethanol, acetone or glycols, which should be recovered, since they can act as inhibitors, afterward. The most used solvent is acetone and a total yields higher than 98% can be reached (43, 46).

This pretreatment can be applied to any lignocellulosic material and has the particularity of separating the lignin of the cellulose more efficiently. With this, a high rate of formation of sugars is reached elevating the yields of fractional conversion and times of reaction are obtained of up to 30 minutes. It can produce a great variety of products like ethanol, lactic acid, xylitol, lignosulfonates, fertilizers, CO_2 , wax and other products (45).

Alkaline solutions of bases as sodium hydroxide (NaOH), NH_3 , calcium hydroxide [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] among others, are used for the hydrolysis in the basic or alkaline pretreatment. Preferably solutions of NaOH are used among 8-12 % (w/w) at temperatures in the interval 353-423K. The time of treatment oscillates among 10-60 min and a breakup of a part of lignin and hemicelluloses is achieved (41, 47).

The pretreatment breaks the plant cell wall for the hemicellulose and lignin, forming as product of the hydrolysis, acetic and uronic acids. All the substituent connected to ester of the hemicellulose and other components of the plant cell wall are cleaved (48). At the same time, the cellulose swells and diminishes the cristallinity, but it suffers an alkaline degradation. The solid product obtained, after be washed and neutralized, presents an excellent biodegradability that makes it more capable for the biofuels production. The liquid residual of this pretreatment presents problem of elimination and recovery (42, 49).

This pretreatment type does not require several reaction steps. The used reagents are cheap and they do not destroy the obtained monosaccharides, neither have they converted them to aldehydes or other undesirable compounds for the later stages; however they cause certain enolization level. The process does not need the employment of direct steam neither high temperatures. The reaction times is short and the materials necessary for the equipment are not expensive (7, 50).

The hydrothermal pretreatments, as hot water, wet oxidation and explosion with vapor processes (noted also autohydrolysis), use heat and water (in liquid phase, vapor or both) to treat the biomass.

In the hot water process, the water is fed at 443 - 503 K as saturated liquid for 45 minutes, but at

pressure and temperature smaller than the required for steam explosion pretreatment [8], causing the hydrolysis of hemicelluloses and lignin in the biomass and the break of the lignocellulosic structure.

Fibers very reactive are generated that are used in ulterior transformations, a high xylose recovery is obtained (88-98 %), high lignin removal (29) and are produced hydrolyzed that inhibit little or only lightly the later fermentation of the glucose. It is reported that it overcoming the steam explosion in the yield of sugars and low formation of inhibitors (17).

The wet oxidation is a process in which the lignocellulosic material is treated with water and air or oxygen, at temperatures above 393 K. Two types of reactions happen: a hydrolytic reaction at low temperatures and an oxidative reaction at high temperatures. The presence of oxygen and high temperature act on the carboxylic acids, fenolic compound and nitrile causing their decomposition with formation of inorganic (carbon dioxide (CO_2), dihydrogen (H_2), dinitrogen (N_2), ammonia (NH_3) and water steam) (51, 52). Studies have demonstrated that the alkali combination and humid oxidation reduce the formation of toxic furaldehydes and fenol aldehydes (53, 54).

In steam explosion the biomass is fed and is agitated continually with saturated steam inside a reactor that operates at high pressures. This cause moisten material for the condensation of water in the surface and penetrates to the interior. By means of an abrupt reduction of the pressure, the water caught inside the cells evaporates violently causing the disruption of the cellular structure due to the internal pressure generated by the instantaneous evaporation. As a result of the explosion, the fibrous material is softened and the steam is recovered (3, 8, 54).

This method is also known as autohydrolysis because during the heating, the acetyl groups present in the hemicelluloses are hydrolyzed to xylose (recovering up to 45-65 %) and the acetic acid formed, contributes to catalyze the hydrolysis of the hemicelluloses, improving the hydrolysis to values above 90 %. The biomass that remains is transformed mainly into a viscous product of cellulose and polysaccharides that it can be digested by enzymes. This process is very efficient in hard wood and it is able to separate the lignocellulose in its three main components. The main inconveniences are the appearance of inhibitory compound, the difficulties to treat soft wood, the low density of the obtained substrate and the loss of sugars in the washing (29, 54).

Chemical agents as CO_2 , NH_3 and SO_2 have been added to this pretreatment with the purpose of optimizing the yields with different raw materials. In the fiber explosion with NH_3 , the material is expo-

sed to high pressure with concentrated liquid ammonia and the costs of process will depend of the energy consumption and of the price of the ammonia. For make it economically feasible, a recovery process should be designed (3, 33, 55). Should be considered the good conditions of operation as: load of ammonia, content of humidity, temperature and time of residence [56].

The explosions with NH_3 or with CO_2 are methods that operate at low temperatures. In this way the degradation of the sugars is avoided. The explosion with CO_2 is less expensive than the explosion with NH_3 and less aggressive to the environment than the employment of NH_3 and SO_2 (33, 55). Often, the explosion is used with CO_2 in a simultaneous way with the organosolv or as second step after the pretreatment with diluted acid (8).

In general, the hydrothermal pretreatments possesses as advantages, in comparison with other pretreatments, that special construction materials are not needed, they don't use chemical substances and they produce less quantities of residuals (17, 32). The fundamental disadvantages of these methods are the high expenses of water and energy, to feed the water to the system, either in form of saturated liquid or saturated steam.

The biological pretreatments with enzymes continue in investigation phase and has been discovered that they allow the biological removal of some specific components, as for example antimicrobial substances. The enzymes are molecules of protein nature, able to catalyze chemical reactions, they can carry out you react region selective and stereoselective, locating a chemical specific group and acting selectively in a single enantiomer or diastereomer, without secondary reactions and their activity can it turns regulated by the presence of inhibitors or activators (57).

Varieties of enzymes have been studied, as well as mushrooms and bacterias, modified genetically that ferment all the biomass in sugars (39, 58). The high specificity of enzymatic reactions is sensitive to changes in the structural properties of the cellulosic substrates. The investigations carried out in this field demonstrate that the differences in the structural properties as the porosity (superficial accessible area), dimensions of the pores, the crystallinity of the cellulose, content of humidity, the polymerization grade and the content in lignin and hemicellulose (60), among diverse cellulosic substrates, influence in the development of the process of enzymatic degradation hindering the accessibility of the enzymes and reducing the efficiency of the hydrolysis (13). All these factors make necessary a pretreatment stage, previous to the hydrolysis of cellulose that alters the structure of lignocellulosic material facilitating the action of the enzymes.

These methods possess a series of advantages like their selectivity, a bigger yield, without the inconvenience of the formation of besides products, they require of a low energetics demands, they consume very few chemical reagents and they are not aggressive to the environment. Due to these reasons the use of enzymes has proliferated for the conversion from the cellulose to units of glucose. The main limitations of the enzymatic hydrolysis are the high cost of the enzymes and the requirement of big reactors due to the slowness of the reaction.

For the process of enzymatic hydrolysis is carried out appropriately the conditions should be adjusted, as the pH and the temperature, being the cellulolytic enzymes obtained of mushrooms of the gender *Trichoderma spp* one of those most studied (11, 58, 59-61).

The enzymes are also produced by other mushrooms and aerobic, anaerobic, mesophilic or thermophilic bacterias and they have been obtained diverse complex commercial (61).

The study of *Trichoderma spp.* cellulase has allowed the characterization of two groups of enzymes: the endoglucanase that acts in the regions of low cristallinity in the cellulose fibers and generates ends in the susceptible chains to the hydrolysis, and the cellobiohydrolases that separate units of cellobiose of the ends of the cellulose chains (61). For the total hydrolysis of cellulose it is necessary a third enzyme, β -glucosidase, which hydrolyse the cellobiose forming units of glucose, but that enzyme is not part of the cellulolytic complex of *Trichoderma spp* (59). The β -glucosidase enzymes and endoglucanase have more likeness for lignin than for carbohydrates, as result there is a smaller efficiency, for that, a previous treatment of the material is required for its delignification (48). The efficiency in the hydrolysis of the lignocellulosic material depends on the concentration of the catalyst, concentration of substrate, time of reaction, concentration of enzyme and hemicellulitic activities (63).

It is important to keep in mind the inhibition of cellulase for the glucose and the cellobiose produced. The cellobiose is the most severe inhibitor and it reduces for retroinhibition the activity of the endoglucanase and cellobiohydrolases. The supplement with β -glucosidase eliminates the inhibition for cellobiose. The inhibition by glucose can be diminished if it is carried out the fermentation simultaneously with the hydrolysis so, the glucose is fermented at the same time that it is formed (3, 64, 65).

During the pretreatment stage, several colateral products are also formed that can affect the fermentation of the hydrolyzed and in high concentrations they inhibit the activity of the enzymes and the yeasts that act later on the hydrolysis processes and fermentation. These inhibitors have been clas-

sified in three groups: aliphatic acids of low molar mass (acetic, formic and levulinic); furaldehydes (furfural and 5 hydroxymethylfurfural (HMF)) and fenolic compounds. The concentrations of these compounds in the hydrolyzed vary in dependence of the matter type, the hydrolysis method and the conditions of the pretreatment (16).

The acetic acid is generated starting from the acetyl groups present in the xylans and the furfural and HMF are formed for the pentoses and hexoses degradation, respectively, especially in pretreatments that are made at high temperatures and low pH of the environments. The furaldehydes can be degraded to compounds of smaller molar mass, breaking down HMF in equimolar quantities of formic and levulinic acids, and furfural in formic acid. Parallely, it can happen partial degradation of lignin and the solubilization of extractive substances, that causes the formation of a great variety of fenolic compounds (16).

It has been demonstrated that the aliphatic acids of short chain in concentrations up to 6 g/L increases the yield of ethanol. Formic acid is more inhibitory than acetic acid, while the levulinic occupies an intermediate position (3). The concentration of inhibitors can increase in the conversion stage, while some inhibitors can be decomposed by the yeasts to form other products. Furfural and HMF concentrations inferior to 3,75 g/L and 6 g/L don't reduce the yield of ethanol (44).

It has been demonstrated that during fermentation, furfural increases the toxicity of other compounds and it is reduced to furfuryl alcohol, which is not toxic, attenuating its inhibitory effect (39, 66, 67). Although HMF is considered less toxic than furfural, its slowest conversion speed makes that this compound remains more time in the means, and its inhibitory effect is more durable (3, 16, 68).

To confront the problem of the inhibition some variants have been studied. An appropriate selection of the conditions of pretreatment allows minimizing the formation of inhibitors, another variant consists on carrying out a removal of the inhibitors of the hydrolyzed before the fermentation. A third option is the selection of specific stumps of the producing microorganism based on evolutionary changes, after the adaptation of the microorganism to the hydrolyzed that contain the inhibitors or as another variant the genetic transformation of the producing microorganism to increase its tolerance to inhibitors (3, 16).

FINAL REMARKS

The lignocellulosic material is a viable candidate as substrate with potentiality to produce bioethanol in big quantities and at low cost, nevertheless deep investigations is still required to achieve that

the process is economically viable. The structure of these materials is composed by organic polymers of high molar mass such as: polysaccharides (cellulose and hemicellulose), lignin, extractive (it mixes of different organic compound), ash and some inorganic components. It is incomplete, even at the present time, the knowledge of the interactions among the cellulose structures, hemicellulose and lignin. One of the main problems linked to the bioethanol production starting from lignocellulosic biomass is the definition of pretreatment type to apply that it allows to break the cellular structure, to increase the accessible surface for the later stage of enzymatic hydrolysis and to eliminate the lignin; for that the optimization of this stage is a primordial step in the process. The pretreatments of hot water, steam explosion, diluted acid, alkaline and organosolv seem to be the better options among the studied pretreatments, keeping in mind that the type of biomass that is studied, defines the pretreatment that should be used. The biological methods using enzymes are efficient if they are preceded of a stage that alters the structure of the lignocellulosic material, facilitating the action of the enzymes.

Factors like the yield of sugars; to avoid the degradation or loss of carbohydrates and to diminish the generation of inhibitory by-products for the hydrolysis and/or later fermentation are some of the addresses that can lead to the reduction of the cost of the bioethanol starting from lignocellulose.

REFERENCES

1. Cuervo, L.; Folch, J.; Quiroz, R. Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol. *BioTecnología* 13(3):11 -25, 2009.
2. Carreón, O.; Ramos, A.; Centeno, S.; Leal, L.; Martínez, A.; Fernández, M. Etanol Carburante. *BioTecnología* 13(3):79 -102, 2009.
3. Martín, C. Estudio de la inhibición de la fermentación de hidrolizados de bagazo de caña de azúcar para la producción de etanol. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Matanzas, Cuba, 2002.
4. Zumalacárregui, L.; Pérez, O.; Lombardi, G.; Rodríguez, P.; Zumalacárregui, B. Cálculo del beneficio ambiental de la caña de azúcar para la producción de etanol combustible. *Ingeniería y Competitividad* 10 (1): 65 -71, 2008.
5. Cardona, C.; Sánchez, O. Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. *Bioresource Technology* 98: 2415-2457, 2007.
6. Gutiérrez, L.; Sánchez, O.; Cardona, C. Process integration possibilities for biodiesel

- production from palm oil using ethanol obtained from lignocellulosic residues of oil palm industry. *Bioresource Technology* 100 (10): 1227-1237, 2009.
7. Tengborg, C.; Galbe, M.; Zacchi, G. Reduced inhibition of enzymatic hydrolysates of steam-pretreated softwood. *Enzyme Microb. Technol.* 28 (9-10): 835-844, 2001.
8. Conde-Mejía, C.; Jiménez-Gutiérrez, A.; El-Halwagi, M. A comparison of pretreatment methods for bioethanol production from lignocellulosic materials. *Process Safety and Environmental Protection* 90: 189-202, 2012.
9. Kaparaju, P.; Serrano, M.; Thomsen, A.; Kongjan, P.; Angelida, K. Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept. *Bioresource Technology* 100: 2562-2568, 2009.
10. Li, H.; Kim, N.; Jiang, M.; Kang, J.; Chang, H. Simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulosic residues pretreated with phosphoric acid-acetone for bioethanol production. *Bioresource Technology* 100: 3245-3251, 2009.
11. Romaní, A.; Garrote, G.; Parajó, J.C. Bioethanol production from autohydrolyzed Eucalyptus globulus by Simultaneous Saccharification and Fermentation operating at high solids loading. *Fuel* 94: 305-312, 2012.
12. Viola, E.; Zimbardi, F.; Valerio, V.; Nanna F.; Battafarano, A. Use of a two-chamber reactor to improve enzymatic hydrolysis and fermentation of lignocellulosic materials. *Applied Energy*, 2013. Article in press.
13. Eisentraut, A. Sustainable Production of Second-Generation Biofuels. IEA Renewable Energy Division: París, 2010.
14. Wi, S.; Chung, B.; Lee, Y.; Yang, D.; Bae, H. Enhanced enzymatic hydrolysis of rapeseed straw by popping pretreatment for bioethanol production. *Bioresource Technology* 102: 5788-5793, 2011.
15. Limayema, A.; Ricke, S. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science* 38: 449-467, 2012.
16. Larsson, S.; Quintana-Sáinz, A.; Reimann, A.; Nilvebrant, N.O.; Jönsson L.J. The influence of lignocellulose-derived aromatic compounds on oxygen-limited growth and ethanolic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Biochem. Biotechnology* 84 (7): 617-632, 2000.
17. Laser, M.; Schulman, D.; Allen, S.; Lichwa, J.; Antal, Jr. Lynd, L.R. A comparison of liquid hot water and steam pretreatments of sugar cane bagasse for bioconversion to ethanol. *Bioresource Technology* 81(1): 33-44, 2002.

18. Lynd, L.; Weimer, P.; Zyl, H.; Pretorius, I. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and molecular biology reviews* 66(5): 506 - 577, 2002.
19. Pandey, A.; Soccol, C. Economic utilization of crop residues for value addition: a futuristic approach. *J. Sci. Ind. Research* 59(1): 12-22, 2000.
20. Brewster, R.; Ewen, W.M. *Química Orgánica. Edición Revolucionaria*. Cuba, 1970. 334-356.
21. Abril, A.; Aroca, G.; Sabatier, J. Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Conferencia. Ciudad Habana, Cuba 2008.
22. Domenech, F. Alcohol a partir de residuos lignocelulósicos. Estado actual y perspectivas. *Memorias del III Taller Internacional de Producción de Alcohol*: Varadero; Cuba, 2004.
23. Sjöström, E. *Wood Chemistry. Fundamentals and applications*. Academic Press: San Diego, EE.UU. 1993.
24. Pérez, J.; Muñoz-Dorado, A.; Rubia, T.; Martínez, E. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int. Microbiol.* 5(1): 53-63, 2002.
25. Li, M.; Fana, Y.; Xua, F.; Sun, R.; Zhangc, X. Cold sodium hydroxide/urea based pretreatment of bamboo for bioethanol production: Characterization of the cellulose rich fraction. *Industrial Crops and Products*, 32(2): 551-559, 2010.
26. Aro, N.; Pakula, T.; Penttilä, M. Transcriptional regulation of plant cell wall degradation by filamentous fungi. *FEMS Microbiol.*, 29(6): 719-739, 2005.
27. Martínez, A.; Rodríguez, M.; York, S.; Preston, J.; Ingram, L. Effects of Ca(OH)₂ treatments ("Overliming") on the composition and toxicity of bagasse hemicellulose hydrolysates. *Biotechnol. Bioeng.*, 69(6): 526-536, 2000.
28. Ballesteros, M. Situación de la producción de etanol de segunda generación de materiales lignocelulósicos. D.d.E.R. CIEMAT, Editor: Sta. Cruz de la Sierra; España, 2007.
29. Aroca, G. Estado del Arte de la Producción de Etanol LC. Seminario Internacional "Impacto de la Producción de Biocombustibles", Escuela de Ingeniería Bioquímica: Itajubá, SP, Brasil, 2009.
30. Sun, Y. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, 83(1): 1-11, 2002.
31. Valdés, A.; Abril, A. Tecnologías para el uso eficiente de combustibles y energías a partir de la biomasa azucarera y otras biomásas incluyendo el uso económico de sus residuos y residuales. Universidad Nacional de San Luís; México; Agosto, 2007.
32. Martín, C.; Carrillo, E. Determination of the chemical composition of tropical cellulosic materials by the detergent sequential system combined with acid hydrolysis. *Cellulose chemistry and technology*, 40(6): 399-403, 2009.
33. Saska, M.; Martín, C. Production of ethanol from bagasse and sugarcane trash-impregnation with sulphuric acid and lime prior to steam explosion, Editor: Diversificación, La Habana; Cuba, 2007.
34. Sun, S.; Li, M.; Yuana, T.; Xua, F.; Suna, R. Effect of ionic liquid/organic solvent pretreatment on the enzymatic hydrolysis of corncob for bioethanol production. Part 1: Structural characterization of the lignins. *Industrial Crops and Products*, 43: 570- 577, 2013.
35. Szengyel, Z. Ethanol from wood. Cellulase enzyme production, PhD thesis, Departamento de Ingeniería Química, University of Lund: Suecia, 2000.
36. Viñals, M.; Bell, A.; Ulloa, Y.; Manganelly, E. Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica, Editor: ICIDCA, La Habana; Cuba, 2006.
37. El-Zawawya, W.; Ibrahima, M.; Abdel-Fattahb, Y.; Solimanb, N.; Mahmoudet, M. Acid and enzyme hydrolysis to convert pretreated lignocellulosic materials into glucose for ethanol production. *Carbohydrate Polymers*, 84: 865-871, 2011.
38. Carvalho, K.G.; Takahashi, G.M.; Alterthum, F. Ethanol production from corn cob hydrolysate by *Escherichia coli* KO 11. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 29(2): 124-128, 2002.
39. Taherzadeh, M.; Karimi, K. Enzyme-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic material. *Bioresources*, 2(4): 707-738, 2007.
40. Taherzadeh, M.J. Fermentation of lignocellulosic hydrolyzates to fuel ethanol by fed-batch technique, PhD thesis, Departamento de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de Chalmers; Göteborg; Suecia, 2007.
41. Bueno, G. Situación mundial sobre tecnologías de etanol celulósico". Universidad de Iowa; Estados Unidos, 2008.
42. Taherzadeh, M.J. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: A review. *Bioresources*, 2(3): 472-499, 2007.
43. Pan, J. Bioconversion of Hybrid Poplar to Ethanol and Co-Products Using an Organosolv Fractionation Process: Optimization of Process Yields. *Biotechnology and bioengineering*, 93(6): 702-728, 2006.
44. Koo, B.W.; Kim, H.Y.; Park, N.; Lee, S.M.; Yeo, H.; Choiet, I.G. Organosolv pretreatment of *Liriodendron tulipifera* and simultaneous saccharification and fermentation for bioethanol

- production. *Biomass and bioenergy*, 35: 1833-1840, 2011.
45. Rossel, C. Saccharification of Sugar Cane Bagasse for ethanol production using the Organosolv Process. Conferencia ISSCT Proc, 2005.
 46. Edgardo, A.; Parra, C.; Freer, J. Bioetanol de madera de *Pinus radiata* D. Don. Comparación entre los pretratamientos por explosión a vapor y organosolv acetona/agua. Conferencia, Facultad de Ciencias Químicas; Universidad de Concepción; Chile, 2006.
 47. Pimentel, D. Ethanol fuels: Energy, economics and environmental impact. *Int. Sugar J.*, 103(5): 491-494, 2001.
 48. Govumoni, S.; Koti, S.; Kothagouni, S.; Venkateshwar, S.; Lingaet, V. Evaluation of pretreatment methods for enzymatic saccharification of wheat straw for bioethanol production. *Carbohydrate Polymers*, 91: 646- 650, 2013.
 49. DeVries, S.S.; Weusthuis, R.A. Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 52(6): 741-745, 1999.
 50. Agüero, G.; Jover, J.; González, E. Avances en la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. Conferencia, Facultad Química-Farmacía; Centro de Análisis de Procesos, 2001.
 51. Varga, E.; Schmidt, A.S.; Reczey, K.; Thomsen, A.B. Pretreatment of corn stover using wet oxidation to enhance enzymatic digestibility. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 10(4): 37-50, 2003.
 52. Klinke, H.B.; Ahring, B.K. Characterization of degradation products from alkaline wet oxidation of wheat straw. *Bioresource Technology*, 82 (1): 15-26, 2002.
 53. Martín, C.; Klinke, H.; Thomsen, A. Wet oxidation as a pretreatment method for enhancing the enzymatic convertibility of sugarcane bagasse. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(5): 426-432, 2007.
 54. Martín, C.; Marcet, M. Comparison of wet oxidation and steam explosion as pretreatment methods for bioethanol production from sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 1(1): 1-5, 2006.
 55. Hasibuan, R.; Wan, R. Through drying of oil palm empty fruit bunches fiber using superheated steam. Proceedings of the 14th International Drying Symposium, São Paulo; Brazil, 2004.
 56. Shen, F.; Kumar, L.; Hub, J.; Saddler, J. Evaluation of hemicellulose removal by xylanase and delignification on SHF and SSF for bioethanol production with steam-pretreated substrates. *Bioresource Technology*, 102: 8945-8951, 2011.
 57. Gil, N.; Ferreira, S.; Amaral, M.; Domingues, F.; Duarte, A. The influence of dilute acid pretreatment conditions on the enzymatic saccharification of *Erica spp.* for bioethanol production. *Industrial Crops and Products*, 32: 29-35, 2010.
 58. Matano, Y.; Hasunuma, T.; Kondo, A. Display of cellulases on the cell surface of *Saccharomyces cerevisiae* for high yield ethanol production from high-solid lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 108: 128-133, 2012.
 59. Jafari, V.; Labafzadeh, S.; Jeihanipour, A.; Karimi, K.; Taherzadeh, M. Construction and demolition lignocellulosic wastes to bioethanol. *Renewable Energy*, 36: 2771-2775, 2011.
 60. Medina-Morales, M.A. Enzymatic bioconversion of agave leaves fiber using Plackett-Burman design. *Agricultural and biological sciences*, 6: 480-485, 2011.
 61. Silva, J.; Mussatto, S.; Roberto, I.; Teixeira, J. Fermentation medium and oxygen transfer conditions that maximize the xylose conversion to ethanol by *Pichia stipitis*. *Renewable Energy*, 37: 259-265, 2012.
 62. Jones, P.; Palligarnai, Æ.; Vasudevan, T. Cellulose hydrolysis by immobilized *Trichoderma reesei* cellulase. *Biotechnol Lett*, 32: 103-106, 2010.
 63. Saucedo, J.; Castro, A.J.; Martinez, M.M; Sosa, C.R.; Jesus Campos, J. Efficient chemical and enzymatic saccharification of the lignocellulosic residue from Agave tequilana bagasse to produce ethanol by *Pichia caribbica*. *J Ind Microbiol Biotechnol.*, 38: 725-732, 2011.
 64. Chang, Y.; Chang, K.; Huang, C.; Hsu, C.; Jang, H. Comparison of batch and fed-batch fermentations using corncob hydrolysate for bioethanol production. *Fuel*, 97: 166-173, 2012.
 65. Kahar, P.; Taku, K.; Tanaka, S. Enzymatic digestion of corncobs pretreated with low strength of sulfuric acid for bioethanol production. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 110(4): 453-458, 2010.
 66. Palmqvist, E.; Grage, H.; Meinander, N.Q, Hahn-Hägerdal, B. Main and interaction effects of acetic acid, furfural, and p-hydroxybenzoic acid on growth and ethanol productivity of yeasts. *Biotechnol. Bioeng.*, 63: 46-55, 1999.
 67. Villegas, M.; Villa, P.; Guerra, M.; Rodríguez, E.; Redondo, D.; Martínez, A. Conversion of furfural into furfuryl alcohol by *S.cerevisiae*. *Acta Biotechnol.*, 12: 351-354, 1992.
 68. Taherzadeh, M.J.; Gustafsson, L.; Niklasson, C.; Lidén, G. Physiological effects of 5-hydroxymethyl furfural (HMF) on *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 53: 701-708, 2000.

instrucciones a los autores

Las contribuciones enviadas deben abordar la temática de todo lo concerniente al procesamiento de la caña de azúcar y sus derivados.

Se aceptarán contribuciones de los siguientes tipos:

1. Memorias Científicas Originales.
2. Comunicaciones.
3. Reseñas.
4. Trabajos de carácter teórico o descriptivo.

Se aceptarán solamente contribuciones inéditas. El envío de éstas supone el compromiso del autor de no someterlas a la consideración de otras publicaciones y de ceder sus derechos a la revista.

Los artículos se someterán al sistema de revisión por pares, en la modalidad abierta al editor asociado, manteniendo el anonimato. Este recurso es inapelable.

Presentación de las contribuciones:

Se entregará una copia digital o se enviará por correo electrónico a: revista@icidca.edu.cu. También se remitirá una copia en papel. Se escribirán en español o en inglés, a dos espacios y en Arial 12 puntos, con una extensión máxima de 25 páginas. El formato a utilizar debe ser 8,5 x 11", los márgenes laterales, superior e inferior deben ser de 2 cm. Las tablas y figuras se insertarán en el lugar exacto y se acompañarán de su correspondiente título y pie de figura. El procesador de texto a utilizar será Microsoft Word. Las tablas deben crearse en este mismo software. Las figuras (fotografías, gráficos, esquemas) deben entregarse en formato JPG o TIF con una resolución de 300 dpi. Las unidades de medida deberán ser las especificadas en el Sistema Internacional de Unidades.

Estructura de las contribuciones:

- Título (en español e inglés): Conciso e informativo.
- Autor(es): Nombres completos y dos apellidos (resaltar en rojo responsable de la correspondencia)
- Institución donde labora(n) el(los) autor(es). Dirección de ésta.
- Correo electrónico del autor o los autores (imprescindible para enviar la copia electrónica del artículo en formato PDF)
- Resumen (en español e inglés): Los informativos son apropiados para las contribuciones del tipo 1 y 2; incluir el propósito de la investigación, así como los principales métodos, resultados y conclusiones. Las contribuciones del tipo 3 y 4 admiten la preparación de un resumen indicativo que exprese el tipo de artículo, los temas fundamentales, y la forma en que son tratados; debe utilizarse la forma impersonal con la partícula se y el verbo en tiempo presente. Se pueden combinar elementos de ambos y el resumen sería indicativo-informativo. El máximo de palabras a emplear debe ser de 200 y deben aparecer en un sólo párrafo.
- Palabras clave (en español e inglés): Términos o frases que describen aspectos fundamentales del contenido del artículo y no deben ser más de cinco.
- Introducción: Situación problemática. Problema de investigación e importancia. Estado del arte del que parte el autor para su aporte.
- En cuanto al desarrollo del artículo:
 - Para las contribuciones de los tipos 1 y 2 resulta más apropiado el esquema Materiales y Métodos, Resultados, y Discusión; las de los tipos 2 y 3 admiten otros subtítulos o epígrafes.
 - Materiales y Métodos: Explicar cómo se procedió.
 - Resultados: Presentar los hallazgos relevantes.
 - Discusión: Analizar e interpretar los resultados obtenidos.

Conclusiones: Consecuencias, deducciones y generalizaciones que emanan de la evidencia aportada por los resultados y su interpretación.

Recomendaciones (si proceden): Sugerencias justificadas.

Agradecimientos (si proceden): Reconocer ayudas significativas de personas e instituciones. En el caso de tratarse de trabajos realizados bajo el financiamiento de donativos internacionales (PGTF, GEF, PNUD, UNESCO, etc.) deben citarse exactamente sus generales.

Referencias Bibliográficas: El sistema aceptado para citar la literatura es el de cita por número según el orden de aparición. En el texto aparecerá el número entre paréntesis. Las referencias bibliográficas se ordenarán por orden de aparición en la lista. Sólo si es imprescindible se citarán artículos no publicados (en prensa). Se citarán todos los autores en caso de que existan seis o menos, cuando sean siete o más, solo se citarán los seis primeros y se agrega *et al.* El autor debe utilizar los signos de puntuación como aparecen en los ejemplos. Todos los títulos se escribirán en su idioma original.

Las referencias bibliográficas quedarán estructuradas según el tipo de documento de la siguiente forma:

Libros y folletos

Autor. Título del libro. Edición. Lugar de publicación: Editorial, año de publicación. Páginas.

Artículos en revistas

Autor. Título del artículo. Revista (Lugar de publicación) volumen (número) : página inicial-página final del artículo, mes año.

Capítulos de libros

Autor del capítulo. Título del capítulo. En: Autor del libro. Título del libro. Edición. Lugar de publicación : Editorial, año de publicación. Página inicial-página final de la parte.

Documentos legales

Título de la ley. (Nombre del Boletín Oficial, número de éste, día mes año de publicación). País.

Artículos no publicados (en prensa)

Autor. Título. Revista. En prensa. Año.

Patentes

Inventor. Título. Clasificación Internacional de Patentes. Fecha de solicitud. País en el que se registra la patente, tipo de documento. Número de certificado de concesión de la patente. Fecha de concesión.

Informes inéditos

Autor. Título del informe. Tipo de informe. Institución académica, año.

Informes publicados

Autor. Título del informe. Lugar de publicación: Organismo/Entidad Editora, año de publicación. (Serie, número de la serie)

Normas

Número de referencia de la norma. Título de la norma.

Textos electrónicos

Autor. Título. [tipo de soporte] Edición. Lugar de publicación: Editorial, fecha de publicación, fecha de actualización/revisión. Páginas. <Disponibilidad y acceso> [Fecha de Consulta].

Bases de Datos

Responsable principal. Denominación de la Base de Datos. [Tipo de soporte] Edición. Lugar de publicación: Editorial, año.

Programa informático

Responsable principal. Denominación del Programa Informático. [Tipo de soporte] Versión. Lugar de publicación: Responsable principal, año. Programa Informático.

Partes de textos electrónicos

Autor de la parte. Título de la parte. [Tipo de soporte] En: Autor del documento fuente. Título del documento fuente. Edición. Lugar de publicación: Editorial, fecha de publicación, fecha de actualización/revisión. Páginas que abarca la parte dentro del documento fuente. <Disponibilidad y acceso> [Fecha de Consulta].

Artículos en revistas electrónicas

Autor. Título del artículo. [Tipo de soporte] Revista. Página inicial-página final del artículo. Volumen, número, mes año. <Disponibilidad y acceso> [Fecha de Consulta]