

ICIDCA

sobre los derivados de la caña de azúcar

Volumen 52 No. 2 mayo - agosto 2018

ISSN - 0138-6204



Í N D I C E

Consideraciones sobre el pago por calidad de la materia prima a partir del rendimiento potencial en caña (RPC)

Héctor Jorge-Suarez, Alberto González-Marrero, Antonio Vera-Méndez y Sergio Guillén-Sosa

3

Determinación del contenido de tierra que entra junto a la caña al ingenio

Rubén Monduí-González, Ramón Consuegra-del Rey

8

Prospectiva tecnológica para el empleo sustentable de la biomasa de la caña de azúcar en las bioeléctricas durante y después de zafra

Antonio Aguilar-Pardo, Juan Fernández-Rodríguez, Dagney Aguilar-Estrada, Yaneisy Díaz Jiménez

13

Estabilidad de fitoestimulantes foliares suplementados con urea como fuente de nitrógeno. Influencia de su concentración y del contenido de sólidos totales

Manuel Díaz-de los Ríos, Tania García-Martínez, Marlen Lorenzo-Maiquez, Ivis Morales-Pérez, Mercedes Reynosa-Blanco y Sheila Quesada-Pestano

23

Evaluación ambiental de una destilería en Cuba

Dania Alonso-Estrada, Norge Garrido-Carralero, Orly López-Delgado

30

Liofilización de bacterias y levaduras de interés industrial

Aidín Martínez-Sánchez, María Teresa Fernández-Santisteban, Gisela González-Pardo, Gisela De Armas-García

33

Producción de ácido levulínico: una revisión bibliográfica

Jessica Rodríguez-Aguilera, Adolfo Brown-Gómez, Amaury Álvarez-Delgado, Georgina Michelena-Álvarez

36

Estudio del escalado de la producción de fructooligosacáridos (FOS) a nivel industrial en la planta de sorbitol

Odalys Capote-Peña, Enrique R. Pérez-Cruz, Alejandro Fonte-Pérez, Marlen C. Alfonso-Lorenzo, Arodis Caballero-Núñez, Ángel Joseph-Marshall, Erduin Luis-Delgado, Ramón Consuegra-del Rey, Yordanis Martínez-Pereira, Guillermo A. González-Pedroso

47

Evaluación del Lebame en el tratamiento de los residuales de Fitomas

Danielis Roget-Guevara, Claudia Fandiño-Rodríguez, Indira Pérez- Bermúdez, Yohana de la Hoz-Izquierdo

56

Transición a la NC ISO 9001:2015 y renovación de la certificación del Sistema de Gestión de la Calidad e Inocuidad Alimentaria del ICIDCA, con alcance a los rones Premium Vigía

Grisel María Ortega-Arias-Carbajal, Maricela Vega-Batista, Idania Blanco-Carvajal, Arlyn Reyes-Linares, Marlyn Pérez-Rodríguez, Tania García-Martínez, Marta González-Martínez, Irma Ramos-Pouza, Marlen Lorenzo-Maiquez, Sidarma Hernández-Castellanos, Arletys González-Ruíz

63

El orden de los autores de un artículo científico, su calidad y la de la revista donde se publica

Jorge T. Lodos-Fernández

71

3

Considerations on the payment for quality of the raw material from the potential performance of sugarcane (PPS)

Héctor Jorge-Suarez, Alberto González-Marrero, Antonio Vera-Méndez, Sergio Guillén-Sosa

8

Soil level determination intake with cane

Rubén Monduí-González, Ramón Consuegra-del Rey

13

Prospective technological for the sustainable employment of the biomass of the cane of sugar in the bioeléctricas during and after harvest

Antonio Aguilar-Pardo, Juan Fernández-Rodríguez, Dagney Aguilar-Estrada, Yaneisy Díaz Jiménez

23

Stability of foliar stimulants supplemented with urea as source of nitrogen. Influence of the concentration and the total solids content

Manuel Díaz-de los Ríos, Tania García-Martínez, Marlen Lorenzo-Maiquez, Ivis Morales-Pérez, Mercedes Reynosa-Blanco, Sheila Quesada-Pestano

30

Environmental evaluation of a distillery in Cuba

Dania Alonso-Estrada, Norge Garrido-Carralero, Orly López-Delgado

33

Freezer drying of bacteria and yeasts of industrial interest

Aidín Martínez-Sánchez, María Teresa Fernández-Santisteban, Gisela González-Pardo, Gisela De Armas-García

36

Production of levulinic acid: a review

Jessica Rodríguez-Aguilera, Adolfo Brown-Gómez, Amaury Álvarez-Delgado, Georgina Michelena-Álvarez

47

Scale up study of fructooligosaccharides (FOS) production at industrial level in the sorbitol plant

Odalys Capote-Peña, Enrique R. Pérez-Cruz, Alejandro Fonte-Pérez, Marlen C. Alfonso-Lorenzo, Arodis Caballero-Núñez, Ángel Joseph-Marshall, Erduin Luis-Delgado, Ramón Consuegra-del Rey, Yordanis Martínez-Pereira, Guillermo A. González-Pedroso

56

Evaluation of Lebame in the treatment of the residuals of Fitomas

Díanelis Roget-Guevara, Claudia Fandiño-Rodríguez, Indira Pérez- Bermúdez, Yohana de la Hoz-Izquierdo

63

Transition to the NC ISO 9001: 2015 and renewal of the certification of the Quality Management and Food Safety System of the ICIDCA, with scope to Vigía Premium rums

Grisel María Ortega-Arias-Carbajal, Maricela Vega-Batista, Idania Blanco-Carvajal, Arlyn Reyes-Linares, Marlyn Pérez-Rodríguez, Tania García-Martínez, Marta González-Martínez, Irma Ramos-Pouza, Marlen Lorenzo-Maiquez, Sidarma Hernández-Castellanos, Arletys González-Ruíz

71

Author's Rank in Scientific Papers, its Quality and the Quality of the Publishing Journal

Jorge T. Lodos-Fernández

Consideraciones sobre el pago por calidad de la materia prima a partir del rendimiento potencial en caña (RPC)

Héctor Jorge-Suarez*, Alberto González-Marrero, Antonio Vera-Méndez y Sergio Guillén-Sosa

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA)
Carretera a CUJAE, Km. 1½, Boyeros, La Habana, Cuba, C.P. 19390.
*hector.jorge@inica.azcuba.cu

RESUMEN

El trabajo partió de considerar una muestra al azar de los datos reportados por el laboratorio de la sonda de la UEB Jesús Rabí con 37 días de molida del ingenio, empleados para conocer la influencia de las variables independientes (brix refractométrico del jugo, porcentaje de pol en jugo y de fibra en caña), con el rendimiento potencial en caña (RPC), los que fueron corroborados con los de molida de los ingenios activos en la zafra 2017 durante 50 días de forma continua. Las variables mencionadas fueron procesadas estadísticamente mediante regresiones de primer, segundo y cuarto orden con el propósito de establecer un modelo de tendencia, usando el paquete STATGRAPHICS PLUS 5.0. Se mostró la relación directa con las variables brix refractométrico del jugo, porcentaje de pol en jugo y de fibra en caña en el RPC, de igual forma; todas ellas y el porcentaje de pol en caña mostraron una fuerte relación con el RPC en la información procesada de la zafra 2017, sin embargo no se encontró relación estadística entre el porcentaje de fibra en caña real del día de molida del ingenio y el RPC, lo que puede estar influenciado por un deficiente cálculo de la fibra en caña.

Palabras clave: caña de azúcar, brix refractométrico, pol en jugo, fibra, rendimiento potencial en caña, RPC.

ABSTRACT

The work was developed in the Sugarcane Researchs Institute, of the AZCUBA Sugar Group. For you realization Jesús Rabí with 37 day took a random sample of the data given by the Laboratory of the sound out of her UEB of grind of the engineer, the mone sthat were used stop knowing the influence of the min dependent variables (Brix refractométrico of the juice, percentage of Pol of the juice and percentage of Fibra in cane), with Potential Performance of Sugarcane (PPS). Also they corroborated the seresults with the ones of ground of the active ingenuities in the sugarcane harvest 2017 during 50 continuities days. The above mentioned variables were processed statistically intervening regressions of early, second and fourth order in order to establish a tendency model used him the package STATGRAPHICS BONUS 5.0. Jesús Rabí got as a result them self with the information of the UEB than the PPS had a direct relationship with the variables percentage of Brix refractométrico in the juice, percentage of Pol in juice and percentage of Fiber, just the same the above mentioned variables just like the percentage of Pol in cane showed a strong relation with the PPS with the information generated of the sugarcane harvest 2017, without I engage the clutch statistical relation between the percentage of Fibra was not found in real cane of the day and the PPS, what can be influenced by a deficient calculation of the Fiber percentage in cane.

Key words: sugarcane, refractometer brix, juice's pol, fibra's percentage, potential performance of sugarcane, PPS.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar en Cuba está favorecido por su posición geográfica extendida entre

los 78° 8' y 84° 57' de longitud occidental y entre los 19° 49' y 23° 17' de latitud norte, encontrando un clima favorable y suelos fértiles para la producción de caña y azúcar (1, 2). Para lograr la sostenibilidad

de la agroindustria azucarera, se requiere de un enfoque de proceso en el que intervienen dos factores importantes: la producción de materia prima en el campo y su extracción en la fábrica (3).

La calidad de la caña de azúcar ha variado a través de los años, como es de esperar para cualquier materia prima que participe en un proceso tecnológico que ha evolucionado con el tiempo y el cambio climático. Por tanto, en la fabricación de azúcar, los parámetros que más interesan van a ser aquellos que tengan alguna incidencia en el proceso industrial (4 - 8).

El pago de la caña se realiza basado en el contenido de sacarosa y de azúcar recuperable de la caña, que considera el contenido de sacarosa en la caña y las pérdidas de esta en el proceso de producción de azúcar (9 -11). Como resultado del pago al productor por la calidad de la materia prima, el rendimiento potencial de la caña (RPC) se ha usado en Australia desde 1930, ajustado a sus condiciones de cultivo y explotación comercial, el cual continuó desarrollándose durante el siglo XX, fue adoptado en la contabilidad azucarera de muchos países productores de azúcar de caña (7, 10) y establece que:

$RPC = 1.50 \text{ pol desmenuzadora } (1 - F + 5/100) - 0.50 \text{ brix desmenuzadora } (1 - F + 3/100)$

En esta ecuación F, es el porcentaje de fibra en caña real de la molida del día, ella relaciona linealmente, en función del rendimiento potencial en caña (RPC), el porcentaje de pol y el brix del jugo primario con la fibra real del día.

En Cuba en el Ministerio del Azúcar (MINAZ), se decidió aplicar la misma con la modificación del coeficiente que multiplica la fibra en el término izquierdo que corresponde al pol de la desmenuzadora y en vez de 5 como en Australia, se determinó usar 6.5 para el coeficiente que resta a la fibra real del día, quedando de la siguiente forma:

$RPC = 1.50 \text{ pol desmenuzadora } (1 - F + 6.5/100) - 0.50 \text{ brix desmenuzadora } (1 - F + 3/100)$

Es motivo de preocupación de directivos y técnicos conocer con anterioridad la caña de que disponen para moler en la siguiente zafra y la posible azúcar a fabricar con cierta eficiencia agroindustrial. Esto es básico en materias de planificación y dirección, razones por las que se le confiere mucha importancia en la ingeniería del proceso (8).

El objetivo del trabajo es determinar la tendencia entre la relación de las variables independientes, brix refractométrico del jugo, porcentaje de pol del jugo y de fibra en caña con el rendimiento potencial de la caña (RPC), partiendo de los datos obtenidos en el laboratorio de la sonda de la UEB Jesús Rabí

en la zafra 2018 y compararlos con los obtenidos en los ingenios en la zafra 2017, por la importancia que tiene su aplicación correcta en el pago al productor cañero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomó una muestra al azar de los datos reportados por el laboratorio de la sonda (LS), o laboratorio de la materia prima o de caña (nombres por los que se le llama indistintamente a esta instalación), de la UEB Jesús Rabí, en la empresa azucarera de Matanzas, la cual contenía 37 determinaciones.

Las variables analizadas fueron: brix refractométrico del jugo (Bx), porcentaje de pol en jugo (Pj), de fibra en caña (F) y rendimiento potencial de la caña (RPC).

Caballero (9), señaló la necesidad de pagar la caña por su calidad y se estableció el sistema de precio partiendo de la siguiente ecuación, que después de 20 años aún está vigente y determina que:

$RPC = 3 Pj/2 * [1 - (Fc + 6.5/100)] - Bj/2 * [1 - (Fc + 3/100)]$

Donde: Pj: porcentaje de pol del jugo primario. Bj: porcentaje de brix refractométrico del jugo primario. Fc: porcentaje de fibra en caña real del día

Con los datos recopilados en el laboratorio de la sonda de la UEB Jesús Rabí, se procedió a calcular las ecuaciones de regresión de primer y segundo orden entre la variable dependiente (RPC) y las variables independientes (brix refractométrico en jugo primario, porcentaje de pol en jugo y de fibra en caña).

Con el propósito de comprobar la tendencia de los resultados de los análisis de regresión fue procesada una data azucarera tomada en la sala de análisis del Grupo Azucarero AZCUBA, consistente en la estadística de molida de los ingenios activos en la zafra 2017 durante 50 días, seleccionados de forma aleatoria, donde se relacionaron las variables brix refractométrico del jugo primario, porcentaje de pol del jugo primario y de fibra en caña de la molida real del día, respecto al RPC calculado, también fue relacionada con esta variable el porcentaje de pol en caña. La regresión entre el porcentaje de fibra en caña del día y el RPC fue llevada hasta el cuarto orden, con el propósito de buscar mejor ajuste entre ambas variables.

En el análisis de los resultados fue utilizado el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las ecuaciones de primer y segundo orden mostraron coeficientes de determinación de 0.95, 0.98 y

0.58, lo que indica que las variaciones del RPC entre 58 y 98 % son explicadas por las variables independientes brix refractométrico del jugo, porcentaje de pol en jugo y de fibra en caña (figuras 1, 2 y 3).

Es de destacar que la relación encontrada entre el porcentaje de fibra en caña y el RPC fue de segundo orden, lo que está en correspondencia con la maduración fisiológica de la caña de azúcar, donde a medida que aumenta el contenido azucarero disminuye el contenido de agua en el tallo y se incrementa la fibra hasta un punto, en que comienza

a afectar el porcentaje de sacarosa, en este caso situado entre 15 y 16 %, a partir del cual el RPC empieza a caer en la curva de tendencia (figura 3).

Las determinaciones azucareras realizadas en la zafra 2017, se presentan en las figuras 4, 5, 6 y 7; donde puede observarse que las ecuaciones de regresión entre el RPC y los porcentajes de brix en jugo y de pol, tanto en jugo como en caña, presentaron coeficientes de determinación entre 77 y 95 %, tendencia que coincide con la explicada en los resultados encontrados en el análisis de la data azu-

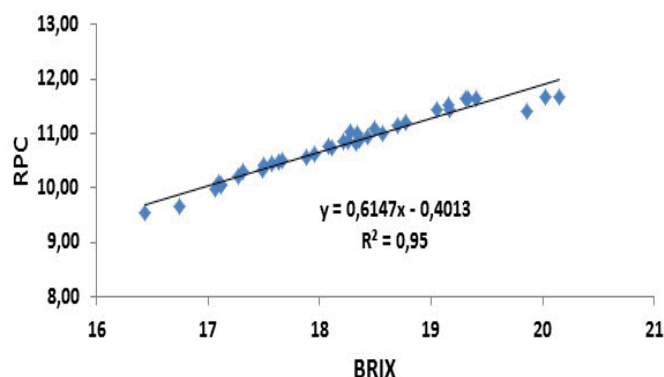


Figura 1. Relación del brix refractométrico con el RPC en la UEB Jesús Rabí, según determinaciones del LS en la zafra 2018.

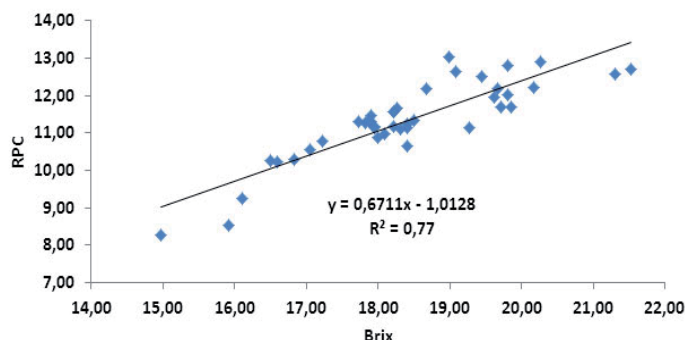


Figura 4. Relación entre el porcentaje de brix y el RPC, según determinaciones realizadas en la zafra 2017.

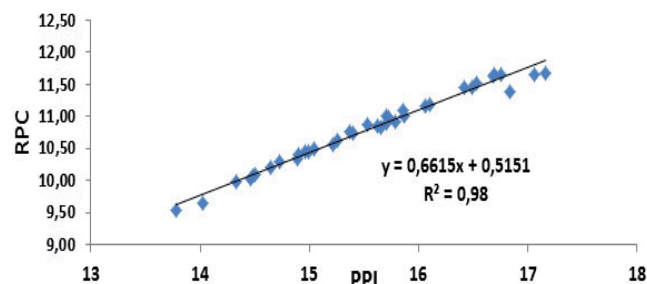


Figura 2. Relación del porcentaje de pol en jugo con el RPC en la UEB Jesús Rabí, según determinaciones del LS en la zafra 2018.

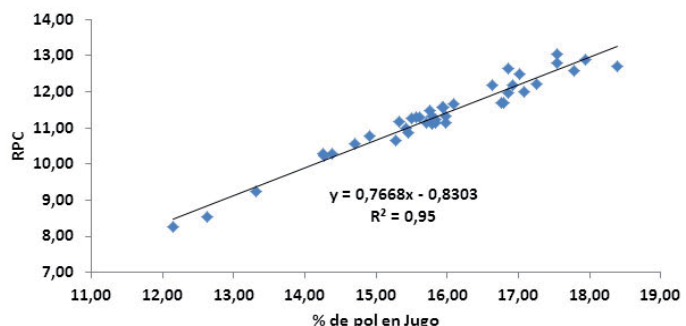


Figura 5. Relación entre el porcentaje de pol en jugo y el RPC, según determinaciones realizadas en la zafra 2017.

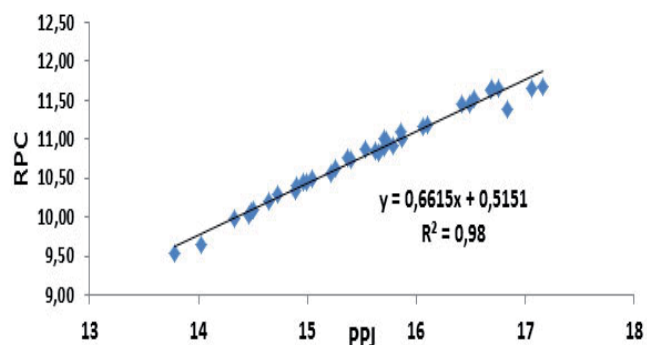


Figura 3. Relación del porcentaje de fibra en caña con el RPC en la UEB Jesús Rabí, según determinaciones del LS en la zafra 2018.

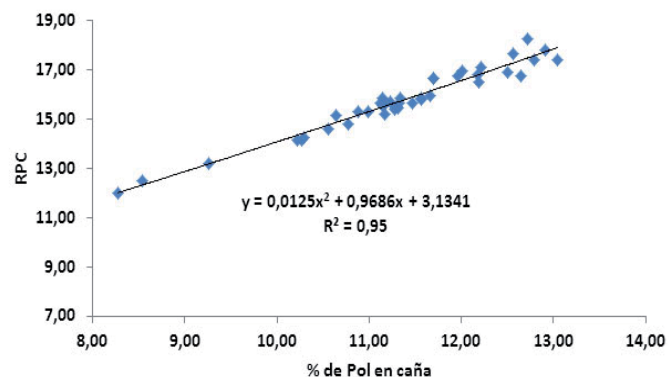


Figura 6. Relación entre el porcentaje de pol en caña y el RPC, según determinaciones realizadas en la zafra 2017.

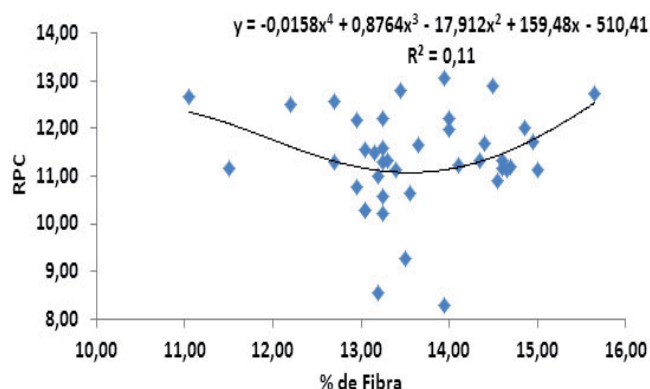


Figura 7. Relación entre el porcentaje de fibra y el RPC, según determinaciones realizadas en la zafra 2017.

carera de las determinaciones del laboratorio de la sonda de la UEB Jesús Rabí en la zafra 2018 y que ratifica los argumentos de lo señalado anteriormente con las tres variables analizadas.

Las ecuaciones demuestran que en la zafra azucarera cubana, teniendo en cuenta las condiciones concretas de su producción agroindustrial, las variaciones del RPC pueden ser explicadas entre un 77 y 95 % a partir del porcentaje de brix, de pol en jugo y en caña (figuras 4, 5 y 6), no así partiendo del porcentaje de fibra en caña real del día y el RPC, donde se observó que no hubo relación estadística entre estas dos variables; pues la ecuación de regresión de cuarto orden (aproximación a la que se llegó buscando el mejor ajuste), presenta un coeficiente de determinación realmente bajo (figura 7).

Este comportamiento no coincide con lo explicado en los resultados encontrados en el análisis de la data azucarera de las determinaciones del laboratorio de la sonda de la UEB Jesús Rabí en la zafra 2018, lo que puede estar influenciado por un deficiente muestreo. El RPC es una variable dependiente y con todas las variables independientes que la integran debe tener una relación matemática lógica (modelo), en menor o mayor medida.

Está señalado que la fibra en caña dificulta la determinación del RPC (10). Cuando se observa la fórmula del cálculo del rendimiento potencial de la caña, la fibra tiene mucha incidencia. Algunas de las variaciones en su determinación pueden deberse a que:

1. La desfibradora del laboratorio no está evaluada. Si no se evalúan las desfibradoras se corre un gran riesgo con relación a la exactitud de la fibra y esto afecta considerablemente el RPC. Si existen dos desfibradoras, las dos deben estar evaluadas. La desfibradora que se emplea para la caña de la estera debe procesar al menos 5 kg de caña y tener un índice de preparación de un 90 %. El uso de desfibradoras que se atascan, conduce a malas prácticas en el proceso de la fibra, pues, en muchas ocasiones se procesa el mínimo, buscan-

do pesar 500 g, lo cual no permite una muestra representativa.

2. La muestra que se toma en la estera no es representativa. Este muestreo no tiene una definición precisa de cómo debe hacerse. Muchos ingenios tienen una caja donde va cayendo fibra, sin embargo, ocurre muchas veces que esa muestra no es distintiva, ya que tienden a pasar solamente, las masas suaves y la corteza exterior que es más larga, no puede pasar. El muestreo de la fibra hay que estudiarlo. Los ingenios de la antigua United Fruit Company, en Oriente, tenían ganchos o tenedores que pinchaban y tomaban muestra de un solo viaje. Un tenedor grande puede tomar hasta 4 kg y a veces es menos riesgoso que una caja. No es continuo, pero toma una buena muestra. Se presentan muchas formas de tomar la fibra en caña, que merita definiciones cuidadosas por la importancia que requiere la determinación.
3. La prensa hidráulica no está verificada. Se deben emplear cilindros según MACU (12) y medir el tiempo correcto. El problema de la variación en la determinación de la fibra en caña es de consideración porque el bagazo representa el 30 % de la caña que se muele y cada por ciento de fibra en caña que sube o baja es equivalente a 0.40 puntos de RPC. De ahí la importancia que tiene, tanto para los cosecheros como para los moledores, pues un incremento en ella, aumenta la norma de pol en bagazo y afecta el pol en caña (10).

Rojas (10) considera que las desfibradoras que tienen los ingenios para la programación de corte son buenas, sin embargo, las que se emplean para desfibrar las cañas de la estera surtidora no cumplen los requisitos necesarios, salvo contadas excepciones. Señala además, que hay que buscar un tomamuestras que sea representativo de la fibra industrial, ya sea continuo o directo. A veces se muele caña con muchas materias extrañas y la fibra industrial es baja y a veces se muele caña seca y la fibra industrial es también baja. Esto no debe ser y es problema de la muestra o de la preparación de la muestra en el laboratorio.

El RPC, como su nombre indica, designa el rendimiento potencial que tiene la caña, o sea, el máximo rendimiento a obtener con una operación óptima en una fábrica de azúcar, donde si el ingenio muele establemente y con seguridad se tiene una buena contabilidad azucarera, entonces se puede a partir de la pol en caña calculada, estimar el RPC que se debe tener, a partir de la fórmula siguiente:

$$\% \text{ pol en caña} = 1.042 * \text{RPC}$$

De todo ello se deduce claramente, que no es posible que el RPC sea superior a la pol en caña y cuando esto ocurre pueden estar presentes dos

problemas fundamentales: falta pol en caña por reportar por deficiente control de las pérdidas o el RPC reportado es más alto que el real (6, 10, 11, 7, 12).

CONCLUSIONES

1. Existe una relación directa entre las variables brix refractométrico, porcentaje de pol en jugo y en caña con el RPC
2. El porcentaje de fibra en caña calculado por el laboratorio de la sonda explicó hasta el 58.3 % de la variación del RPC, mientras que el generado por la fibra del día en la zafra del 2017, no sobrepasó el 11 %.

RECOMENDACIONES

1. Continuar profundizando en la determinación de la fibra en los Ingenios azucareros para realizar el pago por la calidad, de acuerdo con el potencial azucarero que tiene la caña, con el objetivo de continuar perfeccionando los resultados encaminados a la recuperación de la industria agroazucarera cubana.
2. Usar el RPC como un buen indicador para el pago por la calidad de la caña de azúcar a los productores cañeros, siempre y cuando se cuente con las sondas o con los denominados laboratorios del cañero, donde este pueda comprobar las características de su materia prima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blume, H. Environment and cane sugar yield. Proc. XVIII. Cong. ISSCT. Agric. Conm. (1): 285-302. 1983.
 2. González, A. Caracterización del efecto ambiental en estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrido), en la provincia de Las Tunas. Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana: 120 p. 1995.
 3. González, A.; Ferrer, M.; Jiménez, G. ; Casanova, E. Improving the efficiency of the estimation of agricultural and factory yields in Cuba. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, volume 29, 1301-1306. 2016b.
 4. Rein P.W. Statistical analysis of the effect of cane quality on extraction performance. Procc. SASTA. junio-julio: 43-48. 1975.
 5. Rein, P.W. Cane Sugar Engineering. Verlag. Dr. Albert Gartens KG. Berlin. 2007.
 6. Navarro. L y Rostgaard, B. Impacto de la materia extraña en la calidad de los jugos y los indicadores de eficiencia de un central azucarero. ICIDCA: 10 p. 2013.
 7. Casanova. E.; Jiménez, G.; González, A.; Ferrer. M.; Vera, A. Calidad de la Caña vs. Azúcar. Revista Cuba y Caña. ISSN1028-6725. No. 2: 28-33. 2015.
 8. González, A.; Vera, A.; Mesa, J.M.; García, H.; Ferrer, M.; Casanova, E.; *et al.* Estudio y validación de modelos matemáticos para pronósticos del rendimiento azucarero. Revista Cuba y Caña. ISSN1028-6527. No. 1: 34-39. 2016.
 9. Caballero, A. Sistema de precio de la caña por su calidad. Asociación Nacional de Economistas de Cuba. documento impreso. MINAZ. La Habana. Cuba. 1999.
 10. Rojas, E. Factores que influyen en el RPC. Filial Oriental del ICIDCA. 13 p. 29 de febrero 2012.
 11. ICIDCA. Relación calidad materia prima, proceso tecnológico y de los productos finales. Dirección de Tecnología Azucarera y Energía. Habana: 20p. 2013.
 12. ICINAZ. MACU. Manual azucarero de Control Unificado, La Habana, Cuba. 1996.
 13. Jorge, H. Consideraciones para intercambiar sobre el RPC. En: Capacitación de los Servicios Científico-técnicos a Directores de caña de AZCUBA. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). La Habana. Cuba. Diciembre: 77p. 2018.
-

Determinación del contenido de tierra que entra junto a la caña al ingenio

Rubén Monduí-González*, Ramón Consuegra-del Rey

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

*ruben.mondui@icidca,azcuba.cu

RESUMEN

Se determina el contenido de tierra en la caña, el bagazo y la cachaza, su influencia en el proceso industrial azucarero y las condiciones en que puede realizarse, en un laboratorio azucarero, a partir de las cenizas gravimétricas. Se obtuvo que es suficiente una temperatura de 650 °C en la mufla para lograr las cenizas gravimétricas en las muestras de caña, bagazo y cachaza con un tiempo de incineración de tres horas. Se reportan ecuaciones para la determinación de la tierra en caña y bagazo en función de las características de la tierra.

Palabras clave: tierra, caña, bagazo, cachaza.

ABSTRACT

The determination of soil content in cane, bagasse and filter cake is obtained to its influence on the sugar industry process and the conditions under which it can be determined in a sugar laboratory from the gravimetric ash. It was obtained that a temperature of 650 °C is sufficient in the furnace for the determination of the ashes in the cane, bagasse and filter cake samples with an incineration time of three hours. Equations are obtained for the determination of the soil in cane and bagasse according to the characteristics of the soil.

Key words: soil, cane, bagasse, filter cake.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado la cantidad de materias extrañas que se incorpora a los centrales azucareros cubanos. La medición del contenido de tierra se ha concentrado en tres corrientes fundamentales del proceso que son la caña, el bagazo y el jugo mezclado. Hay concordancia en la dificultad que acarrea su medición directa, por lo que se ha extendido la determinación de cenizas gravimétricas (1, 2).

El manual de laboratorio para centrales azucareros sudafricanos (3) establece para la caña limpia, un valor de cenizas de 2 % base seca. La diferencia entre los valores de cenizas entre la caña que se procesa y la limpia, se relaciona con el contenido de tierra, lo que puede ser más o menos exacto atendiendo al porcentaje de materia extraña no tierra que se procesa, la que contiene cenizas solubles.

Acerca de la determinación de la tierra en caña y bagazo se reporta la utilización de técnicas nucleares (2) y del NIR (infrarrojo cercano) (4, 5, 6). Estas técnicas, no extendidas en la práctica industrial, tienen la gran ventaja de la rapidez con que se obtienen los resultados.

En cuanto a la determinación del contenido de tierra en el jugo mezclado, una de las mediciones más frecuentes por su simplicidad, es la basada en la determinación del volumen de sedimento que se obtiene, luego de hacer reposar durante dos horas una muestra de jugo mezclado en una probeta. Esta técnica (1) fue descartada en Sudáfrica atendiendo a su inexactitud, sin embargo constituye un procedimiento relativamente rápido que facilita adoptar acciones operativas en los centrales (7). El conocimiento del contenido de tierra, además de ser necesario para un mejor análisis y control del proceso industrial, es contemplado también para el pago de la caña en algunos lugares (8).

En Cuba, aun cuando el porcentaje de tierra que entra a los centrales ha sido notable, la única determinación cotidiana que se realiza es la de volumen de sedimentos en el jugo mezclado. En la zafra 2017- 2018 se incorporó una técnica para el caso del bagazo, el cual es lixiviado con una cantidad dada de agua (9) a la que se le determina el volumen de sedimento.

DESARROLLO

Se determinaron gravimétricamente las cenizas en caña, bagazo y cachaza a 900 °C en mufla durante 5 horas, con crisoles de 6 cm de diámetro y 8 cm de altura con tres réplicas en cada caso. Los datos aparecen en la tabla 1 con muestras puntuales extraídas de los centrales azucareros en operación.

Estos valores representan solo referencias por cuanto fueron muestras instantáneas y características del momento, pero permiten la determinación de las cenizas en las tres corrientes con las características de cada ingenio.

A las muestras de bagazo y de caña se les adicionó tierra obtenida de suelo de la Empresa Azucarera Boris Luis Santa Coloma, que posee un suelo ferralítico rojo cuya humedad fue de 14,4 % y la ceniza (húmeda) determinada gravimétricamente en las mismas condiciones fue de 70,4 % con diferentes cantidades de tierra. En la figura 1 se muestran los valores para la caña limpia y lavada (sin tierra ni otra materia extraña) y en la figura 2 los del bagazo obtenido en la Empresa Azucarera según la cantidad de tierra que contenía en ese momento más la cantidad aumentada de la misma tierra utilizada anteriormente.

En ambos casos los sistemas responden lineal-

Tabla 1. Valores de las cenizas gravimétricas en las muestras húmedas

Muestras	Cenizas en caña base húmeda (%)	Cenizas en bagazo base húmeda (%)	Cenizas en cachaza base húmeda (%)
1	1.19	1.81	7.85
2	0.68	1.27	8.59
3	0.77	1.00	6.32
4	0.81	1,13	8.37
5	0.92	2.10	6.48
6	0.87	1.23	
7	0.82	2.47	
8	0.93	1.00	

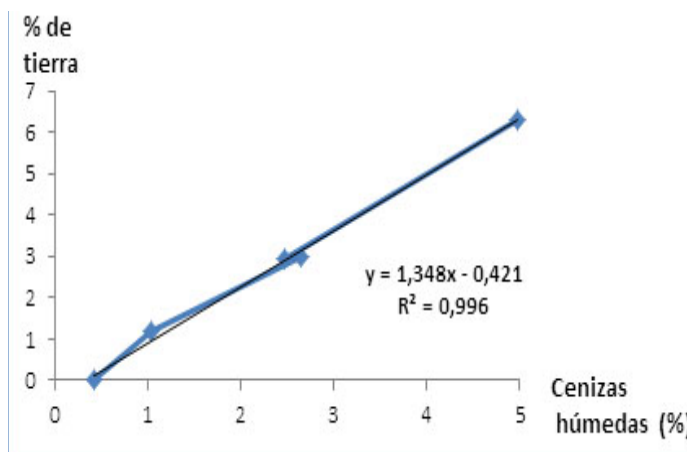


Figura 1. Valores de la tierra adicionada en la caña, previamente limpia y lavada, en función de las cenizas.

mente a la tierra adicionada con respecto a las cenizas húmedas, lo que está en concordancia con lo esperado.

En estas figuras se muestra que en el caso de la caña limpia y lavada puede determinarse el porcentaje de cenizas para un valor de 0.4 % que constituye el valor sin tierra, es decir, la ceniza de la caña sin tierra u otra materia extraña. Se muestra la correlación obtenida. Este valor puede variar dependiendo del tipo de suelo, el uso o no de fertilizantes, el contenido de la humedad de la caña, la proporción de cogollo y pajas, la variedad de la caña, etc. Se ha reportado (10) que el intervalo pudiera estar entre 0.4 y 1.2 % atendiendo al porcentaje de materia extraña (no tierra). Se ha asumido para este trabajo un valor del contenido de agua de la caña de 70.5 % (11).

Una situación similar aparece con el bagazo, aunque en este caso se tiene un porcentaje de cenizas correspondiente a la tierra que poseía ese bagazo en el momento de la obtención de la muestra y la ceniza del bagazo propiamente dicho, para este caso la humedad determinada fue de 35.4 % y por tanto el valor de las cenizas húmedas del bagazo sin tierra adicionada sería de 2.3 %, que incluye también las cenizas correspondientes a la materia extraña en el momento de la toma de la muestra. El valor de las cenizas secas sería de 3.5 %. El valor correspondiente a cero tierra adicionada constituye el valor de la tierra que contenía el bagazo muestreado originalmente.

La determinación de cenizas húmedas en la mufla a 650 °C, a diferentes tiempos de incineración se muestra en la figura 3, teniendo en cuenta los datos reportados en la literatura para esta temperatura (12).

Fue suficiente tres horas de incineración para obtener los valores de las cenizas para peso constante. Otros autores proponen tiempos de incineración inferiores, pero bajo

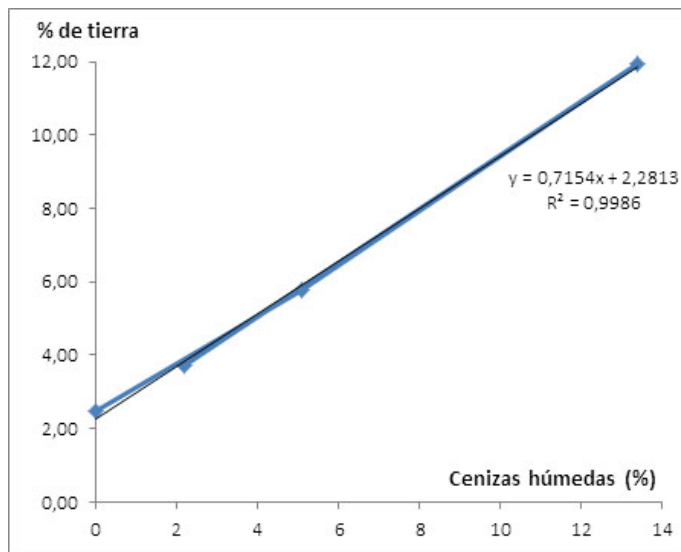


Figura 2. Valores de la tierra adicionada en el bagazo muestreado en función de las cenizas.

condiciones diferentes a las encontradas en este trabajo (12). Las pruebas en las que se destaparon las muestras después de una hora de incineración, permanecían a las tres horas de experimentación con elevadas cantidades de carbón producto de la incompleta incineración.

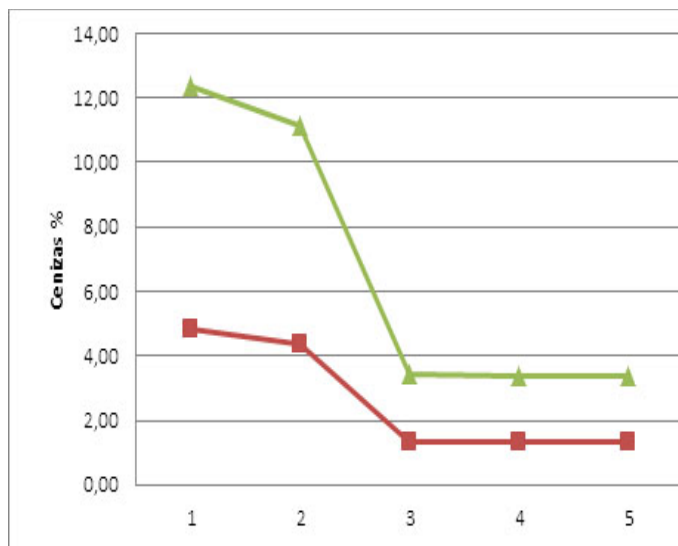


Figura 3. Cenizas húmedas y secas en el tiempo de incineración.

La determinación de cenizas puede resumirse de la siguiente manera: para tres réplicas se toman 20 g de la muestra pesados en balanza analítica a los que se le determina la humedad previamente, en un crisol apropiado (diámetro, 60 mm y altura, 80 mm) teniendo en cuenta el muestreo utilizado en la caña preparada, el bagazo o la cachaza utilizados para otros análisis rutinarios en los ingenios.

Se sitúan las muestras en una mufla a 650 °C durante 3 horas, se abre ligeramente la mufla duran-

te 35 minutos para que circule el aire relativamente frío. Se envía la muestra a una desecadora, durante 40 minutos y se pesan las muestras ya incineradas hasta lograr un peso constante. Se determina el porcentaje de ceniza (húmeda) de la siguiente manera:

$$C_h = 100 \times \frac{(P_{mde} - P_{cr})}{(P_{fm} - P_{cr})}$$

Ch: porcentaje de cenizas húmedas.

Pinc: peso del crisol con la muestra.

Pcr: peso del crisol sin muestra.

Pfin: peso después de la incineración de la muestra

A las muestras se le ajustó el valor de la humedad (H en %) para obtener el valor del porcentaje de ceniza seca (Cs).

$$C_s = \frac{100 \times C_h}{(100 - H)}$$

Se determinó el promedio de las tres réplicas.

Tabla 2. Consumo de tiempo en la determinación de las cenizas

Actividad	Tiempo (minutos)
Calentamiento inicial de la mufla	15
Incineración a 650 °C	180
Abertura parcial de la mufla para enfriamiento	35
En la desecadora	40
Total	270

Estos valores pueden ser aún más bajos, especialmente en cuanto a los tipos de crisoles y sus tapas, sus dimensiones y las características de las muflas empleadas, etc.

De esta manera se puede determinar el contenido de tierra en la caña, en una primera aproximación, a partir del porcentaje de cenizas a través de la relación lineal reportada:

$$\% \text{ tierra en caña} = 1,35 \times C_h - 0,4$$

Varios autores plantean que se puede estimar la cantidad de tierra en la caña directamente a partir de los datos de las cenizas gravimétricas en la caña y en bagazo y se asume que se reste un 2,0 %, debido al uso de caña limpia y seca (3, 12). Como la tierra tiene una humedad y un contenido de cenizas diferentes, este valor debe ser evaluado para cada tierra en particular.

De este modo se puede determinar el contenido de tierra en la caña en las muestras reportadas anteriormente, según puede verse en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de la tierra en la caña y bagazo muestreados

Muestras	% de tierra en caña	% de tierra en bagazo
1	1.2	0.9
2	0.5	0.5
3	0.6	0.3
4	0.7	0.4
5	0.8	1.1
6	0.8	0.5
7	0.7	1.4
8	0.8	0.3

Humedad de la tierra 14.4 % y 70.4 % cenizas, humedad de la caña 70.5 %.

Del mismo modo se puede determinar el porcentaje de tierra en el bagazo, con los valores de humedad del bagazo a partir de la ecuación:

$$\% \text{ tierra en bagazo} = 0.72 \times Ch - 0.4$$

En este caso se ha asumido que el valor de las cenizas del bagazo limpio es similar al de la caña para los efectos del cálculo de la tierra según lo recomienda en la literatura (3, 12). Los datos también aparecen en la tabla 3.

Como la tierra empleada tiene características particulares, será necesario estandarizar las características de la tierra para poder compararla. Se propone una humedad de 15 % y un contenido de cenizas de la tierra de 80 %, en cuyo caso habrá que multiplicar el valor por:

$$\% \text{ de Tierra estandarizada} = \% \text{ de Tierra real} \times \frac{80 \times 14.4}{70.4 \times 15} = 1.47 \times \% \text{ de Tierra real}$$

En el caso de la cachaza, aunque se puede emplear la determinación de las cenizas gravimétricas, aún falta por investigar el efecto de la cal, el fosfato y otros productos solubles e insolubles, etc., para poder determinar el efecto de la tierra sobre dichas cenizas gravimétricas.

CONCLUSIONES

1. La determinación de las cenizas gravimétricas a 650 °C en mufla durante tres horas, constituye un índice de la cantidad de tierra que entra al ingenio con la caña.
2. Esta determinación es apropiada también para la determinación en bagazo y en cachaza.
3. Con las ecuaciones obtenidas puede establecerse, en una primera aproximación, el porcentaje de tierra entrando al ingenio con la caña y puede determinarse también su contenido en el bagazo.

RECOMENDACIONES

1. Validar la técnica de determinación de cenizas gravimétricas en caña, bagazo y cachaza por los laboratorios acreditados.
2. Establecer esta técnica para la determinación de cenizas gravimétricas y la tierra en la caña, el bagazo y la cachaza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vienese, A.; Reid, M. J. Soil in cane: its effect on milling, and methods of removal. Proc. South African Sug. Tech. Assoc. (1997) 71 p 130-134.
2. Lionnet, G. R. E. (1996) A review of cane quality in South Africa and its effect on Factory Performance; ISSCT Factory: Processing, pp. 103-113.
3. Laboratory Manual for South African Sugar Factories including the Official Methods (1985). 435 pp.

4. Ridge, D. R.; Dick, R. G. (1992) Soil intake with cane during chopperharvesting – minimizing the problem. Proc. Aust. Soc.Sug. Cane Technol. pp. 24-30.
 5. Meyer, J. H.; Rutherford, S.; Schaffer, K.J. (1994). The use and potential of near infrared reflectance in the South African sugar industry. In G. D.Batten (ed.) Leaping ahead with near infrared reflectance spectrometry. International Congress on NIR, Victoria pp.204–207.
 6. O’Shea, M. G.; Stauntom S. P. and Burleigh M. (2010). Implementation of on-line Near Inflared (NIR) Technologies for the analysis of cane, bagasse and raw sugar in sugar factories to improve performance. Proc, Int. Soc. Sug. Cane Technol, 27, 15 pp.
 7. González, M. (2018). Comunicación personal.
 8. Birkett, H. S. (1998). Core sampling recommended procedures. Audobon Sugar Institute Report.p 1 – 14
 9. Sanfiel, M.H.; *et al.* (2006). Métodos analíticos en azúcar crudo. Publicaciones Azucareras. 209 pp.
 10. Brokansha, M. A.; Mellet, P. Sampling and analysis of prepared cane for its ash content with reference to estimating soil level in cane. Proc. South. African Assoc. (1977) June, pp. 97 -100.
 11. Rein, P. Cane Sugar Engineering. Varlog Dr. Albert Bartems KG Berlin, (2007), 526 pp.
 12. SASTA. Laboratory Manual Including Official Methods. 5th Ed. (2009).ISBN 978-0-620-43586-4.
-

Prospectiva tecnológica para el empleo sustentable de la biomasa de la caña de azúcar en las bioeléctricas durante y después de zafra

Antonio Aguilar-Pardo^{1*}, Juan Fernández-Rodríguez¹, Dagney Aguilar-Estrada², Yaneisy Díaz-Jiménez¹

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

*antonio.aguilar@icidcamy.azcuba.cu

2. Grupo Empresarial Agropecuario y Forestal Artemisa. Carretera Waterloo, Finca La Esperanza, Artemisa. Cuba.

RESUMEN

En este trabajo se hace un análisis tecnológico prospectivo para el abastecimiento de una bioeléctrica, con biomasa de la caña de azúcar durante la zafra azucarera y después de la zafra; partiendo de la selección de una ruta tecnológica que tiene en cuenta la cosecha integral de la caña, el uso racional de los medios de transporte, el incremento de valor agregado de los productos de la cosecha centralizado en la industria, la eficiencia en la producción de azúcar y el uso energético de la biomasa que se produce en el cultivo de la caña; así como las instalaciones con la logística para el funcionamiento. En zafra con períodos de duración de 150 y 180 días, es posible potencialmente operar la bioeléctrica durante 96 y 116 días, una vez terminada la zafra y obtener períodos de cogeneración anual de 246 y 296 días respectivamente, con entregas importantes de energía eléctrica a la red nacional; mientras con la ruta convencional la biomasa disponible solo alcanza para cogenerar en el período de zafra.

Palabras clave: biomasa cañera, bioeléctricas, prospectiva tecnológica, cogeneración.

ABSTRACT

In this work a prospective technological analysis is made for the supply of a bioelectrical, with biomass of sugarcane during the sugar harvest and after harvest; leaving of the selection of a technological route that keeps in mind the integral crop of the cane, the rational use of the means of transport, the increment of added value of the products of the crop centralized in the industry, the efficiency in the production of sugar and the energy use of the biomass that takes place in the cultivation of the cane; as well as the facilities with the logistics for the operation. In harvests with periods of duration of 150 and 180 days, it is possible potentially to operate the bioelectrical during 96 and 116 days, once finished the harvest for periods of annual cogeneration of 246 and 296 days respectively, with important deliveries of electric power to the National Net; while with the conventional route the alone available biomass reaches to cogenerate in the period of harvest.

Key words: biomass of sugarcane, bioelectrical, prospective technological, cogeneration.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, cuando la demanda de energía ha marcado profundas crisis, unido a la influencia que el sector energético ejerce sobre el medio ambiente, agravado por el uso indiscriminado de los combustibles fósiles; el desarrollo tecnológico está orientado a la obtención y aplicación de nuevas fuentes de energía renovable (FER), como la eólica, la solar, la hidráulica y la biomasa, entre otras. Se ha reconocido también, que entre las FER la energía pro-

cedente de la biomasa tiene mayores posibilidades por su potencialidad, distribución territorial, carácter renovable y amigable con el medio ambiente (1 - 6).

Por su naturaleza, la biomasa tiene una baja densidad relativa de energía; se requiere su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía. La clave para este problema está en ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción de biomasa,

como aserraderos, ingenios azucareros y granjas agropecuarias, donde están presentes los desechos de aserrío, el bagazo de caña, los residuos agrícolas de la cosecha (RAC) y las excretas de animales, entre otras.

La producción y obtención de biomasa procedente de cultivos y explotación de montes, son actividades que se mecanizan todo lo posible para reducir costos y aumentar la productividad.

La naturaleza de la biomasa, requiere de una serie de transformaciones para ser objeto de un aprovechamiento energético eficiente; al margen de su bajo poder calorífico, es conveniente que los combustibles procedentes de la biomasa tengan propiedades como: homogeneidad, uniformidad de las partículas, alta densidad volumétrica, baja humedad relativa y esten exentos de contaminantes; de manera que ofrezcan mayores facilidades de manejo, almacenamiento y transporte; lo cual exige una adecuada selección y utilización de los procesos y equipos mecánicos desarrollados inicialmente para las explotaciones agrarias, donde se ha alcanzado un alto nivel de desarrollo en los últimos años (7 - 12).

Las perspectivas de evolución de este tipo de energía a corto plazo son muy buenas, la Comisión Europea ha fijado escenarios para alcanzar las metas fijadas para el año 2020, donde el consumo anual de biomasa para obtener calor y energía eléctrica llegaría a 1 650 TWh, de las 800 TWh en el 2007.

En el año 2012, la producción de energía primaria con biocombustibles sólidos en Europa alcanzó 82.3 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), superando el valor de 78.2 Mtep de 2011 y los 80.6 Mtep de 2010. En cuanto a España se mantiene en sexta posición en producción entre los países europeos, con alrededor de 5 Mtep de producción de energía en 2012. Es de destacar el caso de Alemania, uno de los países más avanzados en producción y consumo de biomasa junto a Francia; la evolución de instalaciones de calderas de pellets ha sido exponencial desde el año 2006, sumando más de medio millón de calderas instaladas entre el año 2006 y 2010 (13 - 17).

El uso de la biomasa en los últimos años, se ha incrementado también, con el desarrollo de instalaciones de alta capacidad en la producción de energía eléctrica, como; la planta bioeléctrica Ironbridge, la mayor del mundo, con 740 mW, desarrollada en el Reino Unido y puesta en funcionamiento en el año 2013 a base de pellets de madera; en Finlandia funcionan siete plantas con capacidad entre 125 y 265 mW; como en Polonia y Estados Unidos donde también funcionan sendas bioeléctricas, en este rango de capacidad (18 - 20).

La caña de azúcar es un cultivo de alta producción de biomasa por unidad de área, con posibilidades de disminuir el déficit actual de energía, materias primas y deterioro del medio ambiente; de asumir el reto de la cosecha mecanizada de la caña integral verde, al aplicar los resultados alcanzados en el desarrollo tecnológico sobre el aprovechamiento de la masa vegetal. En Cuba, la fuente principal de ener-

gía es el petróleo, seguida por las FER, fundamentalmente la biomasa de la caña de azúcar, la cual puede ser casi el doble, si se considera el potencial de RAC excedente en el campo y en las instalaciones de limpieza de la caña; prioridad estratégica en el programa de desarrollo energético del sector, con proyectos de instalación de bioeléctricas en las fábricas de azúcar con capacidades de generación entre 20 y 60 megavatios (21, 22). En el presente trabajo se realiza un análisis tecnológico prospectivo de abastecimiento energético a una bioeléctrica asociada a la industria azucarera, con biomasa cañera durante y después de la campaña azucarera.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se realizó un balance de masa y energía, en un sistema de cosecha de la caña verde integral que considera el aprovechamiento energético de los RAC con la aplicación de una ruta tecnológica de alta eficiencia y un análisis prospectivo tecnológico para la manipulación, la preparación, el almacenamiento y la alimentación de la biomasa cañera preparada a la bioeléctrica, durante y después de zafra.

Análisis prospectivo

En estudios de diferentes rutas tecnológicas (RT) para la obtención y el manejo de la biomasa (23, 24), especialmente de tres modelos significativos de cosecha integral de caña verde, donde se recoge toda la masa vegetal asociada a la planta (tallo, cogollo, hojas verdes y secas); se concluye que:

1. Las rutas tecnológicas objeto de estudio en la cosecha integral de la caña dan la posibilidad del uso de toda la masa vegetal que se produce en el cultivo de la caña de azúcar, con particularidades específicas.
2. Entre las rutas tecnológicas estudiadas existen diferencias significativas que deben tenerse en cuenta en su selección; en la primera, (RT1) se obtiene un 40 % más de bagazo, con menor número de equipos y operaciones, a la vez que disminuye la eficiencia en el proceso de extracción de jugos; mayores pérdidas de pol en bagazo y menor pureza en el jugo mezclado. Las rutas 2 y 3 mantienen la eficiencia en la industria y se aprovecha una cantidad similar de biomasa (RAC preparado + bagazo). Para ello la RT2 incluye instalación multipropósito en la industria; mientras la RT3 emplea equipos y maquinaria adicional, para la recolección y densificación de los RAC en el campo.
3. La RT2 puede ofrecer mejores resultados, por sus características; uso racional de los medios de transporte, incremento de valor agregado de los productos de la cosecha centralizado en la industria, alta eficiencia industrial en la producción de azúcar y el uso del potencial de biomasa que se produce en el cultivo de la caña.

Principales aspectos con impacto en la eficacia y el costo de las instalaciones

En la concepción de las rutas tecnológicas objeto de estudio, se han tenido en cuenta las operaciones imprescindibles que facilitan el uso eficiente de los RAC mezclados con el bagazo, mediante métodos termoquímicos.

Por la procedencia natural de los RAC, el estudio de su aprovechamiento está asociado a la cosecha de la caña, como subproducto de la campaña; esto da posibilidades a la integración de operaciones agrícolas e industriales, sin afectación de la calidad de la caña molible como materia prima en la producción de azúcar; así como a la obtención de RAC con tamaño de partículas similares a las del bagazo, para el uso de este recurso, sin inversiones significativas adicionales en equipos e instalaciones.

Entre las diferencias significativas que pueden observarse en las rutas tecnológicas objeto de estudio, está el transporte de RAC junto con la caña (RT1 y RT2), lo cual es significativo en el uso energético de este recurso aun cuando implica un incremento de alrededor de 7 % en la capacidad de transporte.

En las rutas estudiadas, solo en la RT3, tomada como referencia, la caña molible es transportada de forma tradicional (independiente de los RAC) y se realizan nueve operaciones; mientras en el resto de las rutas tecnológicas 1 y 2, donde la caña es transportada junto con los RAC, se realizan 5 y 6 operaciones, respectivamente, que incluyen también el uso de RAC. Esto aporta ventajas importantes, por su influencia en los costos de inversión y operación del sistema; en lo adelante el presente estudio expondrá la ruta tecnológica 2, (RT2).

Descripción de la ruta tecnológica 2

Esta ruta cumple con las operaciones de corte y carga mecanizada de la caña integral, transporte de la caña integral al central, limpieza de la caña y preparación de RAC, molida de caña limpia y mezcla de RAC preparado con bagazo.

Se emplea una máquina cosechadora del tipo B que realiza el corte de la planta en la parte inferior,

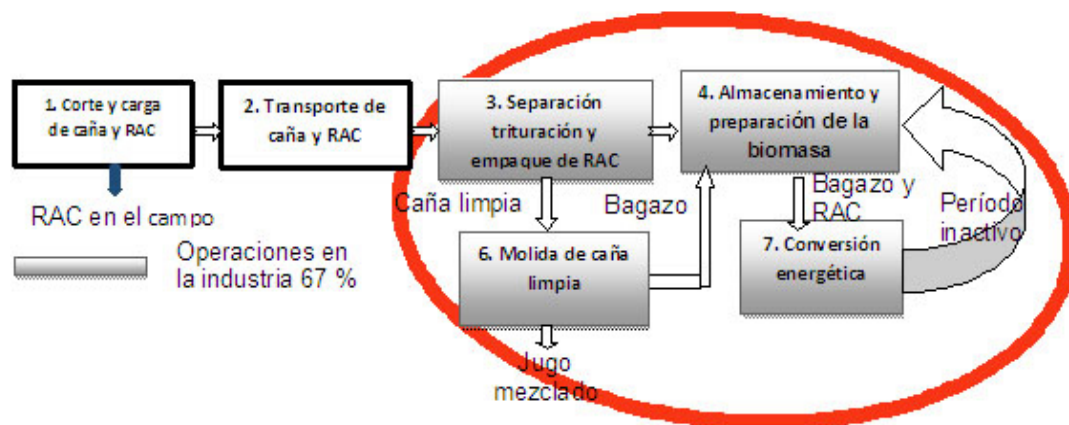
la troza y descarga toda la masa vegetal (tallos, hojas verdes y secas y el cogollo) sobre el medio de transporte. La caña cosechada es transportada al central, donde se incrementa el valor agregado de los productos de la cosecha (caña y RAC), con la limpieza de la caña y la trituration de los RAC, en una instalación multipropósito (I.M) con alta eficiencia de limpieza, dotada con equipos preparadores de RAC. La caña limpia es enviada al tándem de molinos; mientras los RAC preparados se mezclan con el bagazo procedente del último molino para el uso como combustible. La RT2 cumple con el flujo tecnológico, según la figura. 1

CARACTERÍSTICAS Y POTENCIAL DE BIOMASA CAÑERA

Características energéticas

Las características energéticas de la biomasa cañera han sido objeto de estudio en varias ocasiones y diferentes autores. De estudios recientes, están entre otros, la composición estructural y química así como el análisis inmediato de la biomasa cañera y el marabú, este último por sus posibilidades como combustible en Cuba; como aparece en las tablas 1 y 2, respectivamente (25).

El estudio concluye que el bagazo y los RAC presentan mayor contenido de volátiles, resultando combustibles adecuados por su valor calórico. El contenido de azufre, cloro y sales de compuestos metálicos en los RAC, es superior que en el marabú y el bagazo, lo cual está asociado con las características de las cenizas, pudiendo producir incrustaciones y corrosión en la caldera, por lo que su inclusión en las mezclas de biomasa debe ser considerado. El bagazo es la biomasa más segura y efectiva, por su disponibilidad y accesibilidad, mientras que los RAC y el marabú, están más afectados por las condiciones de recolección, transporte y manejo, resultando factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación de la bioeléctrica. El marabú constituye la fuente de biomasa no cañera con un mayor potencial energético para su uso inmediato en Cuba.



Valor calórico inferior de la biomasa cañera

El valor calórico inferior (VCI) de la biomasa cañera a los efectos del balance de energía en la caldera puede ser determinado con la aplicación de la ecuación (1) desarrollada por E. Hugot y los valores de las tablas anteriores, entre otros reportados en la literatura (26 - 28).

Figura 1. Flujo tecnológico con las operaciones requeridas para el aprovechamiento de los RAC en la RT2.

Tabla 1. Composición estructural y química de la biomasa para las bioeléctricas

Análisis (%)	RAC	Bagazo	Marabú	Análisis %	RAC	Bagazo	Marabú
C	41.4	46.2	48.5	Celulosa	45.13	46.60	47.5
H	5.1	6.10	5.12	Lignina	14.11	22.50	22.6
S	0.15	0.07	0.8	Hemicelulosa	29.5	25.10	25.4
N	0.53	0.32	1.1	* Solubilidad	13.35	4.11	13.2
O	44.3	44.71	43.08	Extractivos	3.54	2.8	3.0
Cl	0.4	0.12	0.05	Cenizas	8.02	2.60	1.7
Cenizas	8.02	2,60	1.7				

*solubilidad en agua caliente.

Tabla 2. Análisis inmediato de la biomasa cañera y el marabú

Biomosas	Análisis inmediato (%)				
	Volátiles	Carbón fijo	Cenizas	Humedad	PCS, (kJ/kg)
RAC	84.2	6.6	9.2	70-20	14620
Bagazo	88.6	8.8	2.6	48-52	16722
Marabú	75.5	22.5	1.7	60-50	19800

$$PCI = PCS^* (1-w) - 2442^* [9^*H^* (1 - Cza)^*(1 - w) + w]; [kJ/kg] \quad (\text{Ecu. 1})$$

Donde:

PCS = poder calorífico superior en base seca; [kJ/kg de combustible seco].

PCI = poder calorífico inferior en base húmeda (b.h); [kJ/kg de combustible].

w = contenido de agua del combustible; [kg agua/kg combustible].

H = contenido de hidrógeno en la materia seca libre de ceniza; [kg H₂/kg de combustible seco libre de ceniza].

Cza = contenido de ceniza de la materia seca; [kg de ceniza/kg de combustible seco].

Características físicas

La incorporación al proceso industrial de los RAC procedentes del campo e instalaciones de limpieza de la caña requiere de la recolección, el transporte y previa preparación debido a su heterogeneidad, baja densidad de bulto (20-30 kg/m³), tamaño de las partículas (200-700 mm), alto contenido de humedad (40-60 %) y por la gran cantidad de tierra que incorporan las operaciones de recolección, cuando no son bien elegidas.

Con la aplicación de la ruta tecnológica 2 (RT2) que incluye instalaciones para limpieza de la caña, la operación más importante está asociada a la reducción del tamaño de las partículas, debido a la alta eficiencia que se requiere alcanzar en esta operación, para el empleo directo como combustible o materia prima en la industria. Otra operación importante para el uso de los RAC, es la densificación de la biomasa, ante las necesidades de almacenamiento.

La exigencia en la preparación de los RAC depende de la aplicación previamente elegida y de los

requerimientos del proceso. Si se trata del uso como combustible y la combustión es por el método con frente de llama, sería necesario pulverizar los RAC y alcanzar una humedad cercana a la del equilibrio del material con el medio ambiente. Mientras que cuando el método es en pila o en semisuspensión, como es el caso de la combustión

del bagazo, generalmente en la industria azucarera, los requerimientos de los RAC (29) para el proceso pueden ser los siguientes:

- Tamaño de partícula, ≤ 50 mm (clase - 11,6 mm).
- Contenido de humedad, 25 ± 5 %.
- Contenido de ceniza, 8 ± 2 %.
- Densidad aparente, 45 ± 5 %.
- Valor calórico neto, 2284 Kcal/kg.
- Relación fuel oil/RAC, 4.38.

Potencial de biomasa en la cosecha

Para el balance de labiomasa entre la cosecha y la industria se dispone de la información siguiente:

- En la industria:
 - Caña molida; 4500 t/d.
 - Materia extraña en caña molible; 5.0 %.
 - Bagazo % caña; 30.
- En el campo:
 - Rendimiento en caña limpia; 60 t/ha.
 - Eficiencia de limpieza de la caña; 79, (21 y 58 %).

Del balance de masa, considerando los parámetros anteriores; se obtiene la tabla 3, donde se puede observar, la cantidad de RAC que se produce en el cultivo de la caña, su distribución durante la cosecha y las posibilidades de recuperar hasta el 79 % de los residuos agrícolas. Inicialmente, quedan en el campo 21 % de RAC como cobertura de los suelos. Mientras se recupera el 58 % para el empleo como fuente de energía en la bioeléctrica asociada a la industria, siguiendo la RT2: Caña integral directamente a la instalación multipropósito (IM) de donde

Tabla 3. Distribución y recuperación de los RAC en la cosecha integral de la caña

	Campo		I. L.C		Industria		Total recuperado	
t/ha	3,4	21 %	9.2	58 %	3.4	21 %	12.6	79 %
t/d	241		653		241		894	

I.L.C. = índice de limpieza de la caña

Tabla 4. Potencial de biomasa en la cosecha integral de caña verde; t/día

Tecnología	En el campo		En la industria			Biomasa		
	Cobertura	Recup.	RAC	Caña	Bagazo	Total	Disponible	Recup. %
0	1	2	3	4	5	6	7	8
RT2	241	653	241	4500	1350	2244	2003	89
Convenc.	894	0	241	4500	1350	1350	1350	60

salen RAC triturados, directamente a la caldera y/o empacado hacia el almacén de biomasa y caña limpia directamente al basculador, respectivamente.

Con la aplicación de estos resultados y considerando el bagazo que se produce en la industria se obtiene la información que aparece en la tabla 4, donde se ilustra la distribución de la biomasa producida entre la cosecha y la industria en el central azucarero Jesús Rabí, provincia de Matanzas, insertado en el programa de desarrollo e instalación de bioeléctricas en Cuba, con capacidad de 4500 t/d de caña molible.

Como se puede observar, el potencial de biomasa disponible es 2003 t/d; 48 % mayor con relación a la tecnología convencional (1350 t/d).

Cuando se mezclan ambos combustibles, los RAC representan el 33 %, lo cual exige un riguroso control en las operaciones de recolección y preparación de los RAC en aras de obtener mayor uniformidad de la biomasa y menor cantidad de ceniza en el combustible.

Balance de energía

- Capacidad de la caldera, 110 t/d.
- Eficiencia, 85.0 %.
- Características del vapor: temperatura 485 °C; presión 6.4 Mp; entalpía 825.9 Kcal/kg.
- Características del combustible:
 - Bagazo; humedad 50.0 %; VCI 1861Kcal/kg, Cza 2.6
 - RAC; humedad 35.0 %, VCI 2595Kcal/kg, Cza 9.2 %.
 - Mezcla combustible; RAC 33 %; Hum. 44.9 %; Ceniza 4.78 % y VCI 2103 Kcal/kg.

Del balance de energía en la caldera se obtiene la tabla 5. donde se puede ver que el bagazo necesario en la caldera es 57 t/h, ligeramente superior al bagazo producido en la industria (56 t/h). El período de operación de la bioeléctrica depende de los días de zafra y de la eficiencia de operación del sistema; para alcanzar los resultados esperados la caldera debe operar con

Tabla 5. Combustible necesario en la caldera, kg/h

Energía del vapor, Kcal/h	90850100
Energía del Combustible, Kcal/h	106882471
Combustible necesario kg/h	
Bagazo	57432.816
RAC	41187.8499
Mezcla combustible, 33 % de RAC	50818.5

eficiencia de 87 % con el uso de la tecnología convencional en lugar de 85 % como se había previsto.

Período de operación de la bioeléctrica

En la tabla 6 se ilustra el tiempo de operación de la bioeléctrica en los períodos de zafra y en inactivo.

Con el uso de la tecnología II, para zafas de 150 y 180 días es posible la operación de la bioeléctrica después de terminada la zafra, 96 y 116 días más, con períodos de operación anual de 246 y 296 días respectivamente; mientras que con la tecnología convencional el combustible disponible solo alcanza para cogenerar en período de zafra.

Gestión de aprovisionamiento energético de la biomasa cañera

Para el uso energético de toda la biomasa cañera es necesario disponer en la industria de ins-

Tabla 6. Período de operación de la bioeléctrica

Período de operación	Tecnología II		Tecnología tradicional	
R	1.64 (η = 85 %)		1 (η = 87 %)	
Días de zafra	150	180	150	180
Período inactivo	96	116	0	0
Días de operación	246	296	150	180

R= relación entre el combustible disponible y el combustible necesario.

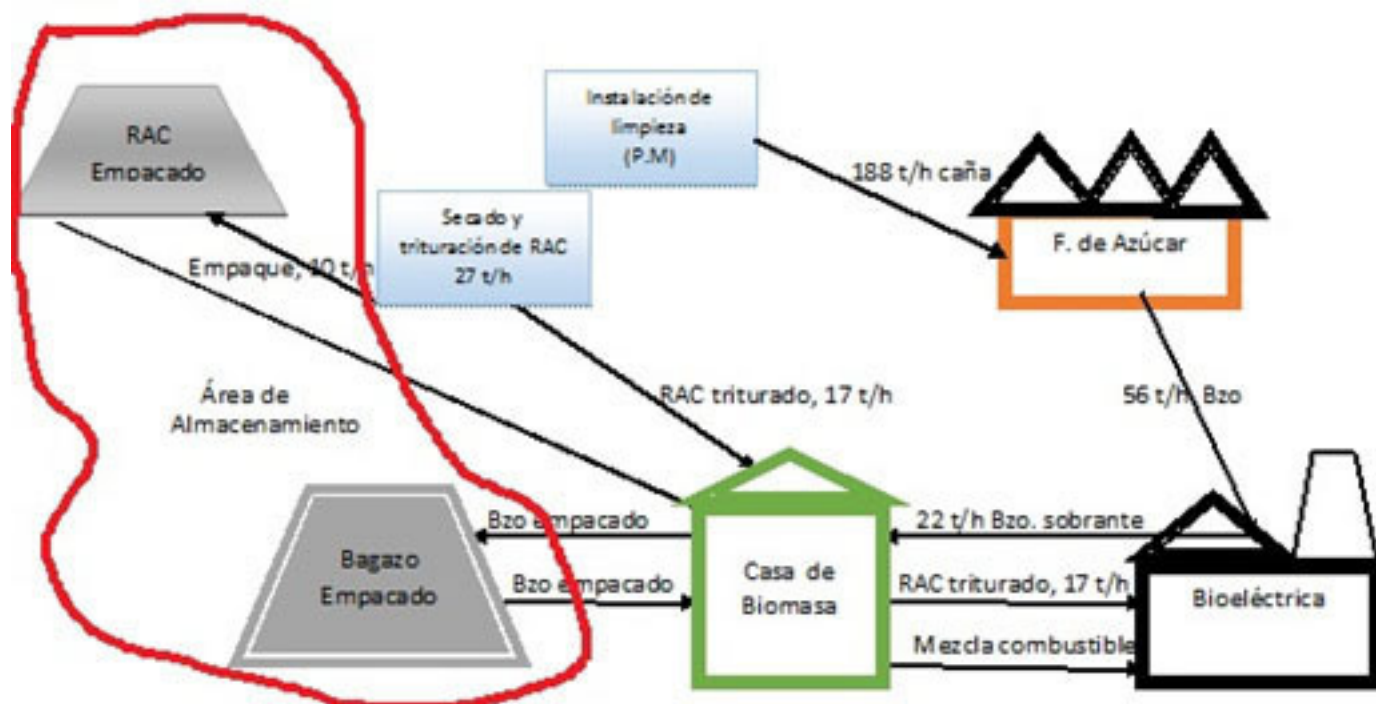


Figura 2. Diagrama de manipulación de la biomasa ena central bioeléctrica azucarera.

talaciones tecnológicas como las que aparecen en la figura 2, donde se ilustra un diagrama de detalle, de aprovisionamiento de biomasa a la bioeléctrica, en zafra y en período inactivo con el uso de la RT2; donde la caña integral cosechada, es transportada a la instalación multipropósito (IM), relativamente cerca de la industria o con arreglos según el Sistema de Cosecha Cubano (SCC) en cada central.

En la IM, la caña limpia es transportada a la industria como convencionalmente, en el SCC. Los RAC, una vez separados de la caña caen por gravedad sobre una plazoleta pavimentada, y son manipulados mediante un tractor con pala frontal, para el secado solar en pilas irregulares, durante 48-72 horas.

Posteriormente, en la plazoleta los RAC son triturados y depositados sobre los medios de transporte (como camiones con tráiler y/o trenes de carreta tiradas por tractores) y transportados a la casa de biomasa, según las necesidades de la bioeléctrica (17 t/h), de donde son alimentados a la caldera junto con el bagazo. El resto de los RAC triturados (10 t/h) son alimentados a la empacadora y almacenados al aire libre en pila piramidal, para uso de la bioeléctrica en período inactivo.

En la industria, el bagazo producido (56 t/h) es

enviado directamente a la bioeléctrica donde una parte (34 t/h) se mezcla con RAC triturado (17 t/h), previamente antes de ser alimentado a la caldera, el resto del bagazo (22 t/h) continúa hasta la casa de biomasa donde se empaqueta y envía al área de almacenamiento.

En período inactivo, la biomasa almacenada es transportada hasta la casa de biomasa (área de preparación y mezclado), con medios de transporte empleados en zafra, para su alimentación posterior a la caldera, en la magnitud requerida y de forma continua y estable.

Logística de aprovisionamiento de biomasa cañera a la bioeléctrica

En la tabla 7 se ilustra la norma o tarea horaria en cada una de las áreas que componen el sistema de preparación y el uso energético de la biomasa cañera en la bioeléctrica asociada a la industria azucarera.

Para garantizar la cantidad de biomasa antes y después de zafra a la bioeléctrica (51 t/h), siguiendo la ruta tecnológica establecida; en sentido general, del balance de masa inicial, como se ilustra en

Tabla 7. Norma por área en la industria para el uso de la biomasa en zafra; t/h

Ruta tecnológica	Planta multipropósito		Central-bioeléctrica			
	RAC		Bagazo	Conversión energética		
	Trituración	Empaque y almacenamiento		Bagazo	RAC	Total
II	27	10	22	34	17	51
Convencional	0	0	0	56	0	56

la tabla 7; en la planta multipropósito es necesario triturar y empacar, respectivamente, 27 t/h de RAC natural y 10 t/h de RAC secado y triturado; mientras en la casa de biomasa se empacan 22 t/h de bagazo húmedo para el almacenamiento, a la vez que en la bioeléctrica se mezclan 17 t/h de RAC con 34 t/h de bagazo procedentes de la IM y la industria respectivamente, para la combustión en la caldera.

Maquinaria y equipos

Manipulación de RAC para el secado solar. Para esta operación en las instalaciones multipropósito (IM) se emplea un tractor alzadora con pala frontal, existente actualmente en las instalaciones de limpieza de la caña y un área pavimentada para el secado solar con dimensiones de aproximadamente 3200 m² para RAC con densidad igual a 28 kg/m³.

Trituración de RAC-secado. Esta es una operación de gran importancia por su influencia en la eficiencia y capacidad en las operaciones subsiguientes. Se emplean máquinas trituradoras con alta capacidad y eficiencia de preparación, como es la trituradora Bio 900 D108 CV con grúa u otro equipo similar (Bio 900 T, Lindner Urraco 75, TG 5000, etc. Ver tabla 8).

Empaque de biomasa. Para esta operación se cuenta en el mercado con una serie de máquinas como las que se relacionan en la tabla 8. El modelo JPW80QT, por las características, como alta capacidad, densidad y dimensiones de las pacas (4-7 t/h, 400 kg/m³ y 800*1100*300-2000), puede ofrecer buenos resultados (30 - 32).

Desmenuzador de pacas. Una vez terminado el período de zafra, almacenamiento y conservación

de la biomasa en pila piramidal a la intemperie, las pacas de biomasa (bagazo y RAC) son transportadas a la casa de biomasa para su desmenuzación y mezclado (bagazo y RAC) previamente a la alimentación de la caldera, en período inactivo. Para esta operación se emplean entre otros equipos con el Molino TB120 con capacidad de 6 t/h y Criba de 1 1/2", con buenos resultados.

Empaque y almacenamiento de la biomasa

Para el proceso de almacenamiento de RAC con fines combustible, se consideran como base para el análisis, las Normas Cubanas (33 - 35), empleadas para el bagazo:

Estas normas exigen la existencia de condiciones como:

- Pavimentar el área requerida.
- La existencia de cisterna con casa de bombas, para cada almacén.
- Reserva de agua equivalente al volumen de una pirámide.
- Instalaciones de bombeo con flujo de entrega superior a los 40 litros/s.
- Grúas necesarias para la formación de las pirámides.

Manipulación del bagazo

El bagazo que sale del tándem de molinos, es separado en dos direcciones a la entrada de la bioeléctrica; una continua directamente a la caldera (34 t/h) donde se le incorpora la cantidad de RAC requerida (17 t/h) y la otra se orienta a las empacadoras para su almacenamiento y empleo en período inactivo (figura 2).

A la salida de las empacadoras, las pacas son

Tabla 8. Características de equipos para la preparación de la biomasa cañera

Equipo/Modelos	Precios	Capacidad	Densidad	Tamaño, mm
Trituradoras				
Bio 900 T		40/60 m ³ /h		
Lindner Urraco 75		Hasta 70 t/h	Alta	
Willibald Multi-cut		210-230 m ³ /h		30-250
Empacadoras				
JPW80QT	15000-150000 USD /u	4-7 t/h	400 kg/m ³	800*1100*300-2000
JPW80QT	20000-90000 USD / Set	7 t/h		
Enerpat; HBA	5000-30000	50-80 pacas/h		800*360*360
YS2-80T			400-500 kg/bala	800*1000*1200-2000
JPW-KT180	6,500-12,000 USD / Set	3,0 t/h		750*430*310 mm
Modelo: BCE	3000-50000 USD /u	6-8 pacas /h	280-350 kg/bala	1200*800*600
Caldema		2-14 t/h.	250-480 kg/m ³	540x1020x600 mm
Trituradoras de paca				
Molino TB120		6 t/h		Criba, 1 1/2"

Tabla 9. Potencial de biomasa preparada en zafras de 150 y 180 días; t/año

Período de zafra	Planta multipropósito		Central-bioeléctrica			
	RAC		Bagazo	Conversión energética		
	Trituración	Empaque y almacenamiento	Bagazo	RAC	Total	
150	97200	36828	79926	122574	60372	182947
180	116640	44193	95911	147089	72447	219536

Tabla 10. Características de las pacas y pila piramidal correspondiente

Objetos	Dimensiones	No. de pacas	Densidad	Peso
	m		kg/m ³	toneladas
Paca	0,8*1,1*1,5	1	400	0.528
Pila piramidal	40*20*10	5248	346,4	2771

Tabla 11. Capacidad necesaria de almacenamiento de biomasa cañera en pila piramidal

Período de zafra	Almacén de RAC		Almacén de bagazo		Totales	
	No. de pacas	No. de pilas	No. de pacas	No. de pilas	Pacas	Pilas
150	69749	13	151375	29	221124	42
180	83699	16	181650	35	265349	51

manipuladas por medio de grúas viajeras que las colocan sobre tráileres, movidos por tractores o camiones y enviadas al área de almacenamiento.

El bagazo empacado es almacenado en pila piramidal con dimensiones de 40 x 20 x 10 m (largo x ancho x altura) y canales de ventilación para el escape de vapores producto de la fermentación con aumento de la temperatura, que a la vez dan lugar al secado del bagazo hasta 20-25 % humedad.

Una parte de los RAC secados y triturados en la planta multipropósito es enviada a la caldera, para su combustión junto con el bagazo; mientras la otra (10 t/h) se empaqueta, transporta y almacena, similarmente como el bagazo.

Dada la distancia entre la planta multipropósito y la bioeléctrica (1-2 km), los almacenes de bagazo y de RAC pueden ser continuos. En general, para la construcción de la pila piramidal, se construyen los 4 primeros pisos o niveles de la pila, manteniéndose un canal de ventilación de 50 cm cada 6 o 12 pacas a lo largo de toda la pila. A partir de ese nivel, la pila va adquiriendo la geometría piramidal hasta alcanzar alturas que oscilan entre 7 y 10 m.

Según lo descrito anteriormente, se obtiene la biomasa preparada, disponible en zafras de 150 y 180 días/año como aparece en la tabla 9.

Con el potencial de biomasa que se produce en zafras de 150 y 180 días como se ilustra en la tabla 9 y la aplicación de máquinas empacadoras como la JPW80QT se obtienen pacas y pila piramidal con las características que aparecen en la tabla 10.

En la tabla se pueden ver las características de

las pacas que se producen en la empacadora JPW80QT para una pila piramidal, con capacidad de almacenar 5248 pacas equivalentes a 2771 toneladas de biomasa.

Considerando la información de las tablas 9 y 10 se obtiene la capacidad necesaria de almacenamiento de la biomasa cañera en pila piramidal al aire libre, como se muestra en la siguiente 11.

Como se ilustra en esta última tabla, para el almacenamiento de la biomasa de período inactivo es necesario construir 13 y 29 pilas de pacas de RAC y bagazo, respectivamente, para un total de 42 pilas en una zafra de 150 días; mientras en una zafra de 180 días es necesario construir 16 y 35 pilas para un total de 51 pilas.

La NC 96-01-05: 89 (33) establece que se creen áreas de almacenamiento de 6 pirámides cada una con distancias entre ellas de 10 m y distancias a la

cerca perimetral y a la próxima zona de almacenamiento de 50 m.

Como en zafras de 150 días se deben armar 42 pirámides; esto implica la creación de 7 áreas de almacenamiento para garantizar la producción anual de biomasa, para período inactivo; dos de RAC y cinco de bagazo. Mientras que en zafras de 180 días es necesario crear nueve áreas de almacenamiento, tres de RAC y seis de bagazo, para preservar la producción anual de biomasa en zafra.

Cada área de almacenamiento tiene una superficie de 7 000 m², lo que significa pavimentar 49 000 y 63 000 m² para zafras de 150 y 180 días respectivamente, para la construcción de los almacenes necesarios, la adquisición de al menos; una grúa/área y la construcción de una casa de bombas con su correspondiente cisterna.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las características de la RT2, como: el uso racional de los medios de transporte, el incremento de valor agregado de los productos de la cosecha centralizado cerca de la industria, la eficiencia industrial en la producción de azúcar y el uso del potencial de biomasa que se produce en el cultivo de la caña; facilitan el aprovechamiento sustentable de los RAC como fuente de energía en las bioeléctricas azucareras.
2. En zafras de 150 y 180 días es posible potencialmente, la operación de la bioeléctrica durante 96

y 116 días después de terminada la zafra, con el uso de la RT2 y períodos de operación anual de 246 y 296 días respectivamente; mientras con la ruta tecnológica convencional el combustible disponible solo alcanza para cogenerar en período de zafra.

3. Para el almacenamiento de la biomasa durante el período inactivo es necesario construir 13 y 29 pilas de pacas de RAC y bagazo, respectivamente, para un total de 42 pilas en siete áreas de almacenamiento en una zafra de 150 días; mientras en una zafra de 180 días es necesario construir 16 y 35 pilas para un total de 51 pilas, en nueve áreas de almacenamiento, así como la adquisi-

ción en ambos casos, de al menos una grúa/área de almacenamiento y la construcción de una casa de bombas con su correspondiente cisterna. Esto significa la pavimentación de 49000 y 63000 m² de superficie en zafas de 150 y 180 días respectivamente, para la construcción de los almacenes necesarios.

4. A partir de los resultados obtenidos, se debe realizar una evaluación técnico-económica de aplicación de la RT2 en la práctica social de la agroindustria azucarera, considerando también su contribución a la preservación del medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Energía Repsol. El petróleo seguirá siendo la fuente energética más utilizada en el 2040. [Http://www.repsol.com](http://www.repsol.com); 2017. Consultado: 04/07/2018; 9:26 a.m.
2. Castro, R. F. Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Río de Janeiro, Brasil. 1992.
3. Unión Europea. La cooperación con los países en vía de desarrollo. Cumbre mundial de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible. 2002.
4. Martínez, P. A. <http://www.cubaenergia.cu/index.php/es/publicaciones/renovable-cu/41-renovable-cu-septiembre-2015/file>; 08/02/2017, 9:05 am. Consultado 04/07/18
5. Fernández, M. A. Ingeniería y Medio Ambiente. N0. 4. 2010. <http://www.alu.ua.es/v/vap/index.htm>; 04/01/2018; 8:56 a.m.
6. Ponvert D. R. y Batista D. Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>. Universidad Agraria de La Habana, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba Consultado: 04/07/2018; 9:26 a.m.
7. Rico, J. Energía de la biomasa. Manuales de energías renovables. Depósito Legal: M-44500-2007. ISBN: 978-84-96680-15-9. Madrid, octubre de 2007. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10374_Energia_de_la_biomasa_07_28e17c9c.pdf. Consultado, 20/05/2018.
8. Máquinas trituradoras de biomasa. http://www.difloral.com.mx/1402857404_máquinas-trituradoras-de-biomasa.html. Consultado: 04/07/2018; 9:26 a.m.
9. Picursa S.A. Desarrollo de maquinaria agrícola. https://www.picursa.com/blog/portfolio_category/trituradoras-agricolas/page/2/. <https://www.interempresas.net/Madera/FeriaVirtual/Equipararte-Serrat-Trituradoras-1114.html>. Consultado: 04/07/2018; 9:26 a.m.
10. Jarabo, F.; Fernández J. Energía de la biomasa. (En línea) Tenerife. Edición S.A. de Publicaciones Técnicas, 1997. ISBN 84-86913-04-7. (Resumen del libro); <http://documentslide.com/documents/energia-de-la-biomasa-55b07ac294761.html>. (Consultado, 10 jul. 2018).
11. Copena R. D., Simón F., X. La producción de energía eléctrica a partir de la biomasa forestal primaria: análisis del caso gallego. Universidad De Vigorevista Galega De Economía, vol. 23, núm. 2 (diciembre 2014), pp. 91-112 issn 1132-2799
12. Marques L. Maquinaria agrícola para la recolección. Ministerio de la agricultura, alimentación y medio ambiente, Hispano Brasileña S.L; www.Hb-ediciones.com. 2014.
13. Sicilia P. J. R. Instalaciones de biomasa. 1ª edición: febrero 2016, Ediciones C/ Rivas, 25 28052 Madrid, España; www.fundacionlaboral.org .Depósito Legal: M-5435-2016
14. Rodríguez, E. Las plantas de energía de biomasa más grandes del mundo. 2 Abr, 2014. <http://www.fierasde-laingenieria.com/las-plantas-de-energia-de-biomasa-mas-grandes-del-mundo/>. Consultado: 06/07/2018, 11:36, a. m

15. Carrasco E. J. La biomasa como recurso para la generación eléctrica. Jornada sobre el estado actual y perspectivas de la generación eléctrica con biomasa en España; Madrid, 12 de Noviembre de 2009.
16. Artigas C. de S. J. "Objetivos en los sectores de la biomasa y los residuos. El ICAREN", Departamento de Biomasa y Residuos. Jornada Técnica PER 2011-2020. Madrid, 13 de diciembre de 2011.
17. Sánchez, Á. Abengoa construirá la mayor planta de biomasa del mundo en Reino Unido. Madrid 10/09/2015. http://economia.elpais.com/economia/2015/08/10/actualidad/1439192868_374966.html. Consultado 16/05/2018.
18. Roca, S. J A. Las 10 mayores plantas de biomasa del mundo. 11/01/2016. <http://elperiodicodelaenergia.com/mail:redaccion@elperiodicodelaenergia.com> 08/02/2017, 11:45, a. m
19. Aguilar P. A., Aguilar E.D. Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de la biomasa en la bioeléctrica. Parte II.ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar 51 (1) enero- abril, 2017.
20. Hernández, S. A., González M. V. M. y Freide O. M. L. Aprovechamiento de las posibles fuentes de biomasa para entregar más electricidad en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez. Revista Centro Azúcar, Vol. 44 No.4 Octubre-Diciembre, 2017.
21. Sánchez, B. Y.; Ahmed,M. E. E.; Piloto, R. R. y Sierens, R. El escenario energético cubano. 17 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura CUJAE. Palacio de las Convenciones de la Habana. Nov. 2014.
22. Fernández B., M. Mejorar la eficiencia energética en la industria azucarera. Semanario Económico y Financiero de Cuba. Febrero de 2014.
23. Aguilar, P. A.; Pérez ,H. J. A.; Aguilar, E.D. Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de la biomasa en la bioelectrica. Parte I. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar 50 (3) sept. - dic., 2016
24. Aguilar ,P. A.; Aguilar, E.D. Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de la biomasa en la bioelectrica. Parte II.ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar 51 (1) enero- abril, 2017.
25. Fernández, J. La biomasa para las bioeléctricas en Cuba: caracterización, disponibilidad y manejo. Congreso de Diversificación 2017. Sección de energía, págs. 662-665.
26. Hugot, E. 1986. Manual para ingenieros azucareros. 3.^a ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. [Links].
27. Martínez, L. T.; Dopíco, R. D.; Triana, H. O.; Medina, E. M. Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 47, núm. 2, mayo-agosto, 2013, pp. 13-22
28. Aguilar, A. Potencialidad de los residuos agrícolas de la caña. Parte I: Características energéticas. Revista Cuba Azúcar No. 1. pág. 38. 1989.
29. Aguilar, A. Apuntes sobre la revalorización de los residuos agrícolas de la caña. Tecnologías de preparación. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 2014, vol. 48, no. 2 (mayo-agosto), pp. 50 – 55.
30. Trituradoras Milanuncios.com.<https://www.milanuncios.com/maquinaria/trituradora-industrial.htm>. Consultado: 04/07/2018; 10:26 a.m.
- 31.<https://spanish.alibaba.com/product-detail/kitchen-waste-crusher-food-waste-shredder-organic-waste-shredder-60627061659.html>. Consultado: 04/07/2018; 10:26 a.m.
32. Prensa empacadora Caldema. <https://www.caldema.com.br/es/productos/componentes/prensa-empacadora> 31. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/semi-automatic-hydraulic-horizontal-baling-press-machine-used-for-sugarcane-bagasse-ys2-80t>.
33. NC 96 - 01 - 05: 89. SNPCI. Almacenamiento de bagazo de caña de azúcar en pacas. Requisitos Generales. Cuba, 1989.
34. NC 96 - 02 – 09: 87. SNPCI. Instalación de sistemas de suministro de agua. Requisitos Generales. Cuba, 1987.
35. NC 96 - 03 - 01: 87. SNPCI. Protección contra las descargas eléctricas atmosféricas. Clasificación y Requisitos Generales. Cuba, 1987.

Estabilidad de fitoestimulantes foliares suplementados con urea como fuente de nitrógeno. Influencia de su concentración y del contenido de sólidos totales

Manuel Díaz-de los Ríos*, Tania García-Martínez, Marlen Lorenzo-Maiquez, Ivis Morales-Pérez,
Mercedes Reynosa-Blanco y Sheila Quesada-Pestano

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
*manuel.diaz@icidca,azcuba.cu

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen algunos aspectos a considerar durante el diseño de bioestimulantes agrícolas líquidos, particularmente aquellos que contienen urea como fuente de nitrógeno y partículas en suspensión. La hidrólisis de la urea en medio acuoso favorece la formación de dióxido de carbono y amoníaco, los que generan presión en los envases. Aunque las pérdidas de urea por este concepto son inferiores al 0.2 % en 100 días, aún en formulaciones concentradas, la imagen del producto puede resultar afectada. Sin embargo, el aumento de la concentración de sólidos favorece la homogeneidad de las suspensiones acuosas, pues se reduce la diferencia de densidades entre las partículas suspendidas y su solución madre con la consecuente reducción de la velocidad de sedimentación.

Palabras clave: bioestimulantes, urea.

ABSTRACT

Some aspects during the design of agricultural liquids bioestimulants are considered in this work, particularly those which use urea as nitrogen source and have suspended solids. Urea hydrolysis in aqueous medium leads to carbon dioxide and ammonia formation which generate pressure inside storage vessels. Although urea loss because that is lower than 0.2 % in 100 days, even in concentrated formulations, commercial product image may be damage. Nevertheless, products with higher solid concentration lead to more stable suspensions because density difference between solid particles and its mother liquids is reduced consistent with the reduction of gravitational sedimentation speed.

Key words: bioestimulators, urea

INTRODUCCIÓN

El empleo de bioestimulantes y fitoestimulantes de aplicación foliar en la agricultura es una disciplina joven, cuyo primer congreso mundial tiene apenas seis años, y su tercer congreso internacional se celebró en noviembre de 2017, en Miami. El desarrollo de nuevos bioestimulantes alcanza cada día un mayor interés, aunque aun se investigan las bases biológicas de sus modos de acción y se discute acerca del significado o nivel de inclusión en el concepto de "Bioestimulante". Una excelente revisión bibliográfica sobre el tema, donde se analizan aspectos con-

ceptuales, la clasificación de los bioestimulantes, los métodos y tecnologías de obtención y principios activos, entre otros aspectos ha sido presentado por Yakhin, O.I. *et al.* (1).

Muchos bioestimulantes, cuyo principio biológicamente activo fundamental es de origen diverso y responden, por tanto, a un determinado mecanismo de acción que incide en la fisiología del cultivo en cuestión donde se aplique, es suplementado con macronutrientes basados en nitrógeno, fósforo y potasio (N:P:K) para potenciar el efecto de los mismos. Dicha suplementación es efectuada con algunos de los fertilizantes portadores de estos compuestos, usualmente empleados en la agricultura, cuya

selección se fundamenta en factores tecnológicos, económicos y de mercado.

El empleo de urea como fuente de nitrógeno resulta particularmente atractivo, dado el alto contenido en su molécula (46 %), su elevada solubilidad en agua y su relativo bajo precio, en comparación con otros fertilizantes aportadores de nitrógeno. Sin embargo, la relativa facilidad con la que la urea se hidroliza en medio acuoso es un aspecto a considerar en el diseño del producto, así como el envase y estabilidad del mismo, durante el almacenamiento. Otro factor importante radica en la posibilidad de descomposición de la materia orgánica presente en el bioestimulante, particularmente su degradación anaerobia. La ocurrencia de uno u otro fenómeno deberán ser investigados durante el diseño del nuevo producto.

Otros aspectos asociados a las ventajas y desventajas del empleo de la urea y la concentración de sólidos solubles y suspendidos en la formulación son presentados en el presente trabajo.

Hidrólisis de la urea y reacciones asociadas

Desde inicios del siglo XX se dispone de evidencias sobre la hidrólisis química de la urea en medio ácido y básico y la misma transcurre a través de un mecanismo complejo que involucra la formación de iones cianatos como intermediarios. Sin embargo, la descripción de su mecanismo y cinética por diversos autores no es del todo coincidente. Warner, R.C., (2) investigó la hidrólisis de la urea bajo diversas condiciones de pH a dos temperaturas diferentes y ratifica la presencia del ion cianato como intermediario fundamental, así como su ulterior descomposición en dióxido de carbono y amoníaco. Un segundo intermediario de la reacción es el ión carbamato; sin embargo, bajo las condiciones de reacción investigadas por Warner, su formación no resultó de significancia cuantitativa, ni la naturaleza reversible de la formación de urea a partir del ión cianato debido a la rápida hidrólisis del cianato en medio ácido. Más adelante Shaw, W.H.R. y Bordeaux, J.J. (3), aportaron información adicional sobre la entropía y energía de activación de la reacción.

El reconocimiento de la presencia del ión cianato en el mecanismo de hidrólisis de la urea llevó a varios investigadores a estudiar de forma particular la descomposición de dicho ión en solución acuosa. Kemp, I.A. (4) mediante el estudio de varios cianatos salinos, determinó la cinética de formación simultánea de urea y carbonato, evidenciando el carácter reversible del proceso. Un estudio similar fue desarrollado por Jensen, M.B. (5, 6) sobre la descomposición del ácido ciánico y cianatos en solución acuosa a pH entre 0 y 7, cuya reacción conduce también a la formación de dióxido de carbono y amoníaco.

Un estudio más reciente de Wen, N. y Brokeer, M.H. (7) ratifica el carácter complejo del mecanismo de la hidrólisis del ión cianato para formar carbonato, amonio y la posterior conversión de este en urea, así como la existencia de una reacción de equilibrio entre el carbonato y el ion amonio para formar carbamato.

Khan, Z. (8) investigó el mecanismo de la hidrólisis alcalina de la urea y el cianato de sodio. Plantea que en medio alcalino el ión cianato es un intermediario estable, mientras que la reacción global puede ser expresada en dos pasos de reacción cuyas constantes son independientes de la concentración de urea.

En los últimos años el monitoreo de la composición de la atmósfera ha permitido detectar mediciones de ácido isociánico en la misma, lo que ha reactivado el interés por los factores cinéticos que originan la aparición de este compuesto y su volatilización, donde la hidrólisis de la urea juega un rol fundamental, dada la cantidad de este compuesto empleado por la agricultura a nivel internacional. Por tal motivo, Borduas, *et al.* (9) han realizado una importante revisión de la cinética del ácido ciánico en fase acuosa y su volatilización.

El análisis de esta amplia información cinética es complicado, por cuanto existen varias formulaciones sobre el mecanismo de reacción, su carácter iónico o molecular y la forma de manifestarse la hidrólisis química en dependencia del pH del medio y la fortaleza iónica del medio. En los últimos años la hidrólisis de la urea a altas temperaturas ha venido ganando interés debido a la capacidad del amoníaco para la captación de CO₂ y otros gases contaminantes (10 - 12).

Esta propiedad de las aminas de capturar el CO₂ resultante de la combustión y su empleo en tecnologías de limpieza de gases ha propiciado el interés por el estudio de la termodinámica y química-física del sistema ternario CO₂-NH₃-H₂O, cuya complejidad se magnifica por la presencia simultánea de especies iónicas como H⁺, OH⁻, NH₄⁺, NH₂COO⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, así como la formación, ya mencionada, de carbamato y la reacción del CO₂ con el amoníaco (13). La cinética de absorción del CO₂ en solución acuosa de NH₃ ha sido estudiada por Derks, P.W.J. y Versteeg, G.F. (14), mientras que la reversibilidad de esta reacción es reportada por Wang, X. *et al.*, (15).

Para el caso de los fitoestimulantes objeto de estudio, los que constituyen una mezcla de aminoácidos solubles en agua suplementados con N:P:K y donde la presencia de especies salinas de estos macronutrientes es factible, mediante su protonación para lograr un equilibrio iónico, la complejidad del sistema se potencia dada la presencia de un grupo amino reactivo frente al CO₂ (16).

En la tabla 1 se resumen los parámetros cinéticos reportados por cada uno de los estudios referenciados. El análisis de la literatura evidencia que

Tabla 1. Resumen de información cinética reportada y/o estimada

<p>R1: Hidrólisis de la urea</p> $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \text{ -----} \rightarrow \text{OCN}^- \quad (8)$ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4\text{COONH}_2 \text{ <----} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \quad (12)$ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OCN}^- \quad (2)$ <p>R2: Formación de urea</p> $\text{NH}_4 + \text{OCN}^- \text{ -----} \rightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2 \quad (4)$ $3\text{OCN}^- + 3\text{H}_2\text{O} \text{ -----} \rightarrow \text{H}_2\text{NCOO}^- + \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{CO}_3^{2-} \quad (7)$ <p>R3: Descomposición del ion cianato</p> $\text{OCN}^- \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \quad (8)$ <p>R4: Formación de carbonato</p> $\text{OCN}^- + 2\text{H}_2\text{O} \text{ -----} \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{NH}_4^+ \quad (4)$ $\text{OCN}^- \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \quad (9)$ $\text{OCN} + 2\text{H}_2\text{O} \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \quad (5, 6)$ <p>R5: Hidrólisis y descomposición del ácido ciánico e ion cianato</p> $\text{HOCN} \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \quad (9)$ $\text{HOCN} + \text{H}_3\text{O}^+ \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 \quad (17)$ $\text{HOCN} + \text{H}^+ \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 \quad (9)$ $\text{HOCN} + \text{H}_2\text{O} \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \quad (5, 6)$ $\text{HOCN} + \text{H}_3\text{O}^+ \text{ -----} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 \quad (5, 6)$				
R	Expresión cinética	Ea (J/mol.K)	K0 (min ⁻¹)	Ref. Bibliog.
R1	$k_1[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$	63730	7.55E5	(8)
	$k_1[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$	60930	4.259E5	(9, 11)
	$k_1[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$		2.05E-3 a 306K 1.147E-1 a 373K Promedios a pH 2-12	(2)
R2	$k_2[\text{OCN}^-]^2$	97552	1.59E14	(4)
	$k_2[\text{OCN}^-][\text{NH}_4^+]$		4.63E-4 a 295K	(7)
R3	$k_3[\text{OCN}^-]$	53340	1.957E5	(8)
R4	$k_4[\text{OCN}^-][\text{H}^+]$	61127	1.594E13	(4)
	$k_4[\text{OCN}^-]$	90512	4.342E10	(9)
	$k_4[\text{OCN}^-]$		2.67E-4 a 295K	(7)
	$k_4[\text{OCN}^-]$	100000	7.2E-9 a 298K	(5, 6)
R5	$k_5[\text{HOCN}][\text{H}]$	49884	2.641E9	(9)
	$k_5[\text{HOCN}][\text{H}^+]$	63000	6.6E-2 a 298K	(5)
	$k_5[\text{HOCN}][\text{H}^+]$	60709	3.151E11*	(17)
	$k_5[\text{HOCN}]$	83000	1.08E-5 a 298K	(5)
	$k_5[\text{HOCN}]$	56250	5.332E8	(9)

Nota: * Estimados para k a 1.5, 13.1 y 25.5 C

la hidrólisis de la urea en medio ácido o básico (R1) transcurre a velocidades diferentes, pero con la formación de los intermediarios cianato o carbamato según estudios de Sahu (10, 11), así como la formación de amoníaco y su forma disociada NH_4^+ dicha etapa posee un carácter reversible (R2), aunque la reacción inversa posee una mayor energía de activación y factor de frecuencia, por lo que predomina la tendencia a la descomposición de la urea.

Por otro lado, el ion cianato conduce en paralelo a la generación de NH_3 y CO_2 (R3) y a la formación de carbonatos en sus formas de CO_3^{2-} o HCO_3^- (R4), según estudios de diversos autores.

La presencia de ácido isociánico como forma no disociada del ion cianato conduce a la posible reacción de hidrólisis de este con la consecuente formación de amoníaco gaseoso y soluble en la fase líquida (R5). La diversidad de reacciones posibles, debido a la hidrólisis de la urea y a la presencia de posibles equilibrios químicos entre las especies involucradas en un sistema cuya presión resulta cambiante durante su almacenamiento, ratifica la existencia de un sistema verdaderamente complejo y variable en el tiempo, a pesar de no mostrar un efecto negativo en las características nutricionales y metabólicas del bioestimulante suplementado con urea como fuente de nitrógeno.

MATERIALES y MÉTODOS

Los bioestimulantes estudiados, compuestos por una mezcla de diversos aminoácidos, suplementados con fósforo, potasio y nitrógeno, este último aportado por urea, fueron formulados a dos concentraciones diferentes. La composición de los mismos se resume en la tabla 2.

Para la evaluación de la estabilidad de los bioestimulantes se planificaron tres tipos de experimentos:

1. Seguimiento en paralelo de muestras de bioestimulantes a dos niveles de concentración de materia seca herméticamente selladas para evaluar

las pérdidas de peso en balanza analítica, debido a la hidrólisis de la urea y el consecuente escape de gases con la apertura de las muestras.

2. Montaje de una muestra única en un recipiente de vidrio de 15 litros de capacidad, para el seguimiento de forma semicontinua de las variaciones en la presión (semanal).
3. Diversas muestras testigos de la producción fueron evaluadas en lo referente al contenido de sólidos totales y pH, con el propósito de medir los cambios sufridos respecto a la caracterización inicial.

Todos los ensayos fueron evaluados mediante el empleo de las mismas técnicas analíticas: determinación de pH, densidad a 20 °C evaluada con densímetros (1,180 -1,240 g/ml), sólidos totales mediante balanza de humedad y secado a peso constante a 60 °C.

Análisis microbiológico mediante la determinación del número de células viables en las muestras: se preparan diluciones decimales seriadas en solución de salina fisiológica o H_2O destilada estéril a partir de la muestra bajo estudio. Se siembran placas, las que se incuban en posición invertida a la temperatura y durante el tiempo requerido para el grupo microbiano bajo estudio.

Bacterias: se incuban a 37 °C, durante 24 - 48 horas.

Hongos o levaduras: se incuban a 30 °C, durante 5 días.

Para el recuento de UFC/mL se seleccionan las placas donde el número de colonias de bacterias se encuentre entre 30-300 y las levaduras y hongos entre 15 y 150, con una distribución adecuada y se leerán bajo un contador de colonias. Fuera de estos rangos el conteo se rechaza por sobre aglomeración o por error estadístico por debajo del límite inferior.

La determinación de la composición de los gases generados se realizó con un analizador de gases GA2000 de Geotechnical Instruments (UK) Ltd.

Tabla 2. Composición de los bioestimulantes estudiados

Propiedad	Bioest. 1	Bioest. 2
Materia orgánica (%)	10.40	16.40
K_2O (%)	4.65	7.35
P_2O_5 (%)	2.70	4.25
N (%)	5.96	9.40
pH	1.87	1.81
Densidad (g/L)	1.15	1.24
Sólidos totales (%)	33	55

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos de medición de composición de los gases reportaron la formación de CO_2 como componente mayoritario, la no formación de metano y trazas de hidrógeno, lo que unido a la evaluación negativa de los ensayos microbiológicos permite concluir que la presencia de gases en los frascos de almacenamiento, no es resultado de una descomposición anaerobia de la materia orgánica presente y sí de la hidrólisis de la urea, a pesar del bajo nivel de pH del medio (<2).

Para la determinación de la variación de la presión se planificaron experimentos de pequeña escala con fitoestimulantes suplementados con urea a dos concentraciones diferentes de contenido de sólidos (33 y 53 %) a los que se le efectuaron determinaciones mensuales de la presión, el pH y el contenido de sólidos; la variación de la presión en los mismos aparece reportada en la figura 1.

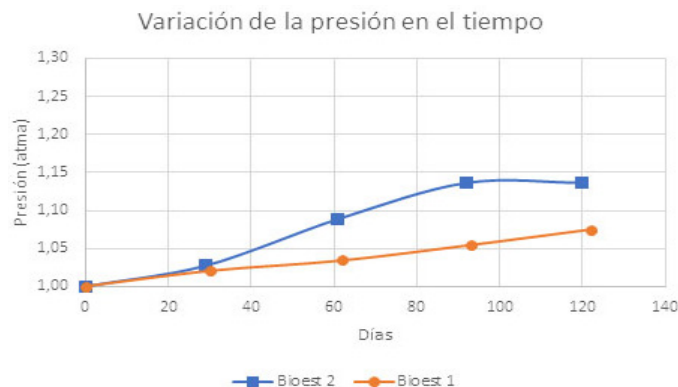


Figura 1. Variación de la presión de dos formulaciones de bioestimulantes con concentraciones diferentes de urea y sólidos totales.

En la gráfica se evidencia que en el producto Bioest 2, la presión generada en el recipiente es superior, lo que es indicativo de una mayor formación de gases, correspondiente a una mayor cantidad de urea hidrolizada por disponer esta formulación de un mayor contenido de la misma. Sin embargo, en la figura 2 se muestran los cambios porcentuales de pérdida de materia por concepto de escape de los gases CO_2 , NH_4 y vapor de agua. Se observa que las pérdidas, aún en las formulaciones concentradas son inferiores al 0.2 % al cabo de los 100 días de producidas, lo que explica que aún cuando el producto se aplique con posterioridad a los 100 días de producido, su efecto sobre las plantas sigue siendo positivo (18), por cuanto las pérdidas de nitrógeno por concepto de la hidrólisis de la urea no son sensibles.

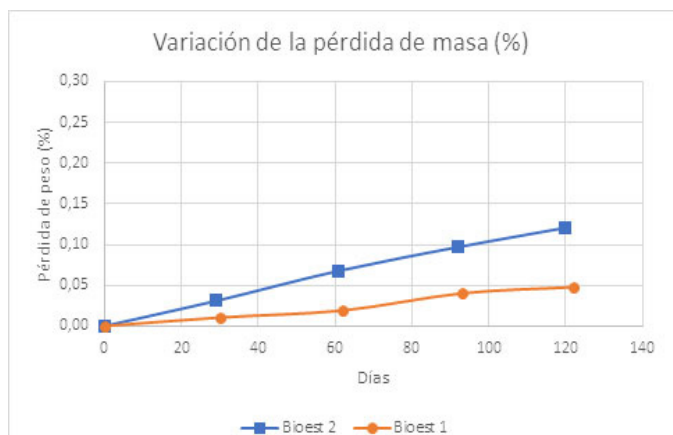


Figura 2. Pérdida de peso en el tiempo de bioestimulantes a dos concentraciones diferentes de sólidos totales.

Para disponer de una información más precisa de las variaciones en la presión que sufren estos productos en el interior de sus envases se le dió seguimiento de forma semicontinua a 10 litros de un bioestimulante concentrado (12.24 kg), conectando el mismo a un manómetro diferencial de mercurio. Los resultados de estas mediciones se ilustran en la figura 3.

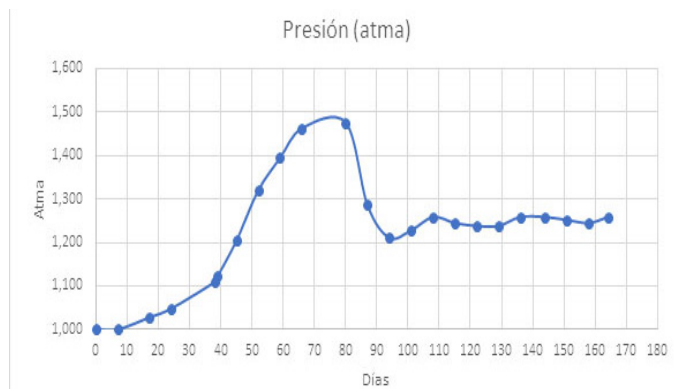


Figura 3. Variación de la presión en un recipiente de Bioest concentrado (53 % de sólidos totales).

En la misma se aprecia una cierta oscilación de la presión, lo cual puede ser explicado a partir de los modelos de equilibrio del sistema CO_2 - NH_3 - H_2O (ecuaciones 1-4). En la medida en que la urea se hidroliza se produce la formación de CO_2 y NH_3 (R1) con el consecuente incremento de la presión al ocurrir la hidrólisis en un recipiente herméticamente cerrado. Dicho incremento de la presión favorece la solubilidad del NH_3 en el medio, desplazando el equilibrio de la reacción R1 hacia la formación del ion NH_4^+ , el que favorecido por la elevación de la solubilidad del CO_2 con el incremento del pH, desplaza el equilibrio descrito por R2 hacia la formación de urea con la consecuente caída de la presión.

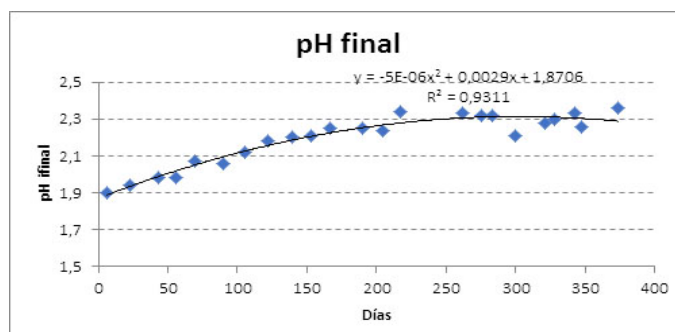
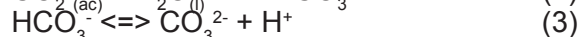
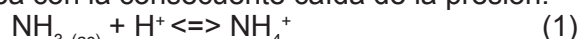


Figura 4. Variación del pH en el tiempo de muestras testigos de Bioest 1 almacenadas durante un año.

Como se ha mencionado, el pH de estos bioestimulantes, basados en la inclusión de urea como fuente adicional de nitrógeno, cambia durante el tiempo. Estas variaciones se muestran en la figura 4. La variación del pH se asocia a la formación de carbonatos durante la hidrólisis de la urea.

Si bien la presencia de urea y el incremento de la concentración muestran como efecto negativo la formación de CO_2 y NH_3 como resultado de su hidrólisis gradual, se debe señalar que, adicionalmente a las ventajas económicas que representa una reducción en el consumo de agua, el incremento de la concentración de sólidos solubles aporta ventajas a la calidad de estos formulados, particularmente en aquellas formulaciones con cierto contenido de materias orgánicas suspendidas, como es el caso de los hidrolizados proteicos de origen vegetal o animal empleados como fuente de aminoácidos en el diseño de bioestimulantes agrícolas.

La elevación de la concentración de sólidos solubles permite reducir la diferencia de densidad entre las partículas sólidas suspendidas y el medio líquido portador, dificultando su precipitación de acuerdo a la ley de Stokes y originando una suspensión estable, lo que favorece la imagen y calidad del producto (figuras 5 y 6). En la figura 5 se observa que cuando las formulaciones de bioestimulantes poseen concentraciones de sólidos totales en el orden del 30 % se produce una sedimentación gravitacional de las partículas sólidas suspendidas con la consecuen-

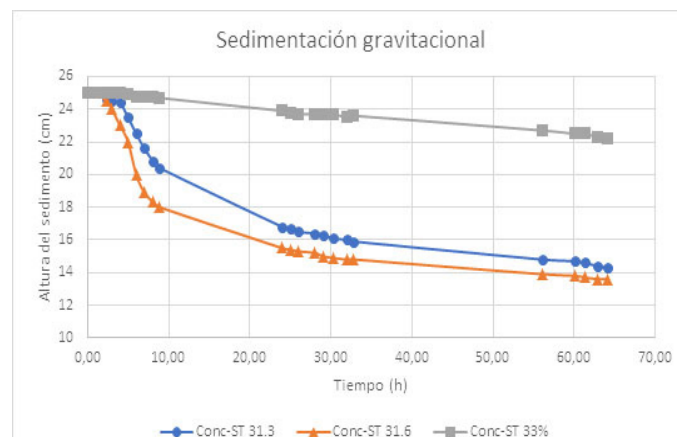


Figura 5. Sedimentación gravitacional de dos formulaciones a concentraciones del orden de 30-33 % de sólidos totales.

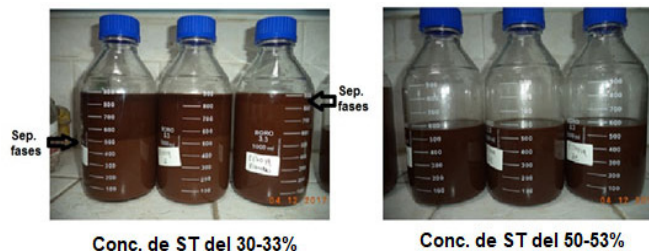


Figura 6. Formulados al 30-33 % de ST y al 50-53 % de ST.

te separación de fases, lo que afecta la imagen del producto y condiciona la necesidad de su agitación previa al empleo. Sin embargo, la elevación de la concentración de sólidos hasta el 50-53 % garantiza la homogeneidad de la suspensión, proporcionando un bioestimulante de suspensión estable (figura 6).

Aunque la fertilización foliar con bioestimulantes que contienen urea como fuente de nitrógeno ha demostrado ser efectiva (16), pues su hidrólisis garantiza también la presencia de iones NH_4^+ , que junto al NO_3^- constituyen las formas asimilables de nitrógeno por las plantas (19), el empleo de otras fuentes de nitrógeno, cuya disociación en agua favorezca la presencia de estas formas iónicas, pudiera paliar los inconvenientes del empleo de la urea en bioestimulantes foliares acuosos.

CONCLUSIONES

En el estudio se demuestra que la presencia de gases en los bioestimulantes ricos en materia orgánica y suplementados con urea son el resultado de la hidrólisis de la urea y no de la descomposición de los aminoácidos y otros compuestos orgánicos presentes en el producto. Si bien la presión generada en los envases se incrementa con el aumento de la concentración de urea, la uniformidad de las suspensiones presentes, en caso de existir, se ve favorecida por la disminución en la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas con el aumento de la concentración del licor madre. Se recomienda, durante el diseño de nuevos bioestimulantes foliares, evaluar el empleo de otras fuentes de nitrógeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Yakhin, O.I.; Lubyantsev, A.A.; Yakhin, I.A.; Brown, P.H. "Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective", *Frontiers in plant science*, Volume 7, Article 2049, pp.1-32, 2017
2. Warner, R.C. "The kinetics of hydrolysis of urea and arginine", *J. Biol. Chem.*, pp.705-723, 1942
3. Shaw, W.H.R.; Bordeaux, J.J. "The decomposition of urea in aqueous media", *J. Am Chem. Soc.*, 77, pp. 4729-4733, 1955.

4. Kemp, I.A. "The decomposition of cyanate ions in aqueous" solution, PhD Thesis, Durham University, 1956, HYPERLINK "<http://etheses.dur.ac.uk/9024>".
 5. Jensen, M.B. "On the kinetics of decomposition of cyanic acid", Acta Chem. Scand, 8, pp.1657-1670, 1958.
 6. Jensen, M.B. "On the kinetics of decomposition of cyanic acid II", Acta Chem. Scand, 13, pp.659-664, 1959.
 7. Wen, N.; Brooker, M.H. "Rate constants for cyanate hydrolysis to urea: A Raman study", Can. J. Chem., 72, pp. 1099-1106, 1994.
 8. Khan, Z. "Kinetics and mechanism of alkaline hydrolysis of urea and sodium cyanate", Indian Journal of Chemistry, December, pp.116-1119, 1996.
 9. Borduas, N.; Place, B.; Wentworth, G. R.; Abbatt, J. P. D.; Murphy, J. G. "Solubility and reactivity of HNCO in water: insights into HNCO's fate in the atmosphere", Atmos. Chem. Phys., 16, 703–714, 2016.
 10. Sahu, J.N.; Mahalik, K.; Patwardhan, A.V.; Meikap, B.C. "Equilibrium and Kinetic Studies on the Hydrolysis of Urea for Ammonia Generation in a Semibatch Reactor", Ind. Eng. Chem. Res. , 47, pp.4689–4696, 2008
 11. Sahu, J.N.; Hussain, S.; Meikap, B.C. "Studies on the hydrolysis of urea for production of ammonia and modeling for flow characterization in presence of stirring in a batch reactor using computational fluid dynamics", Korean J. Chem. Eng., 28, 6, pp.1380-1385, 2011.12.
 12. Gargurevich, I.A. "Aqueous urea decomposition reactor: Reaction modeling and scale up", Journal of chemical engineering & process technology", 7, 2, pp.288-290, 2016.
 13. Darde, V.; van Well, W.J.M.; Erling, H.; Stenby, E.; Thomsen, K., "Modeling of Carbon Dioxide Absorption by Aqueous Ammonia Solutions Using the Extended UNIQUAC Model", Ind. Eng. Chem. Res., 49, pp. 12663–12674, 2010.
 14. Derks, P.W.J.; Versteeg, G.F. "Kinetics of absorption of carbón dioxide in aqueous ammonia solutions", Energy Procedia, 1, pp.1139-1146, 2009.
 15. Wnang, X.; Conway, W.; Fernandes, D.; Lawrance, G.; Burns, R.; Puxty, G.; Maeder, M. "Kinetics of reversible reaction of CO₂ (aq) with ammonia in aqueous solution, J. Phys. Chem. A, jun 23, 115, 24, pp-6405-6412, 2011.
 16. Van Holst, J.; Versteeg, G.F; Brilman, D.W.F.; Hogendoorn, J.A. "Kinetic study of CO₂ with various aminoacid salts in aqueous solution", Chemical Engineering Science, 64, pp.59-68, 2009.
 17. Lister, M.W. "Some observations on cyanic acid and cyanates", Canadian Journal of Chemistry, 33 (2), pp. 426-440, 1955.
 18. Gallego, R.F. "Comportamiento de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) ante la aplicación de un fitoestimulante de producción nacional", Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, La Habana, Instituto de Ciencias Agrícolas, 2016.
 19. Chávez, M. "El nitrógeno, fósforo y potasio en la caña de azúcar", Liga agrícola industrial de la caña de azúcar; dirección de investigación y extensión de la caña de azúcar –DIECA, Sep 1999, San José, Costa Rica.
-

Evaluación ambiental de una destilería en Cuba

Dania Alonso-Estrada*; Norge Garrido-Carralero, Orly López-Delgado

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

*dania.alonso@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

Se presenta un estudio ambiental de una destilería en Cuba para identificar y evaluar los problemas ambientales generados por la actividad industrial. Mediante la simulación en Microsoft Excel del proceso tecnológico se determinaron los principales problemas que afectan la eficiencia en la fábrica y el consumo de agua y energía, además de la caracterización de los residuales. El estudio evidencia que la industria presenta un elevado índice de generación de vinazas de $16.78 \text{ L}_{\text{vinaza}}/\text{L}_{\text{etanol}}$ con elevada carga orgánica y alto consumo de agua en el proceso de $6.82 \text{ m}^3/\text{hL}_{\text{etanol}}$, que incide en el alto volumen y carga orgánica de los residuales. Lo que evidencia la inmediatez de aplicar un adecuado tratamiento de los residuales.

Palabras clave: impacto ambiental, simulación, residuales, vinaza.

ABSTRACT

An environmental study of a distillery in Cuba is presented to identify and evaluate the environmental problems generated by industrial activity. By means of the Microsoft Excel simulation of the technological process, the main problems that affect the efficiency in the factory and the consumption of water and energy were determined, in addition to the characterization of the residuals. The study shows that the industry has a high index of vinasse generation of $16.78 \text{ L}_{\text{vinasse}}/\text{L}_{\text{ethanol}}$ with high organic load and high water consumption in the process of $6.82 \text{ m}^3/\text{hL}_{\text{ethanol}}$, which have influence in the high volume and organic load of the residuals. This shows the immediacy of applying an adequate treatment of residuals.

Key words: environmental impact, simulation, residual, vinasse.

INTRODUCCIÓN

En Cuba la tecnología instalada en las destilerías es convencional y conserva esquemas de hace más de 60 años. Las destilerías cubanas se caracterizan por tener bajas eficiencias (75 - 78 %) y grado alcohólico de (4.5 - 5.5 % (v/v)) en fermentación (1, 2), si se comparan con los valores que se reportan internacionalmente, que son superiores a 90 % y 8 % (v/v) respectivamente (3). También presentan pequeñas capacidades de producción, diseñadas para trabajar exclusivamente con mieles y altamente contaminantes del medio ambiente, además requieren de la utilización de grandes cantidades de agua y energía.

El grupo empresarial AZCUBA cuenta con 10 destilerías cuyas vinazas poseen un alto poder de contaminación encontrándose en el orden de los 40

- 80 kg/m³ de DQO. El volumen diario total es superior a 8 000 m³/d por lo que es necesario implementar alternativas tecnológicas con vistas a disminuir el volumen de este residual y aplicar un tratamiento adecuado del mismo (4).

Por lo anterior, es importante realizar estudios de impacto ambiental que evidencien la situación actual de las destilerías en Cuba y la necesidad de implementar alternativas tecnológicas que mejoren la eficiencia, productividad y los aspectos relacionados con el impacto medioambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza el impacto ambiental en una destilería enfocado a las producciones más limpias. Con el uso de un simulador en Microsoft Excel se ejecuta-

ron los balances de masa y energía asociados a la producción de etanol, se determinaron los principales problemas que afectan la eficiencia en la fábrica, el índice de generación de vinazas, consumo de agua y energía, además de realizar la caracterización de los residuales.

Las condiciones de operación de la industria para el desarrollo del trabajo, son para una destilería con capacidad de producción de etanol hidratado de 500 hL/d considerando que opera 240 días al año, utilizando como materia prima miel B a 83.24 % brix, 58.07 % de azúcares fermentables y una concentración alcohólica del vino alimentado a la columna destiladora de 5.2 % (v/v).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron indicadores para evaluar la destilería y cómo inciden estos indicadores en el índice de generación y carga contaminante de los residuales. En la tabla 1 se muestran los resultados de la simulación obtenidos a partir de la información

brindada por la industria.

Se obtuvo un alto flujo de vinazas (34.74 m³/h) e índice de generación de vinazas (16.78 L_{vinaza}/L_{etanol}), al utilizar miel B como materia prima. El incremento de este indicador muestra su origen en los aspectos fermentativos o sea, en el bajo grado alcohólico que implica mayor consumo de vapor y por tanto mayor volumen de vinazas, con el consiguiente impacto ambiental negativo por su alto flujo, carga orgánica y temperatura.

La baja eficiencia en la fermentación de 76.8 %, está influenciada por la composición químico-física y calidad de la miel, donde influyen los altos contenidos de sólidos, por las elevadas temperaturas alcanzadas en la fermentación al no contar con sistemas de enfriamiento que permitan mantener temperaturas adecuadas (5), la mala calidad de los nutrientes, además del mal estado técnico de los fermentadores y en el alto consumo de vapor de la destilería (7 397.41 kg/h), influyen en el bajo porcentaje alcohólico de la fermentación.

La fuente de abasto del agua que se utiliza en la fábrica es el pozo. En la tabla 2 se muestra el consumo de agua actual de la destilería en cada etapa del

proceso, determinado por el balance de agua mediante la simulación del proceso tecnológico.

Se tiene actualmente un elevado índice de consumo de agua en la destilería de 6.82 m³/hL de alcohol a 100 °Gl. El alto consumo de agua de enfriamiento en la destilación, está condicionado por la no existencia de un sistema cerrado de enfriamiento, que permita recircular el agua utilizada en las áreas de condensación y enfriamiento.

Los residuales líquidos que se generan en el proceso productivo: agua de lavado de los fermentadores, vinazas, agua de enfriamiento de condensadores y aguas de limpieza de los equipos, se descargan a una zanja que conduce a las lagunas para un posterior uso en el fertirriego. En la tabla 3 se muestran algunos parámetros de la

Tabla1. Resultados de la simulación

Parámetros	Unidad	Valor calculado
Flujo de vinazas	m ³ /h	34,74
Índice de generación de vinazas	L _{vinaza} /L _{etanol}	16,78
Flujo de agua de dilución de mieles	m ³ /h	16,90
Flujo de vapor en la columna destiladora	kg/h	6 164,51
Índice de consumo de vapor en la columna destiladora	kg/L _{etanol}	3,24
Eficiencia en fermentación	%	76,8
Eficiencia en destilación	%	91,7
Consumo de agua en la destilería	m ³ /hL	6,82
Consumo de vapor en la destilería	kg/h	7 397,41
Generación de CO ₂ en fermentación	t/d	96,2

Tabla 2. Consumo de agua en la destilería

Consumo de agua		Unidad	Valor calculado
Fermentación	Agua de dilución de miel	m ³ /hL _{etanol}	1,72
	Agua de preparación de sales	m ³ /hL _{etanol}	0,50
Destilación	Enfriamiento de condensadores	m ³ /hL _{etanol}	3,6
	Enfriamiento de fusel	m ³ /hL _{etanol}	0,30
Otros	Agua de limpieza de pisos y equipos	m ³ /hL _{etanol}	0,50
	Uso potable	m ³ /hL _{etanol}	0,20

Tabla 3. Caracterización de la vinaza

Parámetro	Unidad	Valor calculado
DQO	mg/L	47 656
DBO	mg/L	24 218,8
Nitrógeno	mg/L	84
Fósforo	mg/L	4,41
Calcio	mg/L	46,2
Potasio	mg/L	670
Sodio	mg/L	20
pH	mg/L	3,91
Conductividad	mS/cm	11,17
ST	mg/L	38 530

caracterización de la vinaza, residual más agresivo del proceso de producción de etanol.

La vinaza supera los límites permisibles de materias orgánicas referidas como DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (demanda biológica de oxígeno), muy superior a las normas de vertimiento establecidas, también se superan los límites de concentración de nitrógeno, calcio y el pH es ácido.

El vertimiento de aguas residuales a la salida de la destilería es del orden de los 1400 m³/día. En la caracterización de los residuales se evaluó una concentración de materia orgánica del orden de los 27.67 kg /m³ de DQO, que equivale a una carga diaria de 38 738 kg/d en términos de demanda química

de oxígeno, lo que indica que la vinaza residual se diluye con el agua residual que no se recupera dentro del proceso productivo.

Los resultados anteriores demuestran que el residual no cumple con la norma cubana vigente para el vertimiento de residuales líquidos al medio NC 27: 2012 6). Se superan los límites permisibles de materias orgánicas para su vertimiento a ríos, embalses, acuíferos, sistemas acuáticos que por lo general constituyen sus cuerpos receptores. Lo que indica que no puede ser vertido a ningún cuerpo receptor sin antes ser tratado.

CONCLUSIONES

- El estudio ambiental permitió con criterios técnicos y ambientales evaluar parámetros de operación de la destilería, el consumo de agua y la caracterización de los residuales.
- Se demostró que la industria presenta elevado consumo de agua en el proceso con un índice de consumo de 6.82 m³/hL de alcohol, que se incrementa al carecer de sistema de enfriamiento e incide en el aumento del volumen de los residuales.
- El estado técnico del equipamiento de la destilería incide en la disminución de la eficiencia y el aumento del volumen y carga orgánica de los residuales.
- Es necesario aplicar un adecuado tratamiento de los residuales, debido al elevado volumen y carga orgánica que presentan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Saura, G.; Domenech, F. Desarrollo del programa integrado de producción de alcohol en la industria azucarera. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Cuba: Informe Final de Proyecto, Departamento de Alcohol, 2006.
2. Estévez, R. Curso tecnología de producción de alcohol. ICIDCA, 2013.
3. Vianna, H. La reciente evolución de la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar en Brasil. La Habana, Cuba, Congreso Internacional sobre Azúcar y derivados, 2013.
4. Alonso, D.; Garrido, N.; Pérez, O.; Zumalacárregui, L. Alternativas tecnológicas para reducir el efecto ambiental de las vinazas de la industria alcoholera. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, mayo - agosto 2015, vol. 49, núm. 2, pp. 44-49, ISSN: 0138-6204.
5. Garrido, N.; Alonso, D. Aspectos tecnológicos a tener en cuenta en la eficiencia de una destilería. Centro Azúcar, 2016, vol. 43, núm. 2, ISSN: 2323-4861.
6. NC:27, N. C. (2012). "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones". ICS:13.060.30. La Habana. Cuba.

Liofilización de bacterias y levaduras de interés industrial

Aidín Martínez-Sánchez*, María Teresa Fernández-Santisteban, Gisela González-Pardo, Gisela De Armas-García

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

*aidin.martinez@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

La colección de cultivos microbianos del Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (CCICIDCA) depositaria mayoritariamente de cepas autóctonas, está constituida por bacterias, mohos y levaduras de interés industrial. Los microorganismos que en ella se conservan han estado involucrados en el desarrollo de diferentes tecnologías con buenos resultados en diversas ramas de la agroindustria azucarera y de derivados.

Ha almacenado sus microorganismos por más de un método de conservación, entre ellos la liofilización, uno de los más empleados para la conservación de microorganismos debido a sus numerosas ventajas, entre la que resalta un tiempo de supervivencia prolongado. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los resultados de la conservación de las cepas microbianas *Lactobacillus acidophilus*, *Bacillus subtilis* y *Saccharomyces cerevisiae*, por el método de liofilización durante un periodo de quince años. La viabilidad de los cultivos se determinó a la hora cero, seis meses y 15 años, oscilando entre 1.3×10^8 y 4.6×10^8 a la hora inicial y descendiendo hasta valores entre 1.0×10^5 y 2.4×10^5 , a los 15 años de conservados, demostrando que la conservación por liofilización es un método de gran utilidad en el trabajo de las colecciones de cultivos que se emplean para el control microbiológico.

Palabras clave: colección, cultivos, cepas, microorganismos, liofilización.

ABSTRACT

The collection of microbial cultures of Cuban Research Institute on Sugarcane By-products (CCICIDCA), which is the main reservoir of autochthonous strains, is made up of bacteria, molds and yeasts of industrial interest. The microorganisms that are conserved in it have been involved in the development of different technologies with good results in various branches of the sugar industry and derivatives.

It has preserved its microorganisms by more than one method including the freezer drying. In this work we show the results of the conservation by this method of *Lactobacillus acidophilus*, *Bacillus subtilis* and of *Saccharomyces cerevisiae*. The cultures viability was determined to hour zero, six months and 15 years. The viability oscillates between 1.3×10^8 and 4.6×10^8 at the initial time and diminished to values between 1.0×10^5 and 2.4×10^5 , at 15 years of conservation.

Key words: collection, cultures, strains, microorganisms, freezer drying.

INTRODUCCIÓN

El uso de los microorganismos ha sido clave en el enfrentamiento y solución de los graves problemas de la humanidad en la agricultura y la alimentación de los pueblos, en la salud animal y humana, en la búsqueda de nuevas fuentes de energía (1) y

en la conservación del medio ambiente. Ellos son la fuente del material básico para el desarrollo de medicamentos, agentes agroquímicos y biocontroles, cosméticos y productos industriales (2). Los microorganismos que son aislados desde su ambiente natural son generalmente conservados en colecciones de cultivos.

La necesidad de mantener y disponer de cultivos de calidad impuso la introducción de métodos de conservación de microorganismos que reducen al mínimo la posibilidad de contaminación y garantizan al menos la supervivencia del 70 % de las células por un período determinado de tiempo. La liofilización es el método de elección debido a sus numerosas ventajas, entre las que se puede resaltar la posibilidad de minimizar el riesgo de cambio genético en las células y de mantenerlas viables por 10 años o más. Además es recomendable por la comodidad para el almacenamiento y transporte de las cepas, pues una vez conseguidos los liófilos pueden almacenarse a una temperatura ambiente de 18 a 20 °C o bien de 4 a 6 °C.

El ICIDCA cuenta con un gran número de especies de microorganismos que pertenecen a la CCICIDCA y que han servido para el desarrollo de las investigaciones, desarrollo tecnológico y en la actualidad como apoyo a las transferencias de tecnologías, por tal motivo, surgió la necesidad de evaluar la estrategia de conservación de estos microorganismos a largo plazo. Por estas razones, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar los resultados de la conservación de las cepas microbianas *Lactobacillus acidophilus*, *Bacillus subtilis* y *Saccharomyces cerevisiae* por el método de liofilización durante los 15 años.

MATERIALES y MÉTODOS

Cepas utilizadas

Las cepas microbianas de este estudio pertenecen a la CCICIDCA: *Lactobacillus acidophilus*: B/103-1-5 y L B-12, *Bacillus subtilis*: B/23-44-9 y B/23-45-10, *Saccharomyces cerevisiae*: L/25-7-12 y L/825-7-23, todas conservadas por el método de liofilización durante un período de 15 años. Se empleó como sustancia lioprotectoras: leche descremada y glicerol al 20 %.

Medios de cultivos y viabilidad

Después de la liofilización, se realizó la recuperación de los microorganismos y los recuentos de UFC/mL por diluciones seriadas hasta 10^{-8} y siembra en superficie en los medios de cultivo MRS líquido y sólido para bacterias lácticas, caldo y agar nutriente para bacterias del género *Bacillus* y YPG líquido y sólido para la levadura. Cada dilución se sembró por triplicado. Se consideró satisfactoria una concentración celular igual o superior a 10^5 UFC/mL.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La CCICIDCA surgió como una necesidad de disponer de microorganismos en condiciones adecuadas para su empleo en procesos biotecnológicos; desde su creación hasta la fecha muchos de sus cultivos han sido objeto de estudio en diferentes proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, tanto nacionales como en proyectos de colaboraciones internacionales.

La colección está integrada por 183 especímenes de microorganismos (figura 1), distribuidos en 43 cepas de bacterias, 74 cepas de levaduras, 59 cepas de hongos inferiores y 7 cepas de hongos superiores.

Los cultivos más importantes de la CCICIDCA se conservan por más de un método: agua destilada, en glicerol a -20 °C, tierra de jardín estéril y algunos microorganismos se encuentran liofilizados, método de conservación por excelencia para una gran variedad de géneros microbianos (3, 4).

Los resultados del estudio de viabilidad de las cepas de bacterias y levaduras liofilizadas durante 15 años se muestran en la tabla 1. Se puede observar que las UFC/mL al inicio oscilan desde valores de

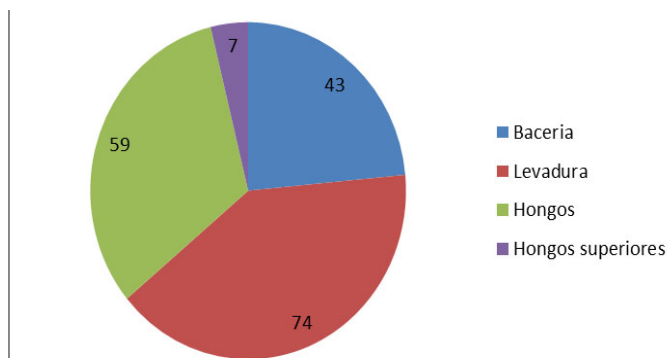


Figura 1. Representación gráfica de los diferentes grupos microbianos que integran la colección de cultivos ICIDCA.

Tabla 1. Viabilidad de los cultivos liofilizados

Cepa	Viabilidad inicial	Viabilidad 6 meses	Viabilidad 15 años
<i>L. acidophilus</i>			
B/103-1-5	$1,30 \times 10^8$	$1,20 \times 10^6$	$1,9 \times 10^5$
L B-12	$4,03 \times 10^8$	$3,3 \times 10^6$	$1,0 \times 10^5$
<i>B. subtilis</i>			
B/23-44-9	$2,31 \times 10^8$	$1,45 \times 10^6$	$2,40 \times 10^5$
B/23-45-10 Nato	$1,83 \times 10^8$	$2,30 \times 10^6$	$2,30 \times 10^5$
<i>S. cerevisiae</i>			
L/25-7-12	$3,4 \times 10^8$	$2,9 \times 10^6$	$1,9 \times 10^5$
L/25-7-23	$4,6 \times 10^8$	$2,5 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$

(1.3 - 4.6) x 10⁸. A los 6 meses hubo una disminución hasta 10⁶ UFC/mL, coincidiendo con la literatura, la cual plantea que la mayor muerte celular ocurre en los primeros seis meses de conservación (4, 5).

Al comprobar la viabilidad a los 15 años de conservados los cultivos, estos habían bajado a valores entre (1,0 – 2,4) x 10⁵ UFC/mL. La literatura refiere que concentraciones celulares iguales o superiores a 10⁵ UFC/mL, es un valor establecido en las especificaciones de calidad de lotes de muestreos para esta técnica (5, 6).

Algunos de estos cultivos se utilizan con buenos resultados en las investigaciones aplicadas a la biotecnología agrícola, obtención de importantes bioproductos con diferentes fines (alimento animal, fitosanitarios, biofertilizantes, entre otros).

CONCLUSIONES

- Los cuatro cultivos de bacterias y los dos de levaduras estudiados mantuvieron una buena viabilidad, después de 15 años de conservación por el método de liofilización al tener una viabilidad de entre 1,0x10⁵ UFC/mL y 2,4 x10⁵ UFC/mL.
- El método de liofilización permite el mantenimiento y la conservación de los diferentes géneros de microorganismos en la CCICIDCA, asegurando el desarrollo de los proyectos de investigación y la estabilidad de las producciones biotecnológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bell, M. Aislamiento y caracterización de levaduras oleaginosas. 2012. Tesis de Diploma. Facultad de Biología. Universidad de La Habana. Cuba.
 2. Morales, M.; Iglesias, E.; Ortiz, E. Actividad desarrollada por la sección de Colecciones de Cultivos microbianos y otros materiales biológicos de la ATAC. Rev. ATAC. 2007, Vol. 68, No. 2, 42-50. ISSN. 0138-7553.
 3. WORLD FEDERATION FOR CULTURE COLLECTIONS (No. 53)–DECEMBER 2014 <http://www.wfcc.info>
 4. Montes de Oca, N.; *et al.* Establecimiento y desarrollo de la Colección de Cultivos del CENSA. Rev. Salud Anim, 2008, Vol. 30, No. 1, 17-24. ISSN. 02553-570x.
 5. Bagatolli, C. D. Validación de un método alternativo para la conservación de bacterias. Tesis de Grado presentada para Licenciatura en Bromatología. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. 2017. <http://www.fca.uncu.edu.ar>.
 6. Buruet, N.; Sierra, N.; Brito, L. Conservación de cepas microbianas por el método de liofilización para el control microbiológico en laboratorios Liorad. Rev. CENIC Ciencias Biológica, 2012. Vol. 43, No. 3, 1-4. ISSN. 2221-2450.
-

Producción de ácido levulínico: una revisión bibliográfica

Jessica Rodríguez-Aguilera¹, Adolfo Brown-Gómez², Amaury Álvarez.Delgado², Georgina Michelena-Álvarez^{2*}

1. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

2. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).
Vía Blanca No. 804 esq. a Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* georgina.michelena@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó una revisión bibliográfica sobre la utilización de la biomasa vegetal, específicamente el bagazo de caña de azúcar, en la producción de ácido levulínico. Esta molécula ha sido reconocida como una de las principales “plataformas” para la diversificación y obtención de moléculas amigables con el ambiente y sustituta de los productos derivados del petróleo.

Para convertir el bagazo en ácido levulínico es necesario realizar la hidrólisis, química o enzimática de la celulosa. La degradación controlada de azúcares C6 mediante ácidos es el proceso más usado para producir ácido levulínico a partir de biomasa lignocelulósica. La tecnología industrial Biofine obtiene un rendimiento del 70 %. Se han estudiado otros métodos que requieren materias primas con precios elevados.

A pesar de que la hidrólisis enzimática es la tecnología más promisoría, está limitada industrialmente por la multiplicidad de sus etapas y el costo de las enzimas. Los rendimientos de variantes de este proceso se encuentran entre 58 y 80 %.

La estimación económica solo por el costo de materias primas y considerando las opciones de producir ácido levulínico a partir de bagazo de caña o importando furfural, determinó ser ventajosa económicamente a partir de bagazo en comparación con la opción de importar furfural. Sin embargo, los costos de reactivación de la planta de furfural existente o de construcción de una nueva planta pudieran variar el resultado.

Palabras clave: ácido levulínico, caña de azúcar, bagazo, furfural, diversificación.

ABSTRACT

At the present work, a review was carried out to use vegetable biomass, specifically sugar cane bagasse, in the production of levulinic acid. This molecule has been recognized as one of the main “platforms” for the diversification and obtaining of molecules friendly to the environment and substitute for oil products.

In order to convert the bagasse into levulinic acid is necessary to carry out the hydrolysis, chemical or enzymatic of cellulose. The controlled degradation of C6 sugars by acids is the most used process to prepare levulinic acid from lignocellulosic biomass. The Biofine industrial technology obtains a 70 % yield. Other methods with high prices raw materials have been studied.

Although enzymatic hydrolysis is the most promising technology, it is industrially limited due to the multiplicity of its stages and the cost of enzymes. The yields of variants of this process are between 58 and 80 %.

The economic estimate only for the cost of raw materials and considering the options of producing levulinic acid from cane bagasse or imported furfural, determined to be economically advantageous from bagasse vs. imported furfural. However, the costs of reactivating the existing furfural plant or the construction of a new plant could vary the result.

Key words: levulinic acid, sugarcane, bagasse, furfural, diversification.

INTRODUCCIÓN

Algunos países desarrollados están encaminando sus investigaciones hacia el desarrollo de derivados de la biomasa para la obtención de moléculas “plataformas”, que son aquellas a partir de las cuales, se logran introducir nuevos y sostenibles productos industriales. Uno de los productos identificados por su impacto como molécula “plataforma” para el desarrollo de bioplásticos sostenibles y biodegradables es el ácido levulínico.

La reserva de biomasa cañera que tiene el Grupo Azucarero Azcuba puede aportar nuevas tecnologías para lograr sustituir el uso excesivo de poliolefinas derivadas del petróleo por bioplásticos sostenibles derivados de la agroindustria azucarera, optimizando sus propiedades físico-químicas y mecánicas.

El ácido levulínico derivado de biomasa ha sido identificado como una de las doce moléculas que podrían ayudar a desarrollar un mundo más amigable ambientalmente. La conversión biológica para la producción de ácido levulínico afronta el reto de los microorganismos que puedan realizar la conversión de azúcares.

Debido al alto contenido de carbohidratos y al bajo contenido de lignina, así como su disponibilidad, el bagazo puede ser considerado como un coproducto agroindustrial con un alto potencial para obtener azúcares fermentables. Para poder convertir el bagazo en ácido levulínico es necesario realizar la hidrólisis, química o enzimática, de la celulosa. Sin embargo, la celulosa nativa es muy poco reactiva debido a que su superestructura cristalina y su entrecruzamiento con la lignina y las hemicelulosas dificultan el acceso de las enzimas y de los agentes químicos. Se han propuesto diferentes métodos de pretratamiento para facilitar la hidrólisis enzimática de la celulosa, y conjuntamente con procesos de deslignificación adecuados, fraccionar los materiales lignocelulósicos de acuerdo a una filosofía de biorrefinerías.

Ácido levulínico

El ácido levulínico (AL), también conocido como ácido 4-oxopentanoico o ácido y cetovalérico es un compuesto orgánico con fórmula química $C_5H_8O_3$. Presenta estructura sólida cristalina, es soluble en agua y en disolventes orgánicos polares. Al contener un grupo cetona y un grupo carboxilo, posibilita múltiples opciones posibles de reacción (1). Fue reconocido como una de las principales moléculas plataforma del futuro y puede cubrir de manera eficaz muchas de las atribuciones de productos químicos y materiales procedentes del petróleo.

Tecnologías del proceso

La degradación controlada de azúcares C6 mediante ácidos es el proceso más usado para preparar ácido levulínico a partir de biomasa lignocelulósica.

Se han estudiado otros métodos, por ejemplo, la hidrólisis de ésteres de acetilsuccinato, hidrólisis ácida de alcohol furfúrico o la oxidación de cetonas. Sin embargo, dichos métodos requieren materias primas con precios elevados y dan lugar a cantidades relativamente altas de subproductos (2).

También los tratamientos biológicos utilizan diferentes tipos de hongos y bacterias para reducir la cristalinidad de la biomasa lignocelulósica y facilitar los procesos de conversión a productos finales. El tratamiento de la biomasa con microorganismos se muestra como una técnica prometedora, ya que cuenta con varias ventajas: no necesita de reactivos químicos que comprometan el medio ambiente, bajo costo energético, y en general sus mecanismos así como sus condiciones de trabajo son amigables al medio ambiente. Los microorganismos más utilizados son los hongos, que según su mecanismo de degradación de la biomasa leñosa se pueden identificar como, hongos de pudrición blanca, parda o blanda. Los dos últimos tienen comprobada acción en la celulosa; sin embargo, solo los hongos de pudrición blanca tienen capacidad de degradar la lignina (2).

Dos tipos de procesos para degradar la celulosa son utilizados: ácido y enzimático. La compañía BlueFire de Estados Unidos utiliza la hidrólisis ácida de acuerdo al proceso tecnológico de ARKENOL basado en el pretratamiento e hidrólisis con ácido concentrado en una sola etapa, propiciando la desorganización de la estructura lignocelulósica y la hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa, obteniéndose un licor rico en azúcares de C5 y C6. La tecnología BlueFire es única en el mundo con amplia disponibilidad de materia prima: desechos urbanos, residuos agrícolas, residuos de madera, residuos verdes y bagazo de caña. Es un proceso económicamente viable por el eficiente recobrado y reconcentración del ácido y la concentración de azúcares de alta pureza además de que todos los subproductos son utilizables y comercializables (2).

Obtención de ácido levulínico por hidrólisis ácida

Para obtener ácido levulínico (AL), a partir de biomasa celulósica, hay que tener en cuenta que esta presenta una mayor ordenación de su estructura cristalina que la hemicelulosa, por lo tanto se requieren condiciones de alta acidez, calor y temperatura. Así pues, el método más común para la obtención de AL es la hidrólisis ácida de la biomasa lignocelulósica, que provoca la conversión de los polisacáridos en azúcares C5 y C6 (3).

El producto de la deshidratación de los azúcares C6 es el hidroximetilfurfural (HMF), un compuesto furánico que puede ser transformado fácilmente, mediante hidratación, en ácido levulínico y ácido fórmico, en cantidades equimolares.

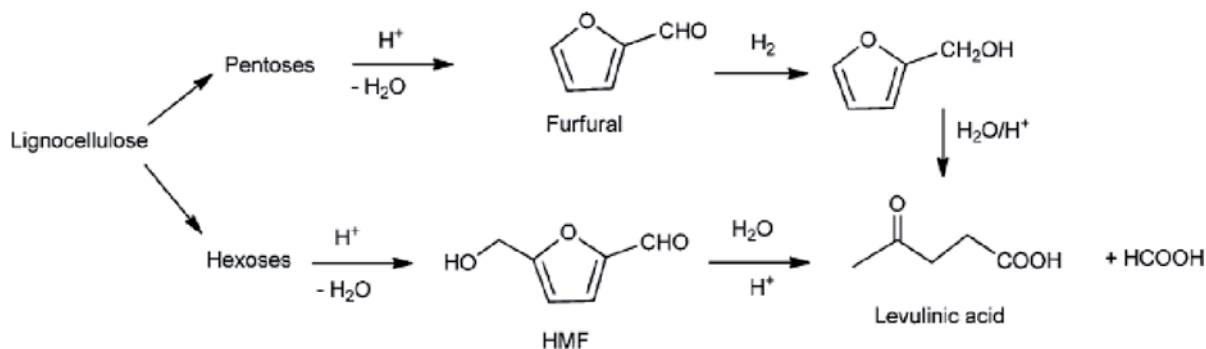


Figura 1. Obtención de ácido levulínico a partir de la hidrólisis ácida de azúcares.

Por otro lado, la deshidratación de los azúcares C5 (fracción hemicelulósica) permite obtener furfural, que a su vez puede ser utilizado directamente como producto o convertido en ácido levulínico (3), tal como se observa en la figura 1.

Ejemplos de producción industrial de ácido levulínico

El ácido levulínico todavía no se ha producido a gran escala y por lo tanto tiene la condición de producto químico con un mercado caro. Sin embargo, se han desarrollado o se están desarrollando procesos a escala piloto empleando la tecnología más común; la hidrólisis ácida de la biomasa lignocelulósica. Las siguientes empresas han desarrollado su tecnología basándose en este modelo: Biofine, DSM, GFBiochemical, Segetis (adquirida por la anterior) y la española Técnicas Reunidas, mediante el proceso LIFE + WALEVA - "From Whatever Residue into Levulinic Acid – an innovative way to turn waste into resource" (1).

El proceso Biofine es ejemplo donde la lignocelulosa se somete a un pretratamiento y posteriormente se procesa directamente, convirtiendo la celulosa y la hemicelulosa en ácido levulínico, ácido fórmico y furfural (1), tal como muestra la figura 2.

Se emplea el ácido sulfúrico como catalizador ácido de una reacción de dos etapas, con temperaturas que varían entre 120 y 220 °C, y con tiempos de reacción cambiantes en función de la naturaleza de la biomasa alimentada. Bajo estas condiciones, la celulosa se convierte en hidroximetilfurfural (HMF) y este a su vez se convierte en ácido levulínico, con un rendimiento aproximado del 70 %. Asimismo se obtienen ácido fórmico, ácido acético y furfural como subproductos. El furfural producido es el resultado de la deshidratación de las unidades de xilosa de la hemicelulosa. El ácido levulínico, ácido fórmico y furfural son todas moléculas plataforma útiles, con una amplia gama de derivados químicos y materiales posibles a partir de cada uno. La lignina degradada residual junto con el material húmico se quema para la recuperación de energía (1).

PROCESO BIOFINE

El proceso Biofine es un proceso de hidrólisis ácida para la conversión de celulosa en ácido levulínico, una molécula plataforma con usos potenciales conocidos.

Química del proceso

El proceso consiste en la "ruptura" de cualquier materia lignocelulósica de partida, en presencia de un catalizador ácido mineral (p.ej. ácido sulfúrico) diluido en agua, y empleando una temperatura moderada con un diseño de reacción basado en un reactor dual que permite una elevada producción con un alto rendimiento. La fracción de celulosa es transformada en ácido levulínico y ácido fórmico, mientras que la

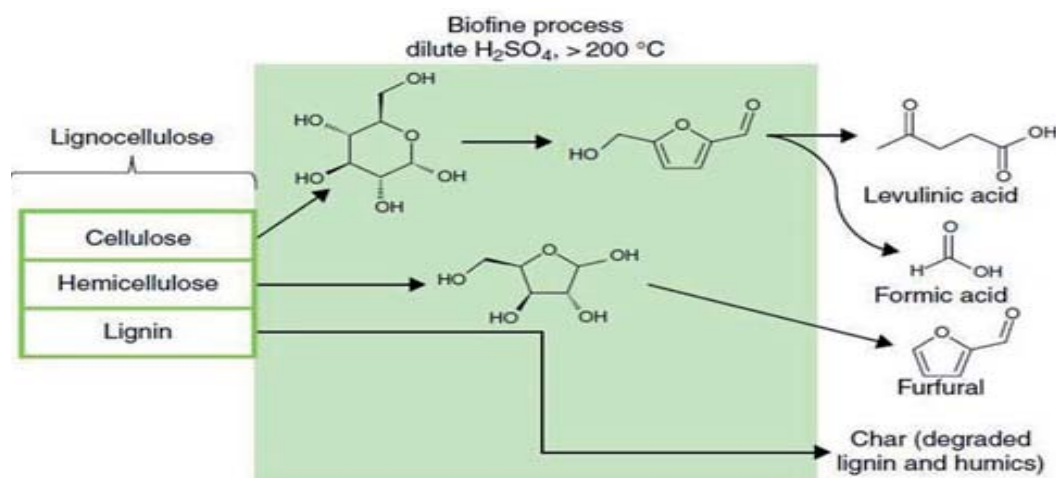


Figura 2. Proceso Biofine para la conversión de lignocelulosa en ácido levulínico.

fracción de hemicelulosa se descompone en furfural, que se puede aprovechar como tal o que puede convertirse a su vez en ácido levulínico. Cada uno de estos productos primarios presenta potencial como “plataforma” para la producción de otros productos de valor añadido. La lignina, junto con otros componentes inertes de la biomasa, se extrae en forma de alquitrán de alto contenido en carbono, que puede valorizarse energéticamente o transformarse en otros productos (negro de humo, carbón activado, fibra de carbono, etc.). La tecnología se basa en un sistema de reacción continua de dos etapas que opera a las condiciones de temperatura, concentración de catalizador ácido y tiempo de residencia adecuados para obtener elevados rendimientos de ácido levulínico, ácido fórmico y furfural. Las condiciones de operación típicas son: temperatura de 190 a 220 °C, concentración de ácido de 1 a 5 % en peso, tiempo de residencia 15 minutos (total de las dos etapas de reacción).

Estrategia de desarrollo

Las experiencias catalíticas se llevaron a cabo en un reactor agitado a 78 °C. En un experimento típico, el reactor fue cargado con 50 mmol de etanol absoluto, 100 mg de catalizador y 5 mmol de ácido levulínico. La reacción fue seguida por cromatografía gaseosa. El producto fue identificado a través de la comparación con una auténtica muestra de levulinato de etilo y mediante el análisis de espectrometría de masas. El rendimiento de la reacción fue expresado como la relación de moles % de producto a moles de sustrato inicial (2). Los ensayos se realizaron a diferentes tiempos de reacción, obteniéndose un rendimiento máximo de 61 % en 24 horas a 78 °C. No se observaron productos secundarios (selectividad del 100 %). Se estudió el reuso del catalizador en condiciones similares no observándose pérdida de la actividad catalítica.

El procedimiento descrito que se observa en la figura 3, permite reemplazar los catalizadores ácidos solubles usuales, contribuyendo a una reducción de la generación de residuos (2).

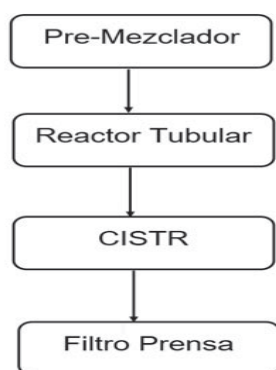


Figura 3. Diagrama de bloques del proceso por hidrólisis ácida.

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LEVULÍNICO A PARTIR DE *Gelidium amansii*

Avances recientes en el campo de la biotecnología para biocombustibles y la producción bioquímica, ha facilitado el uso de macroalgas como biomasa, debido a sus aspectos superiores como tercera biomasa de generación: sin lignina, alto contenido de carbohidratos y muy rápida tasa de crecimiento con la fijación de una gran cantidad de CO₂ (4).

Las algas son plantas marinas que se dividen en tres categorías en función de sus colores: rojo (4500 especies), verde (900 especies) y marrón (1000 especies). Las algas se han utilizado durante mucho tiempo como alimento, fertilizante y para fines medicinales. Un alga roja, *Gelidium amansii*, es ampliamente utilizada en la producción de agar, que se aplica en los alimentos e industrias químicas. Además, su contenido de carbohidratos (glucano, galactano, etc.) es más alto que el de proteínas y lípidos. En estas, los carbohidratos se pueden convertir fácilmente en biocombustibles y productos químicos a través de procesos bioquímicos (4).

Análisis de materiales y composición

De las algas rojas, puede obtenerse agarosa, agaropectin y celulosa. La agarosa y agaropectin son convertidos a 1,3-ligado-D-galactosa y 1,4-ligado 3,6-anhidro-L-galactosa (4). Los resultados de estos análisis revelaron que la biomasa estaba compuesta de 28.41 % de galactano, 18.46 % de glucano, 7.91 % de manano, 42.01 % de otros y 3.21 % lignina en peso seco. Se molió para pasar a través de una malla de 2 mm antes de su uso.

Primera etapa de hidrólisis (remojo ácido)

Se hidrolizan 15 g de algas rojas en una solución de ácido sulfúrico con concentración de 1.5 y 9 % (w/w), temperaturas de 60, 70 y 80 °C, tiempos de reacción de 24, 48 y 72 h, en botellas de 250 mL con tapón de rosca bajo diversas condiciones. Después de ser empapado en la solución de ácido sulfúrico, los sólidos de la suspensión se separan usando una centrífuga y luego se lavan con aproximadamente 2 L de agua destilada hasta que el pH del líquido de lavado sea aproximadamente 6.5-7.0. Luego las algas rojas lavadas se secan en un horno de secado al vacío a 45 °C, hasta que queden completamente secas. El contenido total de sólidos de las algas rojas secadas al vacío se determina secando las muestras en un horno de secado a 105 °C (4).

Segunda etapa de hidrólisis (reactor discontinuo)

La segunda etapa de hidrólisis se realiza usando el licor diluido de la primera etapa de hidrólisis y reactores tubulares sellados (9.04 cm³ de volumen interno) construido en acero inoxidable (SAE 316)

de 1 cm debido a su resistencia a temperaturas elevadas y resistencia a la corrosión. Los reactores se empaquetan con 5 mL de solución hidrolizada en el primer paso. Se toman muestras a intervalos de 20 minutos (4).

Análisis de rendimiento de ácido galactosa y levulínico

Se toman muestras del ácido en remojo y del reactor y se neutralizan con CaCO_3 a un pH entre 5-6 y luego se centrifuga el líquido filtrado a 18 000 rpm por 15 min, para eliminar residuos de partículas de las muestras filtradas (4).

Se utiliza un sistema de HPLC para determinar el rendimiento de galactosa y ácido levulínico. El sistema de HPLC consistió en un binario Waters 1525 Bomba HPLC, inyector de muestras Waters 717 plus, Waters 2487 dual I detector de absorbanza y refractómetro diferencial Waters 410. La columna analítica utilizada fue una Aminex HPX-87H para análisis de ácidos orgánicos. La temperatura de operación de la columna se mantuvo a 65 °C. La fase móvil de la solución acuosa de H_2SO_4 fue de 0.018 M con una velocidad de flujo de 0.7 mL/min. El volumen de inyección de muestra fue 20 mL. El rendimiento de ácido levulínico basado en el peso de la materia prima se calculó como:

$$\text{Rendimiento del AL(\%)} = \frac{\text{contenido del AL después de la reacción}}{\text{contenido de alga roja antes de la reacción}} \times 100\%$$

Balance total de masa

El diagrama de balance de masa general que describe las etapas de hidrólisis desde el rendimiento de galactosa en la primera y el rendimiento de ácido levulínico en la segunda, se muestra en la figura 4.

Resultados

El rendimiento de ácido levulínico aumentó con el aumento de la temperatura de reacción en la segunda etapa de hidrólisis. Mayor tiempo de reacción también aumentó el rendimiento de ácido levulínico significativamente. Sin embargo, la concentración de ácido tuvo un efecto adverso sobre el rendimiento de ácido levulínico. Un rendimiento máximo de 42.88 % de ácido levulínico se logró a 180 °C, 3 % de ácido y 48.22 min. Esto se puede comparar con el rendimiento máximo práctico de 45.88 %. Un modelo de regresión lineal fue capaz de predecir el rendimiento de ácido levulínico con respecto a los efectos de la temperatura de reacción, concentración de ácido y tiempo reacción ($R^2 = 0.9407$) (4).

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LEVULÍNICO A PARTIR DE LA BIOMASA DE RESIDUOS

La conversión hidrotérmica de biomasa residual en ácido levulínico fue investigada en presencia de catalizadores ácidos homogéneos. Diferentes materias primas baratas (aserrín de álamo, lodo de fábrica de papel, residuos de tabaco, paja de trigo, poda de olivo) se emplearon como sustratos. Los rendimientos de ácido levulínico se mejoraron mediante la optimización en la reacción principal de parámetros, tales como tipo y cantidad de catalizador ácido, temperatura, duración, concentración de biomasa y adición de electrolitos. El efecto del catalizador también mejoró con la adopción de la irradiación de microondas como un método de calentamiento eficiente, que permite una gran cantidad de energía y ahorro de tiempo (5).

El rendimiento de ácido levulínico basado en el peso de la materia prima se calculó como:

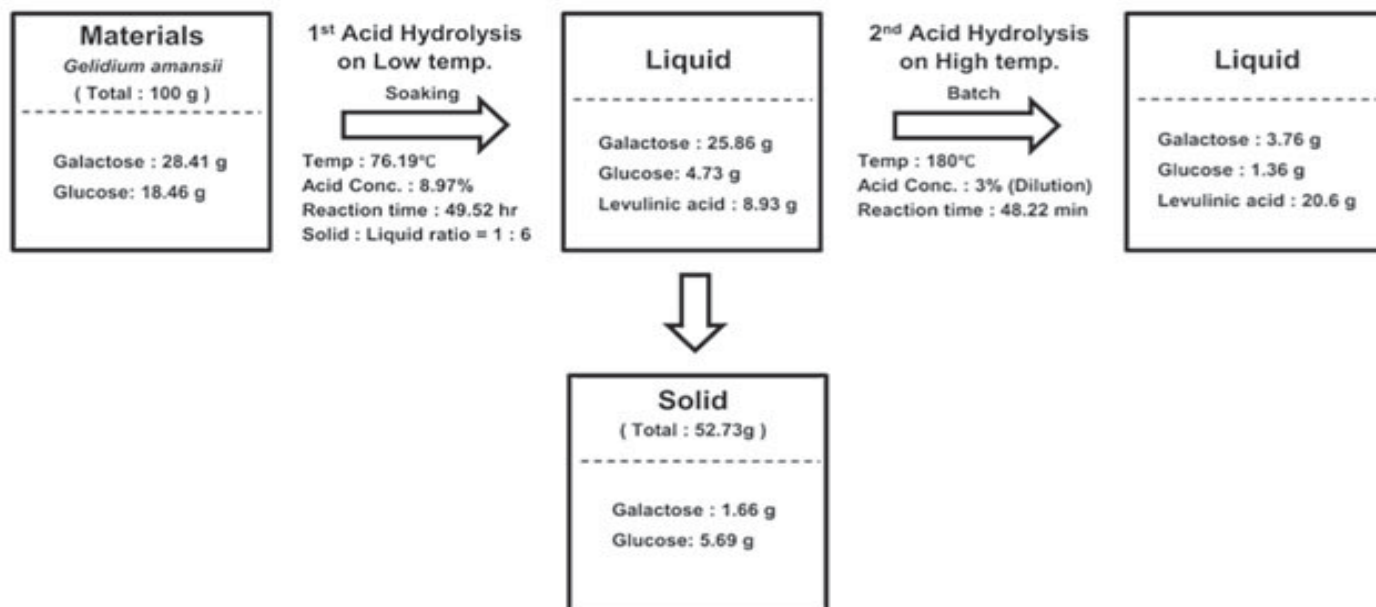


Figura 4. Balance de masa de todo el proceso, incluyendo la primera y la segunda hidrólisis.

$$\text{Rendimiento del AL(\%)} = \frac{\text{AL recuperado después de la reacción}}{\text{sustrato (g)}} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento teórico del AL(\%)} = \frac{0,715}{\text{sustrato (g)}} \times \text{contenido de celulosa (g)}$$

Los espectros FTIR de los residuos sólidos secos se obtuvieron con Perkin-Elmer Espectrofotómetro Spectrum One, equipado con un aparato de reflectancia total atenuado.

Resultados

Diferentes precursores como fructosa, glucosa, sacarosa, almidón, celulosa y también biomasa barata, como madera, paja de trigo, linters de algodón, granos de sorgo y los residuos agrícolas; se han utilizado para producir ácido levulínico. Estos diferentes sustratos han reaccionado bajo diferentes condiciones de reacción, por lo que es difícil comparar sus actuaciones y así evaluar la viabilidad de su conversión catalítica a ácido levulínico. Cuando se procesa biomasa insoluble en agua homogénea, los catalizadores ácidos generalmente parecen más adecuados en comparación con los heterogéneos, teniendo en cuenta su capacidad para entregar las especies activas en la biomasa sólida o hinchada. El H_2SO_4 es el ácido mineral más comúnmente utilizado, pero HCl, HBr y H_3PO_4 también se pueden utilizar (5).

Solo pequeñas cantidades de hidroximetilfurfural y de furfural (derivado de azúcares C5 hemicelulósico) se determinaron en las condiciones de reacción adoptadas. Por el contrario, el rendimiento molar de ácido fórmico, coproducido en igual cantidad molar con ácido levulínico resultó siempre ligeramente más bajo que el de ácido levulínico probablemente debido a sus reacciones secundarias.

Cuando la biomasa de olivo, obtenida de la poda, se empleó usando HCl como catalizador, produjo hasta 66 % del rendimiento teórico con calentamiento tradicional a 200 °C. Este resultado es interesante porque la biomasa de olivo es un tipo de residuo lignocelulósico renovable y barato, sin usos alternativos, cuya eliminación es necesaria.

En particular, la combinación de agua sobrecalentada como solvente con el uso de la irradiación de microondas (MW) como método de calentamiento eficiente, representa una perspectiva real para una sustancia química de procesos verdaderamente sostenibles. De hecho, los procesos asistidos por microondas implican una energía significativa y ahorro de tiempo. En efecto, esta técnica redujo significativamente el tiempo de reacción y aumentó el rendimiento de ácido levulínico hasta el 71 % del rendimiento teórico, comparado con la del reactor por calentamiento en baño de aceite (5).

Cuando se utilizó aserrín de álamo como sustrato, el experimento pudo mejorarse no solo adoptan-

do la radiación microonda sino también mediante la realización del calentamiento tradicional en dos pasos: una prehidrólisis a temperatura más baja y un paso de conversión sucesivo a 200 °C.

La etapa de prehidrólisis solubiliza una fracción del componente hemicelulósico, haciendo que la celulosa no disuelta sea más accesible en el tratamiento sucesivo a alta temperatura. Una caracterización muy reciente de la madera de álamo tratada con ácido sulfúrico diluido, durante tiempos que van hasta 20 minutos y a temperaturas que oscilan entre 120-150 °C, permitió detectar la modificación de la estructura de la biomasa a nivel molecular, implicando no solo la hidrólisis/despolimerización dominante de la hemicelulosa, sino también de holocelulosa y lignina. En comparación con la irradiación de microonda, que necesita la disponibilidad del reactor, la adopción del paso de prehidrólisis aparece como un enfoque más inmediato para mejorar los rendimientos de ácido levulínico desde biomasa, en una selección preliminar.

El HCl diluido siempre actuó como un mejor catalizador en comparación con H_2SO_4 . De hecho, en presencia de H_2SO_4 se observó una deposición significativa de subproductos sólidos de humina en las paredes del reactor. Además, cuando la biomasa cruda tenía un contenido significativo de sales de calcio, como en el caso de los residuos de celulosa de la fábrica de papel o de residuos de tabaco (concentración de calcio > 4 % en peso), se observó una deposición significativa de sulfato de calcio, incluso cuando se trabaja a menor concentración de H_2SO_4 . Cuando se adoptaron concentraciones más altas de H_2SO_4 , el reactor se obstruyó. Por el contrario, bajo condiciones de reacción optimizadas que implican el uso de HCl y tiempos limitados, se observó la ausencia de precipitaciones de sales y deposición de huminas.

Es notable que los rendimientos de ácido levulínico hasta el 77 % del rendimiento teórico máximo se obtuvieron trabajando en lodo de fábrica de papel. Para algunos sustratos, como paja de trigo y residuos de tabaco, la adición de un electrolito barato para el medio de reacción, como NaCl, aumentó el rendimiento. Cuando la suspensión acuosa de tabaco en polvo, que contiene 25 % w/w de celulosa, fue empleado como material de partida, el rendimiento real de ácido levulínico fue aproximadamente el 83 % del rendimiento teórico, debido al efecto combinado de la adición del electrolito y la etapa de prehidrólisis a 120 °C. Este rendimiento es el más alto reportado al utilizar una biomasa residual en un proceso por lotes.

En condiciones óptimas (209 °C; 37.6 min de tiempo de reacción, concentración del 3.5 % en peso

del ácido y 15.6 de relación líquido/sólido) el rendimiento alcanzado en base al peso de la materia prima del material fue 19.86 %, comparable con el valor de 19.3 % obtenido en presencia de HCl al 1.6 % en peso adoptando 1 h de tiempo de reacción. El uso de este catalizador ácido volátil permite la recuperación del ácido levulínico producido mediante destilación atmosférica/al vacío y eliminación de vapor, que puede permitir que aproximadamente el 95 % del catalizador ácido y el agua sean reciclado.

Obtención de ácido levulínico por hidrólisis enzimática

La hidrólisis enzimática es la tecnología más promisoría, utiliza la enzima celulasa para fragmentar la cadena de celulosa. Varias compañías productoras de la enzima han contribuido a incrementar su eficiencia catalítica, a precios competitivos. La corporación logen de Canadá, ha desarrollado nuevas enzimas “modificadas por ingeniería de proteínas” para incrementar el rendimiento de etanol celulósico a partir de paja de trigo. En particular Novozyme, líder mundial en la producción de enzimas comerciales y microorganismos ha realizado avances prometedores en el desarrollo celulasas mejoradas en cuanto a suplementación de los componentes del complejo celulasa para hacer más efectivo el sistema así como en sus propiedades catalíticas (2). Las condiciones de uso de la hidrólisis enzimática son suaves (pH 4.8 y temperatura entre 45-50 °C) y no posee el problema de la corrosión.

Bacterias y hongos son capaces de producir celulasas para la hidrólisis de materiales lignocelulósicos y otros. Las celulasas comerciales están centradas en hongos como *Sclerotium rolfsii* y especies de *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Schizophyllum* y *Penicilli*.

El proceso se puede representar como se muestra en la figura 5:

Recientemente, la isomerización y extracción reactiva (SIRE) están simultaneadas y se ha introducido el proceso de retro-extracción (BE). La SIRE-BE utiliza glucosa/xilosa a partir de hidrolizados de biomasa como corriente de entrada y convierte este sustrato fructosa/xilosa con altos rendimientos de conversión para producir furanos (ej, furfural y el 5-hidroximetilfurfural (HMF)).

Preparación del hidrolizado de biomasa sacarificada

La biomasa prehidrolizada conteniendo celulosa y lignina fundamentalmente fue lavada dos veces con agua desionizada y los sólidos fueron separados por filtración. Para la sacarificación, a 160 g de biomasa húmeda se le adiciona 500 mL de acetato de sodio a 50 mM y se ajusta el pH a 4.8 con HCl. Dos enzimas fueron adicionadas, 15 FPU g⁻¹ glucano de Spezyme CP y 30 CBU g⁻¹ glucano de Novozyme 188, mezcladas a 200 RPM en una zaranda/incubadora a 50 °C durante 72 h. El hidrolizado de la biomasa fue separado de los sólidos remanentes por centrifugación a 5000 r.p.m. durante 10 min seguido por filtración. La solución de azúcares fue caracterizada para identificar los tipos de azúcares y sus concentraciones. La glucosa fue el azúcar mayoritario y la presencia y concentración de otros azúcares fueron despreciables. El rendimiento de la sacarificación fue de 90 %.

Proceso SIRE y BE

La carga de glucosa al comienzo del proceso de sacarificación enzimática fue de 30 g/L. Se preparó una solución de 165 mM (30 g/L) de solución de glucosa por dilución de un hidrolizado de biomasa sacarificado en 50 mM de tampon de fosfato de sodio (pH 85). La solución de glucosa fue isomerizada con 4,5 g de enzima L-GXI para lograr una conversión de glucosa a fructosa. La solución acuosa de glucosa y fructosa fueron adicionadas a octanol conteniendo N2B y 412.5 mM Aliquat® 336 durante 2 h para extraer fructosa a pH de 8,5. Después que el proceso SIRE fue completado, la fase orgánica y acuosa fueron separadas por centrifugación. En el paso BE, para recuperar glucosa y concentrar el extracto de fructosa, se ponen en contacto dos veces con un pequeño volumen de agua desionizada a pH 6; luego, para completar la extracción de azúcares, la fase orgánica se puso en contacto con [BMIM-SO₃H] HSO₄ y agua desionizada durante 10 min a temperatura ambiente.

La solución de fructosa de 2-15 %, fue utilizada como el medio de reacción para obtener el ácido levulínico. Este es un novedoso método multipaso a partir de biomasa hidrolizada para convertir la glucosa a ácido levulínico.

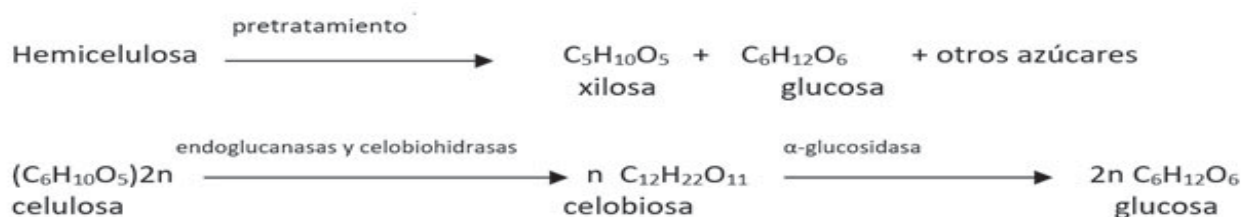


Figura 5. Proceso de hidrólisis de la celulosa y la hemicelulosa.

La glucosa fue isomerizada a fructosa hasta lograr un equilibrio con fructosa. Luego la fructosa fue extraída de forma reactiva y selectiva, con un solvente orgánico inmiscible (octanol), simultáneamente. En el paso BE, el octanol contiene azúcares en contacto con un volumen reducido de la fase acuosa (pH 6) para recuperar parcialmente la glucosa. Luego la fase orgánica contactó con la mezcla [BMIM-SO₃H] H₂SO₄ con agua desionizada (75 % líquido iónico) para completar la extracción de la fructosa. Finalmente, la fructosa fue deshidratada a HMF y el HMF fue convertido a ácido levulínico.

Las condiciones óptimas de reacción fueron establecidas, 100 % de conversión de fructosa a HMF y un alto rendimiento a ácido levulínico se obtiene a partir de 2.5 wt % fructosa inicial, 95 °C durante 1 h. El rendimiento total del proceso comienza con la sacarificación para la síntesis de ácido levulínico (> 58 %).

OTRO MÉTODO DE OBTENCIÓN DE ÁCIDO LEVULÍNICO POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA

Este método comprende múltiples etapas enzimáticas integradas en una sola ruta metabólica, en un huésped de fermentación eucariótico, procariótico o de arqueas, que incluye, a: *Saccharomyces sp.*, *Pichia sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Chrysosporium sp.* y *Escherichia coli*. El método implica una o más etapas enzimáticas llevadas a cabo en un sistema libre de células, o etapas de catálisis química, o una combinación de las mismas, estando los diversos compuestos intermedios en la ruta opcionalmente separados y/o purificados del caldo de fermentación según sea necesario para completar el proceso (6). De forma general el proceso se evidencia en la figura 6.

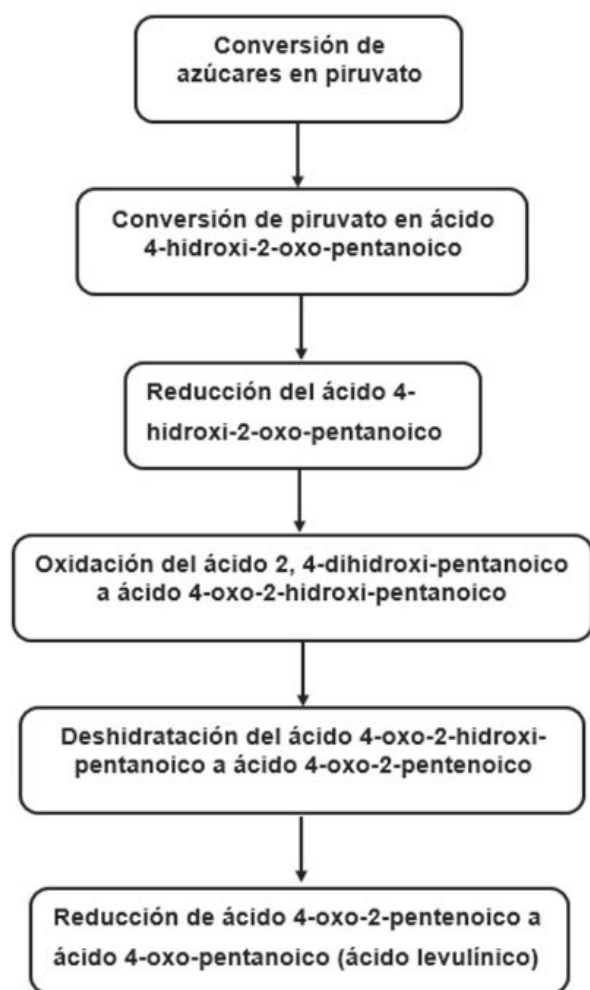


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso por hidrólisis enzimática.

máticas integradas en una sola ruta metabólica, en un huésped de fermentación eucariótico, procariótico o de arqueas, que incluye, a: *Saccharomyces sp.*, *Pichia sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Chrysosporium sp.* y *Escherichia coli*. El método implica una o más etapas enzimáticas llevadas a cabo en un sistema libre de células, o etapas de catálisis química, o una combinación de las mismas, estando los diversos compuestos intermedios en la ruta opcionalmente separados y/o purificados del caldo de fermentación según sea necesario para completar el proceso (6). De forma general el proceso se evidencia en la figura 6.

Paso I: conversión de azúcares en piruvato

La conversión de azúcares en piruvato es parte de la glucólisis. En la glucólisis, la acción de múltiples enzimas da como resultado la conversión de cada molécula de azúcar C6, como la glucosa, en dos moléculas de piruvato, dos moléculas de ATP y dos equivalentes reductores en forma de dos moléculas.

Primero se obtiene el piruvato a partir de la glucólisis en un organismo de fermentación y posteriormente se usa en la ruta corriente abajo en el hospedador de fermentación. Luego el piruvato se separa del caldo de fermentación y se procesa posteriormente de acuerdo con la ruta corriente abajo.

Paso 2: conversión de piruvato en ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico.

El ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico se puede producir mediante la adición aldólica de acetaldehído (un aldehído) a piruvato (un cetoácido). Preferiblemente, el acetaldehído se produce a partir de piruvato con la enzima piruvato descarboxilasa.

Paso 2': ciclación del ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico a 2-oxo-4-valerolactona

El ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico se cicla en 2-hidroxi-4-valerolactona. En soluciones ácidas a neutras, el equilibrio termodinámico se encuentra hacia la ciclación hacia la lactona. La ciclación a la lactona puede mejorarse cinéticamente mediante el uso de catálisis química o bioquímica. Los catalizadores homogéneos y heterogéneos para la lactonización incluyen condiciones ácidas fuertes (por ejemplo, ácido sulfúrico), catalizadores metálicos (por ejemplo, paladio, rubidio).

La catálisis bioquímica puede obtenerse por acción de lipasas, esterasas, proteasas y lactonasas en condiciones que favorezcan la reacción de lactonización directa (pH bajo a neutro/alto de disolvente orgánico).

Luego se produce 2-oxo-4-valerolactona a partir de ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico, en presencia de un catalizador, después de la separación del ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico del caldo de fermentación o solución libre de células.

Paso 3: reducción del ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico a ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico

Entre la amplia variedad de deshidrogenasas naturales, se puede seleccionar deshidrogenasas con especificidad de sustrato que tolera el ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico y el ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico.

El ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico se reduce selectivamente a ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico usando catálisis química homogénea o heterogénea. El ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico puede o no separarse/purificarse de la fermentación o solución libre de células para completar este paso.

Preferiblemente, el ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico se separa de la solución o caldo de fermentación antes de someterse posteriormente a dicha reducción. Se usa una deshidrogenasa dependiente de NAD (P) H para catalizar la reducción de la cetona en la posición dos en ácido 4-hidroxi-2-oxopentanoico. Dicha deshidrogenasa reduce la cetona con un alto grado de especificidad de sustrato para ácido 4-hidroxi-2-oxo pentanoico y alta regioselectividad para la cetona en la segunda posición.

Paso 3': ciclación del ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico a 2-hidroxi 4-valerolactona

El ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico se cicla en 2-hidroxi-4-valerolactona. En soluciones ácidas a neutras, el equilibrio termodinámico se encuentra hacia la ciclación a 4-valerolactona.

La 2-hidroxi-4-valerolactona se produce a partir del ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico, en presencia de un catalizador, después de la separación del ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico del caldo de fermentación o solución libre de células. La lactonización del ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico a 2-hidroxi-4-valerolactona es catalizada directamente por una lipasa o esterasa o proteasa o lactonasa, o mutantes de la misma.

Paso 4: oxidación del ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico a ácido 4-oxo-2-hidroxi-pentanoico

El ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico se oxida selectivamente a ácido 4-oxo-2-hidroxi-pentanoico usando catálisis química homogénea o heterogénea. Dicho ácido puede o no separarse/purificarse de la fermentación o solución libre de células para completar este paso. Preferiblemente, el ácido 4-oxo-2-hidroxi-pentanoico se separa de la solución o caldo de fermentación antes de someterse posteriormente a dicha oxidación.

Paso 5: deshidratación del ácido 4-oxo-2-hidroxi-pentanoico a ácido 4-oxo-2-pentenoico

Clásicamente, la deshidratación química se logra con catálisis homogénea o heterogénea, con temperatura mayor de 100 °C, ácido concentrado (ácido sulfúrico) y/o catalizador de óxido metálico (óxidos de zinc o aluminio). El ácido 4-oxo-2-hidroxi-penta-

noico obtenido después de las etapas de reducción y oxidación se deshidrata químicamente en ácido 4-oxo-2-pentenoico mediante catálisis homogénea o heterogénea. Preferiblemente, el ácido 4-oxo-2-hidroxi-pentanoico se separa de la solución o caldo de fermentación antes de someterse a dicha deshidratación.

Alternativa a los pasos 4 y 5

Alternativamente a una conversión en dos etapas de ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico a ácido 4-oxo-2-pentenoico, se puede lograr una conversión de una etapa usando una deshidratación oxidativa. Las llamadas enzimas 4,6 deshidratasa, tales como UDP-GlcNAc-4,6-deshidratasa inversora, se usan para catalizar la deshidratación oxidativa del ácido 2,4-dihidroxi-pentanoico a ácido 4-oxo-2-pentenoico.

Paso 6: reducción de ácido 4-oxo-2-pentenoico a ácido 4-oxo-pentanoico (ácido levulínico)

Los dobles enlaces en alquenos sustituidos se pueden reducir (hidrogenar) para obtener los alcanos saturados correspondientes. Los alquenos sustituidos pueden reducirse usando catálisis química o, por lo general asimétricamente, utilizando biocatalizadores tales como enoatoredutasa asimétrica de enlaces C=C activados con enoatoredutasa de la familia de enzimas amarillas antiguas. Se usa una enzima enoatoredutasa para reducir el ácido 4-hidroxi-2-oxo-pentanoico en ácido levulínico.

En el caso de azúcares C6, el rendimiento de carbono puede ser de hasta 80 %. En el caso de los azúcares C5, el rendimiento de carbono puede ser teóricamente hasta 100 %. Si el método emplea una cepa microbiana capaz de lograr la fermentación simultánea de C5 y C6 tal como, *Saccharomyces cerevisiae* y *Pichia stipitis*, se obtiene la fermentación directa de azúcares a ácido levulínico, 4-valerolactona o cualquiera de los compuestos. Este alto rendimiento alcanzable presenta una ventaja industrial decisiva en comparación con métodos termoquímicos alternativos para la obtención de ácido levulínico o gamma-valerolactona.

Aplicaciones industriales del ácido levulínico (AL)

El ácido levulínico es una plataforma muy versátil para la obtención de productos químicos y materiales derivados directamente de biomasa (1). Se usa como precursor para:

- Aditivos de combustibles. Los ésteres de levulínato son aditivos empleados en diésel y gasolina. Por ejemplo, pueden reemplazar los actuales potenciadores del índice de cetano y a productos empleados como lubricantes. El 2-metiltetrahydrofurano (MeTHF), derivado del ácido levulínico, puede ser mezclado hasta con un 50 % de gasolina para mejorar el rendimiento del vehículo y re-

Tabla 1. Obtención del ácido levulínico por vía química y enzimática

	Hidrólisis química	Hidrólisis enzimática
Tecnología	Hidrólisis con ácido concentrado y diluido a altas temperaturas y presión	Varios pasos de conversión enzimática
Complejidad	Más sencillo	Más complejo
Rendimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Biofine 70 % • Hidrólisis química de algas rojas 42,8 % 	<ul style="list-style-type: none"> • SIRE y BE > 58 % • Multietapa enzimática < 80 %
Compatibilidad con el medio ambiente	Residuales altamente contaminantes	Residuales con menor índice de contaminación
Costos	Asociados al equipamiento que necesita altas temperaturas y altas presiones	Asociados al costo de las enzimas

- ducir así las emisiones de gases contaminantes.
- Polímeros y plastificantes. Los ésteres de cetales derivados del ácido levulínico pueden reemplazar a la mayor parte de los plastificantes basados en ftalatos. El metilbutanodiol (MeBDO) tiene potencial para ser empleado como monómero en la fabricación de poliuretanos. La γ -valerolactona (GVL) puede utilizarse como monómero en la síntesis de poliésteres así como precursor de los isómeros de la pirrolidona.
 - Disolventes. Los ésteres del ácido levulínico, la GVL y el MeTHF son disolventes óptimos en muchas aplicaciones. La GVL puede reemplazar al acetato de etilo, y el MeTHF puede ser utilizado como sustituto del tetrahidrofurano (THF) en la química fina y en la industria farmacéutica.
 - Resinas y recubrimientos. El ácido levulínico se puede adicionar a resinas de poliéster y polioles de poliéster, incrementando así la resistencia al rayado de los recubrimientos obtenidos.
 - Productos farmacéuticos. El ácido levulínico se usa en medicamentos antiinflamatorios, en anti-lergénicos, así como en suplementos minerales.
 - Productos agroquímicos. El ácido deltaaminolevulínico (DALA) se usa como herbicida en pastos y cultivos.
 - Industria alimentaria. Los ésteres del ácido levulínico se suelen emplear como aditivos alimenticios y como potenciadores de sabor.
 - Cuidado personal. El ácido levulínico y sus derivados se usan en cosméticos naturales, en perfumes y reguladores del pH para la piel.

Análisis de la revisión bibliográfica

Existen diferentes métodos para la obtención del ácido levulínico ya sea por la vía química o en-

zimática. Sin embargo, la tecnología más común es la hidrólisis ácida de la biomasa lignocelulósica. Bajo estas condiciones, la celulosa se convierte en azúcares de 5 y 6 carbonos: los C6 se convierten a hidroximetilfurfural (HMF) y este a su vez se convierte en ácido levulínico y ácido fórmico; los C5 se descomponen en furfural que puede ser utilizado tal cual o convertido a ácido levulínico. Este proceso tiene la ventaja, de contar en Cuba con experiencia de producción de la hidrólisis del bagazo para la obtención del furfural y existir tecnologías que pudieran evaluarse con este objetivo. Este proceso demostrado en la tecnología Biofine obtiene un rendimiento aproximado del 70 % en la producción de ácido levulínico. Un resumen del análisis de esta información se muestra en la tabla 1.

CONCLUSIONES

1. El método de producción de ácido levulínico que mayormente se utiliza en la actualidad es la hidrólisis química del bagazo. Este proceso tiene la ventaja en Cuba de contar con una planta industrial para la producción de furfural que pudiera evaluarse técnica y económicamente para la producción de ácido levulínico.
2. La producción de ácido levulínico por hidrólisis ácida del bagazo según la tecnología Biofine obtiene un rendimiento aproximado del 70 %, el mayor comparado con 42.88 % de ácido levulínico que se logra por la hidrólisis ácida a partir de las algas rojas *Gelidium amansii*. La hidrólisis enzimática por el método SIRE y BE obtiene rendimientos que superan el 58 %, pero no se informa el máximo obtenido en la producción de ácido levulínico.

El método de obtención por vía enzimática implica una o más etapas enzimáticas llevadas a cabo en un sistema libre de células, estando los diversos compuestos intermedios en la ruta opcionalmente separados y/o purificados del caldo de fermentación según sea necesario para completar el proceso. En el caso de azúcares C6, el rendimiento de carbono puede ser de hasta 80 %.

3. Estas consideraciones permiten concluir que la producción de ácido levulínico por la vía bioquímica requiere de recursos de investigación especializados en cuanto a equipamiento y reactivos, de poca disponibilidad en las condiciones actuales

de investigación del ICIDCA, sin embargo, se reconoce que el trabajo en esta línea de proyecto es de interés para los objetivos de diversificación y obtención de nuevas moléculas que permitan procesos y productos más amigables con el medio ambiente.

4. No existen antecedentes de procesos industriales con tecnologías bioquímicas para la producción de ácido levulínico. Este proceso requiere de múltiples etapas enzimáticas que conviertan azúcares en ácido levulínico vía piruvato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sanz, F. H. (2016). Tipos de catalizadores y procesos catalíticos en la conversión de ácido levulínico a productos con aplicación industrial. Máster universitario en ciencia y tecnología química Trabajo de Fin de Máster, Facultad de Ciencias. UNED.
 2. Morales, G. (2013). "Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica: proceso BIOFINE." Energía y Sostenibilidad Retrieved 6/7/2018, 2018, from <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2013/05/17/132031>
 3. Area, M. C. y Vallejos, M.E. (2016). Bio-productos y bio-materiales a partir de la biorrefinería de residuos agro y forestoindustriales. Panorama de la industria de celulosa y papel y materiales lignocelulósicos. S. W. P. María Cristina Area. Posadas, Argentina, Universidad Nacional de Misiones.
 4. Minsu, K., K.; Wook, S.; Jin-Woo, K.; Hyun, K. T. y Seok, K. J. (2013). Optimization of levulinic acid production from *Gelidium amansii*. Renewable Energy. Seoul, Republic of Korea: 173-179.
 5. Galletti, A. M. R.; Antonetti, C.; Luise, V. D.; Licursi, D. y Nasso, N. N. (2012). Levulinic acid production from waste biomass. Bioresources. Pisa, Italy: 1824-1835.
 6. Zanghellini, A. L. (2012). Fermentation route for the production of levulinic acid, levulinate esters, valerolactone, and derivatives thereof. I. Bureau. Canada. WO 2012/030860 A1.
-

Estudio del escalado de la producción de fructooligosacáridos (FOS) a nivel industrial en la planta de sorbitol

Odalys Capote-Peña¹, Enrique R. Pérez-Cruz², Alejandro Fonte-Pérez^{1*}, Marlen C. Alfonso-Lorenzo¹, Arodis Caballero-Núñez¹, Ángel Joseph-Marshall³, Erduin Luis-Delgado¹, Ramón Consuegra-del Rey¹, Yordanis Martínez-Pereira¹, Guillermo A. González-Pedroso¹

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

* alejandro.fonte@icidca.azcuba.cu

2. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB).

Ave. 31 e/ 158 y 190, Cubanacán, Municipio Playa, La Habana, Cuba.

3 Planta de Sorbitol, UEB Ignacio Agramonte, Calle San Carlos No. 298, Florida, Camagüey.

RESUMEN

El proyecto concibió el estudio del escalado de la producción de sirope de fructooligosacáridos (FOS) en la planta de sorbitol ubicada en la UEB Ignacio Agramonte, perteneciente a la Empresa Azucarera Camagüey. Se definieron las condiciones de síntesis y purificación de los fructooligosacáridos, utilizando la enzima recombinante 1-SST patentada por el CIGB SS. Para ello se realizó una prueba industrial donde se produjeron tres lotes, cada uno de 5 m³ de FOS mezcla, comprobándose que con el equipamiento tecnológico de la planta actual se puede llevar a cabo la producción de dicho producto, permitiendo diversificar esta industria con un nuevo producto de alto valor. Se comparó la calidad de los lotes con productos similares (FOS mezcla, producido por la empresa china Quantum Hitech Biotecnología y lotes producidos por el ICINAZ) donde los parámetros físico-químicos y las composiciones de los tres lotes que se produjeron son similares a los comercializables.

Palabras clave: fructooligosacáridos, enzima recombinante 1-SST, síntesis, purificación.

ABSTRACT

The project conceived the study of the scaling of the production of fructooligosaccharides syrup (FOS) in the Sorbitol plant located in the UEB Ignacio Agramonte, member of the Camagüey Sugar Company. The conditions of synthesis and purification of the FOS were defined using the recombinant enzyme 1-SST patented by the CIGB SS. For this, an industrial test was carried out where three batches each of 5 m³ of FOS mixture were produced, verifying that with the technological equipment of the current plant it can be carried out, the diversification of this industry with a new high value product. The quality of the lots is compared with similar products (FOS mix produced for the Chinese company Quantum Hitech Biotecnology and lots in the ICINAZ) where the physical-chemical parameters and the compositions of the three lots that are produced are similar to the marketable ones.

Key words: fructooligosaccharides, recombinant enzyme 1-SST, synthesis, purification.

INTRODUCCIÓN

Los últimos años han supuesto un cambio en los conceptos básicos de la nutrición humana, hasta ahora la idea tradicional de una “dieta adecuada” estaba referida únicamente al aporte de nutrientes suficientes para asegurar la supervivencia de un individuo, cubrir sus necesidades metabólicas y nutri-

tivas. En la actualidad, se presta una mayor atención a la potencialidad de ciertos alimentos para promover la salud, mejorar el bienestar físico y reducir el riesgo de contraer enfermedades. Así, el concepto de “nutrición adecuada” tiende a ser sustituido por el de “nutrición óptima”, en cuyo ámbito aparecen los alimentos funcionales, encontrándose entre ellos los prebióticos (1).

Dentro los diferentes prebióticos se destacan, como uno de los más funcionales, los fructooligosacáridos (FOS), por cumplir con todos los criterios de clasificación y seguridad alimentarias (2). Estos son oligofructosas que tienen un grado de polimerización bajo (menos de 9 unidades de fructosa) y que debido a los enlaces “ α ” entre las moléculas, no son atacados por las enzimas digestivas del estómago ni del intestino delgado. De esta manera llegan al intestino grueso promoviendo el crecimiento de la flora probiótica intestinal, funcionando como sustrato metabólico (3, 4). Al ser ingeridos, los FOS se desplazan por casi todo el tracto digestivo sin ser modificados y cuando llegan al colon, son fermentados por bacterias de la microflora intestinal (probióticos) para producir ácido láctico y ácidos grasos de cadena corta (SCFA), butirato, propionato y acetato, principalmente, los cuales disminuyen el pH del colon e imposibilitan así la multiplicación de bacterias putrefactivas y perjudiciales. Estos agentes han sido vinculados con la mejora de la asimilación del calcio y del metabolismo de los lípidos, el fortalecimiento y modulación de la respuesta del sistema inmunológico, la prevención de infecciones gastrointestinales y la reducción del riesgo de desarrollar algunos tipos de cáncer, en particular el de colon (4, 5). Los FOS son ampliamente utilizados como aditivos edulcorantes porque aportan aproximadamente, un tercio del dulzor de la sacarosa, es decir, que añadidos a diferentes alimentos brindan una combinación de dulzor y bajo aporte calórico (1.5 kcal/g) comparados con los carbohidratos digeribles (4 kcal/g) (4, 6).

Estos se encuentran presentes de forma natural en multitud de alimentos vegetales, aunque en cantidades pequeñas. Algunos de los alimentos con mayor contenido en FOS son frutas como los plátanos, verduras como las alcachofas, los espárragos o las cebollas, y cereales como el trigo o la cebada. Cabe resaltar que su concentración en estas fuentes es baja y la producción en masa está limitada por las condiciones estacionales (6).

Actualmente la producción industrial del FOS se realiza mediante dos estrategias: degradación parcial de inulina o síntesis enzimática a partir de la sacarosa con el empleo de enzimas con alta actividad transfructosilasa. Ambas tecnologías dan lugar a una mezcla de FOS cuyos principales componentes son 1-kestosa, nistosa, fructosa, glucosa y sacarosa, siendo los dos primeros componentes los de mayor interés comercial por su doble efecto edulcorante hipocalórico y suplemento prebiótico, así como su posible uso para el consumo en diabéticos (5, 6).

El proyecto concibió el estudio del escalado de la producción de sirope de fructooligosacáridos (FOS) en la planta de sorbitol ubicada en la UEB Ignacio Agramonte, perteneciente a la Empresa Azucarera Camagüey.

MATERIALES y MÉTODOS

Descripción del proceso tecnológico para las etapas de síntesis y de purificación

La tecnología de elaboración de este prebiótico en forma de sirope, está basada esencialmente en la transformación enzimática de la sacarosa en fructooligosacáridos (FOS). La operación se realizó a través de un biocatalizador conformado por 1-SST (1-sacarosa: sacarosa fructosiltransferasa) que es una enzima libre recombinante expresada en *Pichia pastoris*. El biocatalizador se produjo en el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Sancti Spiritus en virtud de la licencia de seguridad biológica con permiso CH47-P (90/ 09) y número de patente WO 2014/044230 “Método de obtención de 1-kestosa”.

Durante la etapa de síntesis del producto, un licor de sacarosa a 50 °brix se puso en contacto con el biocatalizador en el reactor de hidrogenación catalítica de glucosa en el proceso de producción de sorbitol, el cual tiene control de temperatura y se logró mantener la solución homogénea a través de un mezclado por recirculación por bombeo. La mezcla de reacción se mantuvo con agitación durante un período de 10-24 h bajo condiciones controladas, a temperatura de 45 °C y a pH 5.5-6.0. Una vez obtenido el FOS mezcla en la etapa de síntesis fue necesario purificar el producto de manera tal que alcanzase parámetros físico-químicos semejantes a los productos comerciales y que además permitiera su conservación. Para ello se desmineró a flujo de 3.5 m³/h utilizando 3 columnas en serie: resinas catiónicas (C 504), aniónicas (A 505) y lechos mezclados (LM 506). Posteriormente se trató con una mezcla de carbón activado y tierra filtrante y se pasó por un filtro a presión con placas verticales. La filtración se llevó a cabo a flujo de 2.3 m³/h, lográndose parámetros de calidad establecidos de pH=5-7, brix \geq 45°, color= 0 y conductividad \leq 2 μ S/cm. A continuación, se concentró por evaporación a 60 °C hasta alcanzar valores de 75-78 % de sólidos solubles pasando a través de un evaporador de “película descendente” con flujo de entrada entre 2-2.4 m³/h. Finalmente, el sirope obtenido se envasó en tanques de polietileno de alta densidad y se mantuvo a temperatura ambiente en un lugar fresco hasta su uso.

Determinación de las condiciones de síntesis del FOS mezcla

Análisis del efecto de la temperatura en la velocidad inicial de la reacción enzimática

Con el objetivo de estudiar el efecto de la temperatura en la actividad transfructosilasa de la enzima 1-SSTrec, se prepararon mezclas de reacción que contenían sacarosa 600 g/L en tampón acetato de

sodio 0.1 M; pH=5.5 y 6000 U/L de enzima en volumen final de 10 ml. Las mezclas de reacciones se incubaron por 30 minutos y manteniendo una agitación de 100 rpm a temperaturas entre 30 y 70 °C a intervalos de 5 °C. Las reacciones se detuvieron incubando a 100 °C durante 5 minutos y se determinó la concentración de 1-kestosa presente en las mezclas de reacción por HPLC (7).

Análisis del efecto del pH en la velocidad inicial de la reacción enzimática

El pH puede tener influencia tanto sobre la actividad como en estabilidad enzimática de la 1-SSTrec. Para analizar el efecto del pH en la actividad de la 1-SSTrec se disolvió la sacarosa 600 g/L en 0,1 M de tampón acetato de sodio a los pH 4, 4.5, 5 y 5.5 y 0.1 M de tampón fosfato de sodio a los pH de 6, 6.5, 7, 7.5 y 8 y se procedió a hacer mezclas de reacción en proporciones similares al ensayo de actividad y manteniendo constante la concentración de enzima (7).

Análisis del efecto de la concentración inicial de enzima y sustrato (E/S) en la velocidad inicial de la reacción enzimática y en la producción de FOS

Se realizaron ensayos para conocer el efecto de la concentración inicial de enzima y de sustrato (sacarosa) en la velocidad inicial de reacción. En el caso del efecto de la concentración de enzima se ensayó la velocidad inicial de la reacción a concentraciones de enzima entre 750-9000 U/L en 600 g/L de sacarosa inicial a 45 °C, 100 rpm, pH 5.5 en tampón acetato de sodio 0.1 M. Las reacciones se detuvieron a los 10 minutos calentando una muestra a 100 °C durante 5 minutos. Las muestras o sus diluciones se analizaron por el método DNSA. Por otra parte, para conocer la influencia de la concentración inicial de sustrato en la producción de FOS, se ensayó la cinética de reacción durante 7 horas a 40 °C, 100 rpm, 0,1 M de acetato de sodio pH 5,5 en el intervalo de concentración de sacarosa 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800 g/L (342-2339 mmol/L), manteniendo constante la relación cantidad de enzima por gramo de sustrato (RE/S= 5U/g sacarosa). Se tomaron muestras cada 1 hora y se incubaron a 100 °C durante 5 minutos para detener la reacción. Las muestras fueron analizadas por HPLC (7).

Producción de sirope de fructooligosacáridos (FOS) a escala industrial en la planta de sorbitol

Una vez identificadas experimentalmente las condiciones de máxima productividad se procedió a evaluar las condiciones existentes actualmente en la planta de sorbitol para realizar la síntesis de FOS. La evaluación permitió constatar que en la planta se dispone de equipamiento tecnológico para la preparación de la materia prima (dilución de sacarosa y filtración), así como para el refinado, pulido y con-

centración después de las síntesis a través de operaciones de intercambio iónico, filtración con carbón activado y evaporación por película descendente (8, 9). Para la etapa de síntesis no se cuenta con un reactor tipo tanque agitado enchaquetado con control de temperatura empleado para dicha reacción (10, 11). Ante esta situación se propuso evaluar la síntesis FOS en el reactor de hidrogenación catalítica de glucosa en el proceso de producción de sorbitol el cual tiene control de temperatura y se logra mantener la solución homogénea a través de un mezclado por recirculación por bombeo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de las variables ambientales en la actividad enzimática de la 1-SSTrec

Influencia de la temperatura en la velocidad inicial de la reacción enzimática

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 1 donde se evidencia que la temperatura óptima de reacción se encuentra entre 40 y 50 °C.

La temperatura óptima de una fructosiltransferasa puede ser muy variable en dependencia de su origen. Las fructosiltransferasas provenientes de plantas presentan temperaturas óptimas entre 30 y 40 °C (12- 15). Sin embargo las fructosiltransferasas de hongos como *Aspergillus aculeatus*, *Aspergillus japonicus* y *Aspergillus niger*, presentan temperaturas óptimas superiores que pueden oscilar entre 50 y 65 °C (16- 18).

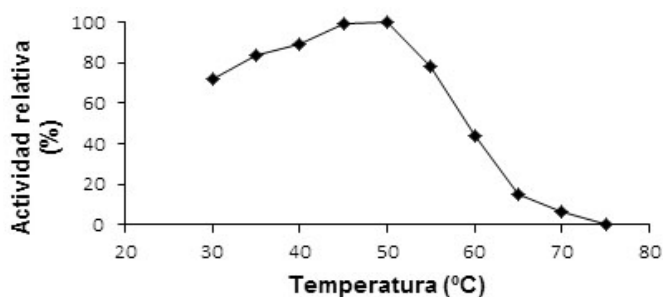


Figura 1. Influencia de la temperatura sobre la actividad de la enzima 1-SSTrec.

Influencia del pH en la velocidad inicial de la reacción enzimática

En las condiciones ensayadas se obtuvo que el pH óptimo para la 1-SSTrec se encuentra entre 5 y 6, pues según la comparación de medias por la prueba de Student-Newman-Keuls, ($p \leq 0.05$) no existía diferencia significativa entre los valores de glucosa liberada a estos valores de pH, siendo pH 5.5 la condición de mayor actividad. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2.

Estos resultados coinciden con los obtenidos

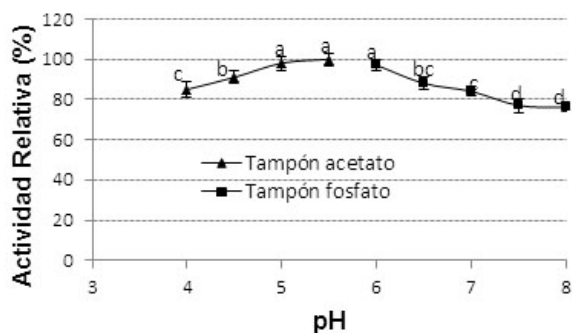


Figura 2. Efecto del pH en la actividad enzimática de la 1-SSTrec.

para otras 1-SST de plantas como la de cebolla (19), alcachofa de Jerusalén (20) y el trigo (19).

Influencia de la concentración inicial de E/S en la velocidad inicial de la reacción enzimática y en la producción de FOS

Para estudiar el efecto de la concentración sustrato se ensayó la velocidad inicial de la reacción a concentraciones de sacarosa inicial entre 100-800 g/L y concentración enzima de 6000 U/L a 45 °C, 100 rpm, pH 5.5 en tampón acetato de sodio 0.1 M. En la figura 3 se observa que con el aumento de la concentración inicial de sacarosa desde 294 hasta 1460 mM aumenta progresivamente la velocidad inicial. A partir de esta concentración la velocidad se mantiene aproximadamente constante. Estos resultados muestran un inusual comportamiento a los reportados para la mayoría de las fructosiltransferasas de hongo (20- 21); pues la velocidad máxima se alcanza a altas concentraciones de sacarosa y a partir de ese punto no decrece. Por lo cual, ni el mecanismo de Michaelis-Menten, ni el mecanismo de inhibición por sustrato son una interpretación acertada para la interacción enzima-sustrato.

La influencia de la concentración inicial de sustrato en la producción de FOS se puede observar en la figura 4. Como se muestra todas las cinéticas mostraron un curso temporal de la reacción similar, a pesar de que las conversiones para un mismo tiempo no se comportaron de igual modo. Los perfiles de productos se caracterizan por la formación de 1-kestosa y la liberación de glucosa como únicos productos de la reacción hasta alcanzar aproximadamente un 65-70 % de conversión de la concentración inicial de sustrato. A conversiones entre 70 - 80 % se observa la aparición de nistosa, la que aumenta discretamente con el avance de la reacción. No se observó presencia de fructosa en ninguna de las cinéticas ensayadas hasta las 7 horas de reacción. Se observó que la conversión aumenta con el incremento de la concentración de sacarosa en el intervalo de 100-600 g/L y a partir de este valor disminuye. Este comportamiento se debe a la desactivación térmica de

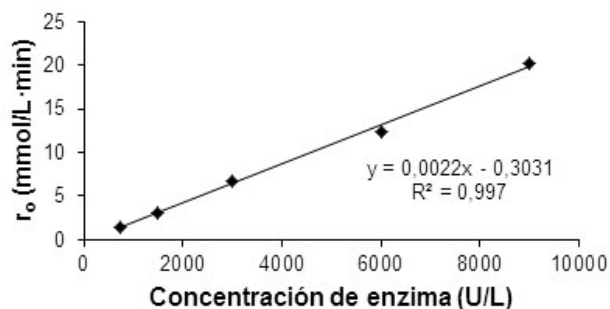


Figura 3. Efecto de la concentración inicial de enzima en la velocidad inicial donde (♦) representa la media de tres experimentos y (-) representa la línea de tendencia.

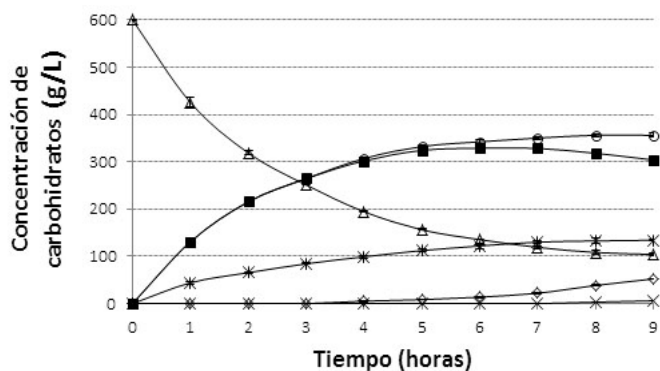


Figura 4. Curso temporal de la reacción catalizada por la 1-SSTrec a 600 g/L de sacarosa inicial en 0,1 M de tampón acetato de sodio pH 5.5, 40 °C, y 100 rpm. Los datos representan las medias de tres experimentos \pm la desviación estándar y los símbolos (Δ) sacarosa, (\square) 1-kestosa, (\diamond) nistosa, (x) glucosa, (*) Fructosa, (o) FOS totales.f

la enzima combinada con el efecto termoprotector de la sacarosa, el que se incrementa con el aumento de la concentración de la misma. Esta composición de 1-kestosa en la mezcla de reacción donde la concentración de FOS se hace máxima, es una cuota de rendimiento y concentración no alcanzada por ningún otro biocatalizador de los reportados en la literatura cuando reaccionan a concentraciones iniciales de sacarosa superiores a 480 g/L. Los rendimientos típicos de 1-kestosa no superan la barrera del 38 % en mezclas de reacciones producidas por biocatalizadores generados a partir de enzimas fúngicas y cuyo contenido de FOS es de 55-60 % (7, 22).

A manera de resumen se puede decir que la producción de FOS a partir de la sacarosa catalizado por la 1-SSTrec alcanza rendimientos máximos en el intervalo de 55-60 % de conversión, siendo la 1-kestosa el compuesto más representado en más de un 50 % del total de productos de la mezcla reacción. La mayor productividad en la obtención de 1-kestosa se alcanza a las condiciones de: concentración de sacarosa 600 g/L, pH 5,5, temperatura de 45 °C y velocidad de agitación de 100 rpm y la mayor con-

Tabla 1. Caracterización del producto a la salida de la etapa de síntesis enzimática (lotes 1, 2 y 3)

Parámetros	LOTE 1		LOTE 2		LOTE 3	
	Laboratorio	Proceso	Laboratorio	Proceso	Laboratorio	Proceso
Tiempo reacción (h)	22	28	24	26	29	52
Nistosa %	5.17	6.02	9.26	7.36	10.32	7.07
Kestosa %	48.25	47.68	46.37	49.09	43.08	48.95
Sacarosa %	23.72	23.68	19.65	20.03	22.75	20.15
Glucosa %	25.71	26.37	31.56	20.94	32.65	21.42
Fructosa %	2.32	2.25	2.41	2.59	1.49	2.41
FOS totales %	53.42	53.70	55.63	56.44	53.40	56.02

centración de 1-kestosa se alcanza a similares condiciones, pero a una concentración de sacarosa de 800 g/L.

Caracterización de la síntesis de los lotes producidos

En la prueba realizada se produjeron 3 lotes cada uno de 5 m³ de FOS mezcla en el reactor. La tabla 1 muestra la caracterización del producto a la salida de la etapa de síntesis tanto en laboratorio como en fábrica en cada uno de los lotes.

Para el lote 1 puede observarse que hubo un retardo de 6 horas de la industria respecto al laboratorio. Sin embargo, laboratorio y proceso se comportaron similarmente en cuanto a composición, alcanzándose un porcentaje de FOS totales aceptable. De hecho, es importante señalar que lo novedoso de esta enzima libre utilizada es que se sintetizan cantidades de 1-kestosa superiores al resto de productos comercializados internacionalmente, que es lo que le concede la cualidad como prebiótico. Para el lote 2 puede observarse que hubo un pequeño retardo en la etapa industrial respecto al laboratorio y que los niveles de 1-kestosa y de nistosa fueron inferiores, no obstante, se obtuvo un producto con calidades comercializables. Tanto en laboratorio como en fábrica, se alcanzaron tiempos de reacción superiores a lo esperado (12-16 horas) pudiendo estar relacionado con la concentración de enzima o la calidad del licor. En ambos casos se apreció disminución del pH en el transcurso de la reacción lo que explica el retardo de la misma, siendo mucho mayor en la industria porque la disminución de pH fue mayor en la misma. Para el lote 3, puede observarse que hubo un retardo considerable en la etapa industrial. Se obtuvieron niveles de 1-kestosa y de nistosa similares gracias a la adición de enzima a las 32 horas de reacción. A las 24 horas se produjo un estancamiento de la reacción durante 8 horas y se decidió a esa hora ajustar pH y adicionar 2 millones adicionales de unidades de enzima para dar continuidad a la reacción.

Se desconocen las causas que provocaron este efecto, pudiendo estar relacionada con la temperatura o con el envejecimiento del licor.

De manera general, en los 3 lotes el seguimiento de la reacción por el laboratorio comparada con la industria arrojó que:

- Tanto industria como laboratorio tuvieron tiempos de reacción superiores a lo esperado con un mayor retardo en la industria.
- Hubo variaciones de pH tanto en la síntesis a escala de laboratorio como en la industria, pero el descenso en la industria fue superior.
- Los FOS totales producto de la reacción fueron ligeramente inferiores en la fábrica en los lotes 2 y 3, variando en un 11.86 % para el lote 2 y en un 2.28 % para el lote 3. En el lote 1, la fábrica superó al laboratorio en un 0.5 % pero lamentablemente el producto posteriormente se vio afectado al pasar por las columnas de desmineralización.

Como en el laboratorio y en la fábrica se simuló el mismo licor y enzima, puede correlacionarse el descenso en el pH con el envejecimiento del licor y consecuentemente con el retardo de la reacción en los dos lugares.

Caracterización del lote 1

La producción del lote 1 siguió el proceso tecnológico según lo previsto, reproduciendo todas las etapas concebidas para la preparación de la materia prima, la síntesis y la purificación del producto. Una vez obtenido un producto de síntesis con un 53.70 % de FOS totales se procedió a la etapa de desmineralización donde el producto pasó por una batería de 3 columnas, una catiónica, una aniónica y un lecho mezclado. Al pasar por la columna catiónica descendió bruscamente el pH y la conversión se vio alterada de manera tal que el producto cambió su composición, bajando los niveles de 1-kestosa de 47.68 % a 27.28 % y los niveles de nistosa de 6.02 % a 4.16 % derivando en una disminución de los FOS totales de

Tabla 2. Composición del producto en la síntesis y en la desmineralización

Parámetros	LOTE 1	
	Síntesis	Desmineralización
Nistosa %	6,02	4,16
Kestosa %	47,68	27,28
Sacarosa %	23,68	25,66
Glucosa %	26,37	30,43
Fructosa %	2,25	16,60
FOS totales %	53,70	31,44

Tabla 3. Caracterización del producto final del lote 1

Parámetros/ Composición	LOTE 1
pH	5.46
Brix	69.2
Conductividad (µS/cm)	0.26
Color (UI)	57.33
Densidad (g/ml)	1.34
Nistosa (%)	5.64 ± 0.82
Kestosa (%)	27.34 ± 2.59
Sacarosa (%)	22.81 ± 0.98
Glucosa (%)	27.91 ± 2.20
Fructosa(%)	16.30 ± 0.23
FOS total (%)	32.8 ± 3.41
Kestosa/FOS total	82.95 ± 0.72

53.70 % a 31.44 %, obteniéndose un producto con niveles superiores de glucosa y fructuosa.

La tabla 2 muestra el cambio de composición de la salida del reactor a la salida de la etapa de desmineralización.

De esta etapa se puede concluir que con las resinas que trabaja la planta no es posible desmineralizar la mezcla de FOS, pues provoca hidrólisis de los mismos modificando su composición. Se valoró colectivamente que los parámetros de color y conductividad del FOS a la salida de la síntesis se encontraban en norma comparado con calidades de productos comercializados y se acordó no desmine-

ralizar en los próximos lotes. Luego de tratado con carbón, filtrado y concentrado, se obtuvo un producto cuyas características se muestran en la tabla 3.

A pesar de no tener las concentraciones deseadas de FOS totales, este producto es comercializable pues tiene porcentajes de nistosa y 1-kestosa que solo variarían la dosis de empleo en dependencias de estas concentraciones en la mezcla.

Caracterización del lote 2

Una vez obtenido un producto de síntesis con un 56.44 % de FOS totales se procedió a la etapa de tratamiento con carbón, donde los parámetros de color y conductividad disminuyeron respecto a la síntesis cumpliendo su propósito en el proceso tecnológico. La tabla 4 y la figura 5 muestran los parámetros físicos-químicos del lote 2 a través de cada una de las etapas.

Como se puede observar la variable brix, se mantuvo constante y aumentó en la etapa de evaporación cuya función es concentrar el producto, así como el pH, se mantuvo constante. La conductividad, tuvo un ligero aumento en la etapa de síntesis y luego una disminución en la etapa de concentración. El color en la etapa de tratamiento con carbón disminuyó en un 71,77 % como se esperaba, sin embargo, en la etapa de evaporación se produjo un aumento de color, producto de las temperaturas alcanzadas en la misma para lograr 75 ° brix. Las características del lote 2 se resumen en la tabla 5.

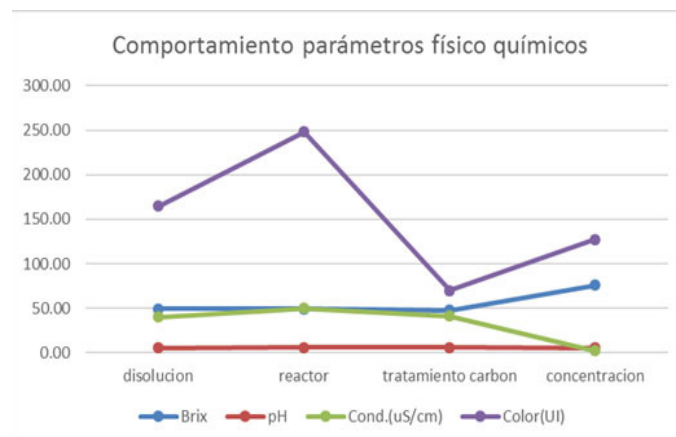


Figura 5. Comportamiento de las variables: brix, pH, conductividad y color a través de las etapas del proceso.

Tabla 4. Características físico químicas del producto del lote 2 en cada etapa

Etapa (salida)	Brix	pH	Cond.(uS/cm)	Color(UI)
Disolución	49.50	5.62	40.10	164.80
Reactor	49.30	5.64	49.80	248.41
Tratamiento con carbón	47.60	5.93	41.20	70.03
Concentración	75.75	5.52	1.97	127.12

Tabla 5. Caracterización del producto final del lote 1

Parámetros/ Composición	LOTE 2
pH	5.52
Brix	75.75
Conductividad (µS/cm)	1.97
Color (UI)	127.12
Densidad (g/ml)	1.38
Nistosa (%)	7.36 ± 0.78
Kestosa (%)	49.09 ± 2.92
Sacarosa (%)	20.03 ± 1.33
Glucosa (%)	20.94 ± 2.26
Fructosa (%)	2.59 ± 0.49
FOS total (%)	56.44 ± 3.66
Kestosa/FOS total	86.99 ± 0.63

Tabla 6. Caracterización del producto final del lote 3

Parámetros/ Composición	LOTE 3
pH	5,73
Brix	75,15
Conductividad (µS/cm)	1,41
Color (UI)	69,34
Densidad (g/ml)	1,39
Nistosa (%)	7,07 ± 0,49
Kestosa (%)	48,95 ± 2,94
Sacarosa (%)	20,15 ± 1,55
Glucosa (%)	21,42 ± 1,79
Fructosa (%)	2,41 ± 0,25
FOS total (%)	56,02 ± 3,34
Kestosa/FOS total	87,38 ± 0,47

Tabla 7. Comparación de las propiedades físico químicas de los lotes con otros productos similares.

Parámetros	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	FOS CHINO	FOS ICINAZ	FOS ICINAZ	FOS ICINAZ
pH	5.46	5.52	5.73	4.85			
Brix	69.2	75.75	75.15	75.1	76.2	75.04	78.78
Conductividad (µS/cm)	0.26	1.97	1.41	6.8			
Color (UI)	57.33	127	69.34	194.07	1	4	4
Densidad (g/ml)	1.34	1.38	1.39		1.39	1.39	1.39

Tabla 8. Comparación de la composición de cada lote con otros productos similares

Composición	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	FOS CHINO	FOS ICINAZ	FOS ICINAZ	FOS ICINAZ
Nistosa %	5.64	7.36	7.07	18.54*			
Kestosa %	27.34	49.09	48.95	38.7			
Sacarosa %	22.81	20.03	20.15	18.86			
Glucosa %	27.91	20.94	21.42	21.78			
Fructosa %	16.30	2.59	2.41	1.84			
FOS Totales %	32.98	56.44	56.02	57.52	57.82	55.17	56.37

*Incluye la suma de los porcentos de nistosa (16.97 %) y fructosilnistosa (1.57 %)

Caracterización del lote 3

Una vez obtenido un producto de síntesis con un 56.02 % de FOS totales se procedió a las etapas de tratamiento con carbón, filtración y concentración.

En este lote 3 se obtuvo un FOS con las características mostradas en la tabla 6.

Validación del esquema tecnológico

En aras de comparar la calidad de los lotes con productos similares se tomó una muestra de un FOS

mezcla, producido por la empresa china Quantum Hitech Biotechnology y además se tomaron como referencia los resultados de lotes producidos por ICINAZ. Las tablas 7 y 8 muestran la comparación de las propiedades físico-químicas y las composiciones, respectivamente de los diferentes lotes.

Los parámetros físico-químicos de los 3 lotes son similares a los comercializables y en el caso de la composición de cada lote, solo el lote 1 tiene nive-

les muchos más bajos de FOS totales, pero aun así pudiese emplearse como prueba en algún centro de investigación o en LABIOFAM.

CONCLUSIONES

1. Se puede producir FOS en las condiciones de la planta de sorbitol, lo que permitirá diversificar esta industria con un nuevo producto de alto valor agregado y ser un renglón exportable, aprovechando las capacidades instaladas de dicha planta.
2. El lote 1 tiene un 32.98 % de FOS totales. A pesar de no tener más de 55 %, puede ser utilizable teniendo en consideración su composición.
3. Los lotes 2 y 3 tienen características y parámetros físico-químico similares a productos de igual grado de pureza existentes en el mercado, pero con una composición en 1-kestosa superior en más de un 10 %.
4. La etapa de desmineralización no es necesaria para alcanzar parámetros en norma, partiendo de una calidad de azúcar como la utilizada en la prueba.
5. Las simulaciones en el laboratorio demostraron un retardo en la reacción enzimática industrial y una ligera disminución en la producción de FOS totales lo que pudiese estar asociado al tipo y forma de agitación utilizada en la escala industrial, por lo que debe estudiarse la influencia de este parámetro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pérez, D.; López, G. Principales prebióticos y sus efectos en la alimentación humana. AN. VET. (MURCIA), 2004. 20: p. 5-20.
2. Muñoz, M. Estudio del efecto de los fructooligosacáridos en la producción de bacteriocinas por aislados nativos de *Lactobacillus* spp., in Facultad de Ciencias, Departamento de Química. 2011, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá, Colombia.
3. Rubio, C.; Latina, C. Producción de fructooligosacáridos por invertasa de *Aspergillus Niger* IB56: un prebiótico de importancia para la salud humana y animal. Boletín Micológico, 2012. 27: p. 18-23.
4. Sabater-Molina, M.; *et al.* Dietary fructooligosaccharides and potential benefits on health. Physiology and Biochemistry, 2009. 65(3): p. 315-328.
5. Solange, I.; Teixeira, J.A. Increase in the fructooligosaccharides yield and productivity by solid-state fermentation with *Aspergillus japonicus* using agro-industrial residues as support and nutrient source. Biochemical Engineering, 2010. 53 p. 154-157.
6. Solange, I.; *et al.* Colonization of *Aspergillus japonicus* on synthetic materials and application to the production of fructooligosaccharides. Carbohydrate Research, 2009. 344: p. 795-800.
7. Alfonso, M. Definir las condiciones de síntesis de FOS con reactores batch existentes en la planta de Sorbitol con el empleo de la enzima recombinante de CIGB 1-SST, in Estudio del escalado de la producción de FOS (fructooligosacáridos) a nivel industrial en la planta de sorbitol, ICIDCA, Editor. 2017: La Habana, Cuba.
8. Alfonso, M. Actualizar estudio técnico-económico de la conveniencia de la producción de FOS bajo las condiciones de la planta de Sorbitol, in Estudio del escalado de la producción de FOS (fructooligosacáridos) a nivel industrial en la planta de Sorbitol, ICIDCA, Editor. 2017: La Habana.
9. Actualizar estudio de la demanda en los mercado interno y externo, in Estudio del escalado de la producción de FOS (fructooligosacáridos) a nivel industrial en la planta de sorbitol, ICIDCA, Editor. 2018: La Habana, Cuba.
10. Ana, D.; *et al.* New improved method for fructooligosaccharides production by *Aureobasidium pullulans*. Carbohydrate Polymers, 2012. 89: p. 1174- 1179.
11. Markosyan, A. A.; *et al.* Production of Fructooligosaccharide Syrup from Sucrose in Combination with Palatinose and Trehalose. Applied Biochemistry and Microbiology, 2007. 43(4): p. 383-389.
12. Lüscher, M.; *et al.* Cloning and Functional Analysis of Sucrose:Sucrose 1-Fructosyltransferase from Tall Fescue. Plant Physiology, 2000. 124(3): p. 1217-1227.
13. Chatterton, N.J.; *et al.* Characterization of sucrose:sucrose fructosyltransferase from crested wheatgrass. New phytologist, 1988. 109: p. 29-33.

14. Simmen, U.; *et al.* Fructan synthesis in excised barley leaves. Identification of two sucrose-sucrose fructosyltransferases induced by light and their separation from constitutive invertases. *Plant Physiology*, 1993. 101(2): p. 459-468.
 15. Lasseur, B.; *et al.* Molecular and functional characterization of a cDNA encoding fructan:fructan 6G-fructosyltransferase (6G-FFT)/fructan:fructan 1-fructosyltransferase (1-FFT) from perennial ryegrass (*Lolium perenne* L). *Journal of Experimental Botany*, 2006. 57(11): p. 2719-2734.
 16. L'Hocine, L.; *et al.* Purification and partial characterization of fructosyltransferase and invertase from *Aspergillus niger* AS0023. *Journal of Biotechnology*, 2000. 81: p. 73-84.
 17. Tanriseven, A.; Aslan, Y. Immobilization of Pectinex Ultra SP-L to produce fructooligosaccharides. *Enzyme and Microbial Technology*, 2005. 36: p. 550-554.
 18. Tzu-Chien, C.; Kow-Jen, D.; Dey-Chyi, S. Immobilization of β -fructofuranosidase from *Aspergillus japonicus* on chitosan using tris(hydroxymethyl)phosphine or glutaraldehyde as a coupling agent. *Biotechnology Letters*, 2005. 27: p. 335-338.
 19. Physiology, S.f.P. and Biochemistry, *Plant Physiology & Biochemistry*. 1998: Society for Plant Physiology and Biochemistry.
 20. Zorn, H.; Czermak, P. *Biotechnology of Food and Feed Additives*. 2014: Springer Berlin Heidelberg.
 21. Dixon, F.J. *Advances in Immunology*. 1999: Elsevier Science.
 22. Capote, O. Resultados de la prueba a escala Industrial, en estudio del escalado de la producción de FOS (fructooligosacáridos) a nivel industrial en la planta de sorbitol, ICIDCA, 2018: La Habana, Cuba.
-

Evaluación del Lebame en el tratamiento de los residuales de Fitomas

Dianelis Roget-Guevara*, Claudia Fandiño-Rodríguez, Indira Pérez- Bermúdez, Yohana de la Hoz-Izquierdo

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).

Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

*dianelis.roget@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

El vertimiento de los residuos líquidos está impactando negativamente sobre la biota acuática, destruyendo la vegetación y provocando graves daños a la salud humana. Por esta razón, se quiere lograr que tanto empresas como productos sean amigables con el medio ambiente. Ello ha conllevado a investigar para encontrar nuevas y mejores alternativas de tratamiento a residuales. Pero antes es necesario monitorear, caracterizar y diagnosticar físico-química y microbiológicamente estas corrientes. Dentro de los tratamientos para disminuir la carga contaminante en las aguas residuales, la implementación de los tratamientos biológicos suelen tener altos rendimientos y menores costos económicos de explotación. Es por ello que el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar ha desarrollado un bioproducto de nombre LEBAME constituido por microorganismos eficientes (ME) con el objetivo principal de evaluar la efectividad del mismo en el tratamiento de las aguas residuales, y en primera instancia se evaluará en las aguas residuales de la producción del biofertilizante FitoMas con el propósito de disminuir la carga orgánica contaminante. Los parámetros analizados fueron dos concentraciones de ME (1/500 g/L y 1/1000 g/L) a dos tiempos de retención (10, 20 y 30 días). Después de realizar el análisis estadístico, utilizando como variable de respuesta el porcentaje de remoción, los resultados obtenidos en el ensayo de laboratorio arrojaron que el mayor porcentaje corresponde cuando se empleaba el ME a menor concentración y a menor tiempo de retención.

Palabras clave: residuales, microorganismos eficientes, ME, carga contaminante, remoción.

ABSTRACT

The dumping of liquid waste is negatively impacting aquatic biota, destroying vegetation and causing serious damage to human health. It is for this reason, that we want to make both companies and products friendly to the environment. This has led to research to find new and better alternatives to waste treatment. But first, it is necessary to monitor, characterize and diagnose these currents physically and chemically and microbiologically. Among the treatments to reduce the pollutant load in wastewater, the implementation of biological treatments tend to have high yields and lower economic costs of exploitation. That is why the Cuban Institute of Investigation of the Sugar Cane Derivatives has developed a bioproduct named LEBAME constituted by efficient microorganisms (ME) with the main objective of evaluating its effectiveness in the treatment of water residuals, and in the first instance it will be evaluated in the residual waters of the production of the biofertilizer FitoMas with the purpose of diminishing the organic load contaminant. The parameters analyzed were two ME concentrations (1/500 g/L and 1/1000 g/L) at two retention times (10, 20 and 30 days). After carrying out the statistical analysis using the percentage of removal as the response variable, the results obtained in the laboratory test showed that the highest percentage of removal corresponded when ME was used at a lower concentration and a shorter retention time.

Key words: residuals, efficient microorganisms, ME, contaminant load, removal.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales industriales ha tomado fuerza durante los últimos años, con el objetivo que este recurso no renovable pueda ser aprovechado y que pueda así mismo cumplir con los requerimientos exigidos por la normatividad ambiental existente (1).

Los sistemas de tratamiento pueden reconocerse en base a su ubicación en el proceso de limpieza como: primarios, secundarios y avanzados y los procesos utilizados principalmente son físicos, químicos y biológicos. Hay una gran variedad de métodos para la descontaminación de aguas y aguas residuales, y entre ellos se encuentran la utilización de microorganismos, denominados eficientes (EM), y su importancia resulta en que ellos enriquecen la microflora balanceando los ecosistemas microbiales y suprimiendo microorganismos patógenos sin generar subproductos contaminantes (2).

En el presente trabajo se realiza el diseño experimental para determinar la influencia del tiempo de residencia y la concentración en el porcentaje de remoción en el tratamiento de los residuales de la planta de Fitomas, ubicada en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Esta planta posee una capacidad de producción proyectada de hasta dos millones de litros al año, que permite garantizar las demandas del Grupo Empresarial Azucarero de Cuba (AZCUBA) y una parte de las de otros productores agrícolas. Los residuales generados no cumplen con las normas de vertimiento, por lo que su tratamiento es de vital importancia para el cuidado del medio ambiente y de la Bahía de La Habana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del residual utilizado

El proceso productivo de obtención de Fitomas se caracteriza por ser realizado en lote y no genera corrientes de residuales líquidos significativas, salvo pequeñas cantidades que se generan durante las limpiezas por el lavado del equipamiento y del área. Este residual se almacena en una cisterna para ser tratado antes de su vertimiento a la Bahía de La Habana.

La evaluación química del residual se realizó en la campaña de producción del mes de octubre de 2018. Para ello fue colectada una muestra integral de 20 L, a la salida de la cisterna de la planta de producción.

Técnicas analíticas empleadas

Se empleó la metodología propuesta por Obaya *et al.* (3) para la caracterización de las aguas y aguas residuales de la industria azucarera y los procedi-

mientos estandarizados (4). Los mismos se llevaron a cabo en el laboratorio de agua y aguas residuales (LAGUAZUR) que forma parte del Centro Nacional de Gestión de Medio Ambiente (CENGMA), perteneciente al ICIDCA. Los métodos analíticos realizados fueron los siguientes:

- Demanda Química de Oxígeno empleando la modificación rápida del Standard Methods (5).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno empleando el equipo Oxitop de la WTW (Alemania).
- pH y conductividad a partir de la medición por electrodos.
- Fósforo por determinación colorimétrica, después de digestión en medio ácido.
- Los sólidos totales, por desecación en la estufa a 110 °C durante 4 horas y en la mufla a temperatura de 600 °C durante 4 horas.

A partir de las determinaciones analíticas realizadas de DQO se calculó el porcentaje de remoción de DQO mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de remoción DQO} = \left(\frac{DQO_{\text{(antes)}} - DQO_{\text{(después)}}}{DQO_{\text{(antes)}}} \right) \times 100$$

Diseño experimental y análisis estadístico

Con el objetivo de evaluar el empleo de los microorganismos eficientes en el tratamiento de este residual, se decidió aplicar un diseño experimental factorial multinivel aumentado en dos puntos centrales. Cada condición experimental se realizó por triplicado. La tabla 1 muestra la matriz de diseño con las 6 condiciones experimentales obtenidas mediante el empleo de la herramienta de software Statgraphics Centurion XV (2013). Se fijaron dos factores: tiempo de residencia y concentración y dos variables de respuesta: porcentaje de remoción y pH. Los niveles para los factores fueron los siguientes:

Factores	Niveles		
	Bajo (-1)	Intermedio (0)	Alto (1)
Tiempo de residencia (días)	10	20	30
Concentración (g/L)	1/500	-	1/1000

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización físico-química del residual

Se realizó la caracterización de la muestra residual de Fitomas, teniendo en cuenta la norma NC 27:2012 (Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y alcantarillado – especificación) (6). Los métodos de ensayos realizados permiten conocer el grado de contaminación que presentan las aguas residuales.

Tabla 1. Matriz del diseño experimental para la evaluación del empleo de los microorganismos eficientes en el tratamiento del residual de la producción de Fitomas en el ICIDCA

Condición	Tiempo de residencia (días)	Concentración (g/L)
1	-1.0	1.0
2	0.0	-1.0
3	1.0	-1.0
4	1.0	1.0
5	-1.0	-1.0
6	0.0	1.0

Tabla 2. Caracterización de la muestra residual de la producción de Fitomas

Método de ensayo	Muestra del residual de Fitomas	Según NC 27:2012
DQO (mg/l)	23892	250
DBO (mg/l)	11666	100
pH	3.86	6-10
(Temperatura ensayo) °C	23.6	50
Conductividad eléctrica $\mu\text{S/cm}$	27.1	4000
(Temperatura ensayo) °C	23.1	50
Fósforo (mg/l)	47.72	10

La caracterización de la muestra tomada, desde el punto de vista de contaminación ambiental se muestra en la tabla 2.

Según los resultados obtenidos, los ensayos resaltados se encuentran fuera de norma. Los valores de DQO y DBO_5 brindan una mayor información sobre la carga orgánica presente en la muestra, lo que ofrece una medida de cómo varía la materia orgánica cuando se aplica a este residual un tratamiento biológico empleando ME. Estos microorganismos son los encargados de eliminar la materia orgánica biodegradable soluble presente en el efluente líquido, obteniéndose así un residual menos agresivo para el medio ambiente.

La DQO es el método de ensayo que brinda una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos convirtiéndola en dióxido de carbono y agua.

El alto valor de DQO en la muestra analizada, indica que hay gran cantidad de materia orgánica que está presente, lo que se corresponde con el resulta-

do de nuestro ensayo para este tipo de residual.

Los valores elevados de materia orgánica obtenida a través de este análisis, se evidencian también en los valores obtenidos de DBO_5 . La DBO no es más que la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Cuanto mayor sea la contaminación, mayor será la DBO.

El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO, debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. La relación DBO/DQO se denomina índice de biodegradabilidad. Cuanto menor es este índice, mayor es la fracción de componentes difícilmente biodegradable. La relación (DBO_5/DQO) de la muestra analizada tiene un valor de 0.49 lo que indica que solo el 49 % de la materia orgánica es biodegradable. Cuando esta relación toma valores mayores de 0.4 podrán utilizarse sistemas biológicos para su tratamiento (7).

Para el empleo de tratamientos biológicos hay que asegurar el crecimiento y reproducción de los microorganismos, se les debe permitir un tiempo de permanencia en el sistema y óptimas condiciones operativas. Los principales nutrientes inorgánicos que deben existir en el fluido, son: nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, magnesio y calcio. Por lo que el fósforo que se encuentra fuera de norma será empleado por el microorganismo como fuente de nutriente para su crecimiento y desarrollo.

Debido a esto, la aplicación de un tratamiento biológico empleando los ME, para los residuales de Fitomas, según la naturaleza de la muestra puede ser una alternativa de tratamiento con el fin de eliminar la contaminación ambiental.

Por lo general, la implementación de los tratamientos biológicos de aguas residuales son procesos tecnológicos, ecológicamente adecuados y amigables con el medio ambiente, suelen tener altos rendimientos y menores costos económicos de explotación. Las cargas orgánicas en las aguas constituye el sustrato para el crecimiento de la comunidad microbiana. Según sea el tipo de compuesto a eliminar, se puede determinar el tipo de tratamiento biológico, que elimina compuestos carbonados, nitrogenados y fosforados. El tratamiento con ME se produce con microorganismos existentes en la naturaleza que desempeñan funciones favorables para la salud de los ecosistemas y los seres vivos.

Resultados de la aplicación de los microorganismos eficientes en el residual de Fitomas

Los resultados de las variantes experimentales para cada variable respuesta, según la matriz de diseño estadístico se muestran en la tabla 3.

Los resultados demuestran que la mayor remoción de materia orgánica se obtuvo para la concen-

Tabla 3. Resultados del tratamiento del efluente líquido según la matriz de diseño experimental

Condición	Tiempo de residencia (días)	Concentración (g/L)	DQO (mg/L)	pH	% remoción (%)
1	-1.0	1.0	16833.00	4.04	29.54
2	0.0	-1.0	17064.67	4.373	28.57
3	1.0	-1.0	20227.00	10.54	15.33
4	1.0	1.0	18616.00	7.19	22.08
5	-1.0	-1.0	16471.00	4.085	31.06
6	0.0	1.0	16826.00	4.31	29.57

tracción más baja del producto y menor tiempo de retención, pero solo se alcanzó un 31 % de eliminación. En cuanto al pH, hubo un aumento del mismo para todas las condiciones, siendo mayor las variantes correspondientes al mayor tiempo de residencia aunque no se alcanzó en ninguna de las condiciones evaluadas el límite mínimo permisible de la normativa cubana de vertimiento. Ello demuestra que es necesario continuar esta investigación para evaluar la efectividad del producto en estos residuales, a otras condiciones y poder encontrar la alternativa de tratamiento que cumpla los estándares de vertimiento.

En la figura 1 se grafica el comportamiento de la DBO durante el ensayo experimental. Como puede observarse en todas las condiciones experimentales hubo una disminución del parámetro, alcanzándose el menor valor para la condición 6.

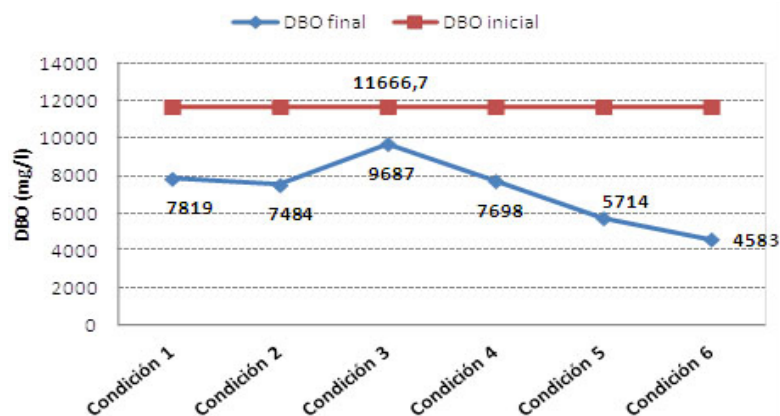


Figura 1. Comportamiento de la DBO durante el experimento.

Resultados del diseño experimental

En la tabla 4 se muestran los efectos estimados para el porcentaje de remoción en DQO (mg/l) obtenidos mediante el software Statgraphics Centurion.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos y sus interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. El factor de

Tabla 4. Efectos estimados para % remoción de la DQO

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	29.0753	0.65926	
A: tiempo de residencia	-11.5918	0.932334	1.0
B:concentración ME	2.07557	0.761248	1.0
AA	-9.13625	1.61485	1.0
AB	4.12895	0.932334	1.0

inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1 y como se encuentran por debajo de 10, indican que no existe confusión seria entre los efectos.

El análisis de varianza para el porcentaje de remoción (tabla 4) indica que ningún factor tiene un efecto significativo sobre el mismo para un nivel de confianza del 95 %.

Como muestra el diagrama de pareto y la gráfica de efectos principales (figuras 2 y 3) a pesar de que ningún factor es significativo, el tiempo de residencia es el de mayor influencia sobre el porcentaje de remoción. Esta influencia es de forma negativa lo que significa que a medida que aumenta el tiempo de residencia disminuye el porcentaje de remoción.

El análisis de varianza para el porcentaje de remoción se muestra en la tabla 5.

R-cuadrada = 99.5341 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.6705 %

Error estándar del est. = 0.932334

Error absoluto medio = 0.358856

Estadístico Durbin-Watson = 1.58333

Autocorrelación residual de Lag 1 = -1.08564E-15

Modelo:

% remoción = 29.0753 - 5.79587002 x Tiempo de residencia + 1.03778 x Concentración ME - 4.56812

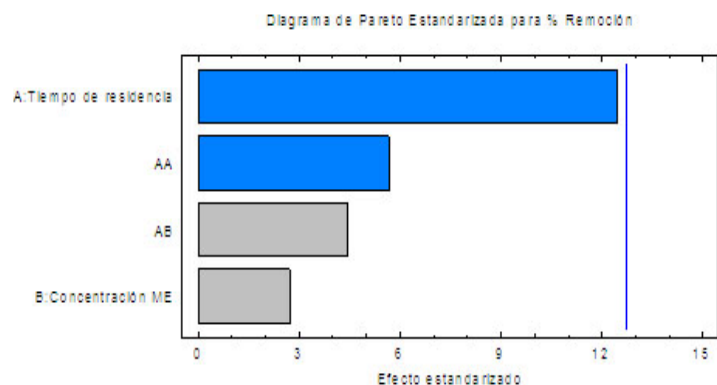


Figura 2. Diagrama de Pareto para porcentaje de remoción de la DQO.

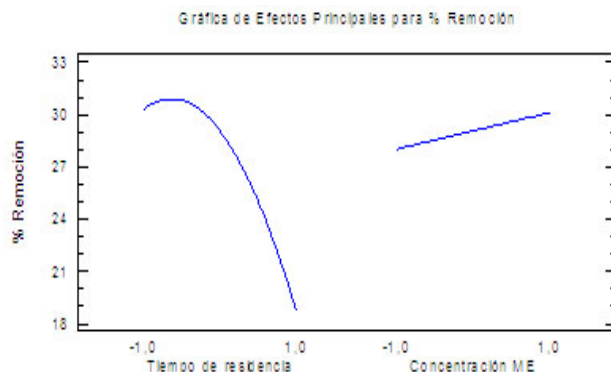


Figura 3. Gráfica de efectos para el porcentaje de remoción de la DQO.

Tabla 5. Análisis de varianza para % remoción

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: tiempo de residencia	134.369	1	134.369	154.58	0.0511
B: concentración ME	6.46197	1	6.46197	7.43	0.2238
AA	27.8237	1	27.8237	32.01	0.1114
AB	17.0482	1	17.0482	19.61	0.1414
Error total	0.869247	1	0.869247		
Total (corr.)	186.572	5			

Optimización de múltiples respuestas

La optimización de múltiples respuestas es un procedimiento que ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimiza varias respuestas. Lo hace maximizando la función de "deseabilidad" estableciéndose varias características de esta función. Las metas de cada una de las respuestas actualmente están establecidas como aparecen a continuación:

x Tiempo de residencia² + 2.06447 x Tiempo de residencia x Concentración ME

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de % remoción en piezas separadas para cada uno de los efectos, probando la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0,5, indicando que son significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza de 95 %.

El estadístico R-cuadrada indica que el ajuste del modelo explica el 99.5341 % de la variabilidad en % remoción. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 97.67 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.932. El error medio absoluto (MAE) de 0.358 que es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo.

	Mínimo	Máximo
Respuesta	Observado	Observado
% Remoción	15.3399	31.0606

Respuesta	Deseabilidad			Pesos		
	Baja	Alta	Meta	Primero	Segundo	Impacto
% Remoción	15.0	31.0	Maximizar	1.0	-	3.0

La salida (tabla 6) muestra la función de deseabilidad evaluada en cada punto del diseño. Entre los puntos de diseño, la 'deseabilidad' máxima se alcanza en la corrida 5.

Optimizar deseabilidad

Valor óptimo = 1.0

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tiempo de residencia	-1,0	1,0	-0,777448
Concentración ME	-1,0	1,0	-0,489147
Respuesta	Óptimo		
% remoción	31,0977		

Tabla 6. Resultados de la optimización múltiple respuestas

Fila	% Remoción	Deseabilidad	
		Prevista	Observada
1	29.5455	0.892272	0.909094
2	28.5758	0.814845	0.848488
3	15.3399	0.0380651	0.0212438
4	22.0827	0.425847	0.442669
5	31.0606	1.0	1.0
6	29.5748	0.944568	0.910925

En la figura 4 aparece la combinación de niveles de factores que maximiza la función de “deseabilidad” en la región indicada. También muestra la combinación de factores a la cual se alcanza el óptimo.

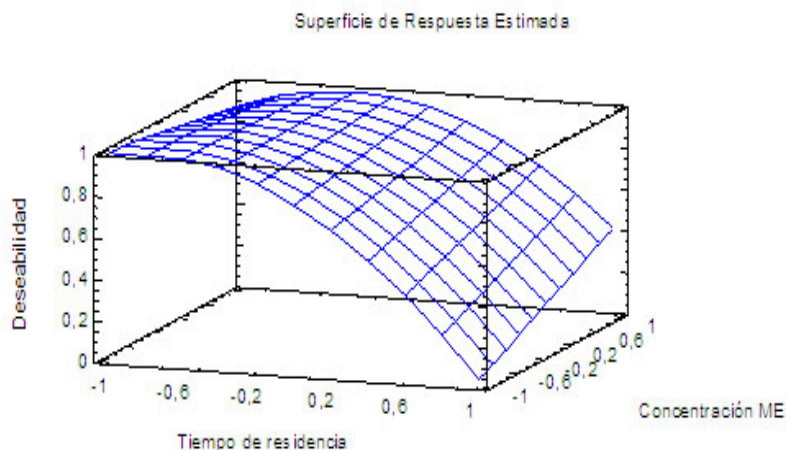


Figura 4. Combinación de niveles de factores que maximiza la función de deseabilidad.

En la tabla 7 aparecen los efectos estimados para el pH obtenido mediante el software Statgraphics Centurion.

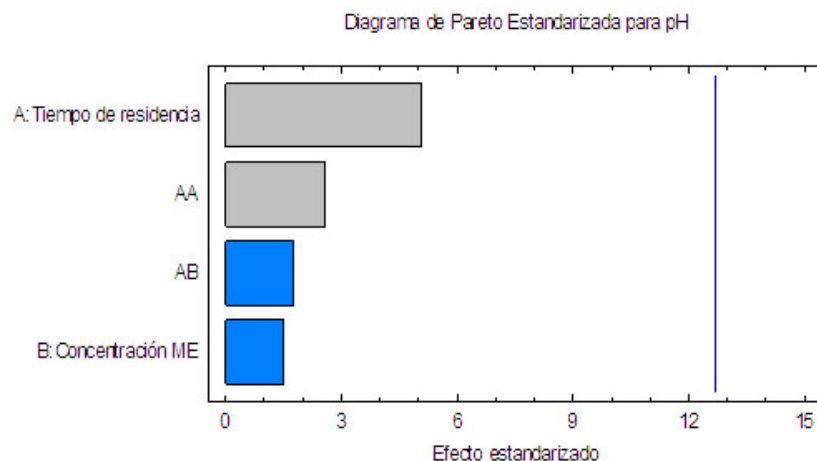


Figura 5. Diagrama de Pareto para pH.

Tabla 7. Efectos estimados para pH

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	4.3415	0.667282	
A: tiempo de residencia	4.8025	0.943679	1.0
B: concentración ME	-1.15267	0.770511	1.0
AA	4.2445	1.6345	1.0
AB	-1.6525	0.943679	1.0

La tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

Como muestra el diagrama de pareto y la gráfica de efectos principales (figuras 5 y 6) a pesar de que ningún factor es significativo, el tiempo de residencia es el de mayor influencia sobre el pH. Esta influencia es de forma positiva lo que significa que a medida que aumenta el tiempo de residencia aumenta el pH.

El análisis de varianza para el porcentaje de remoción de DQO se muestra en la tabla 8.

R-cuadrada = 97.4324%

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87.1621 %

Error estándar del est. = 0.943679

Error absoluto medio = 0.363222

Estadístico Durbin-Watson = 1.58333

Autocorrelación residual de Lag 1=4,05177E-16

Modelo:

$$\text{pH} = 4.3415 + 2.40125 \times \text{Tiempo de residencia} - 0.576333 \times \text{Concentración ME} + 2.12225 \times \text{Tiempo de residencia}^2 - 0.82625 \times \text{Tiempo de residencia} \times \text{Concentración ME}$$

La tabla ANOVA para la variabilidad de pH muestra que en este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95 %.

El estadístico R-cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 97.43 % de la variabilidad en pH. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 87.16 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.943. El error medio absoluto (MAE) de 0.363 es el valor promedio de los

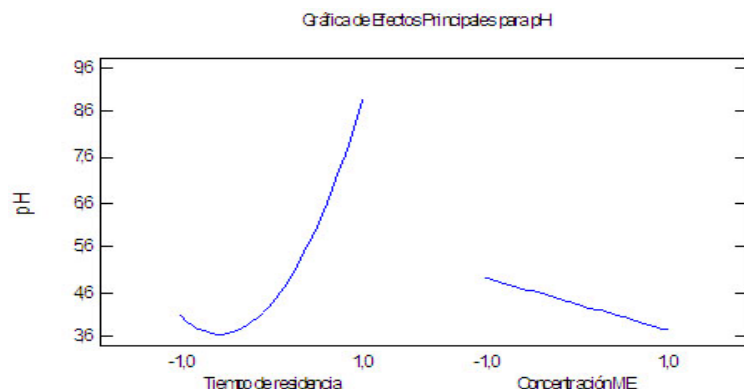


Figura 6. Gráfica de efectos para el pH.

Tabla 8. Análisis de varianza para % remoción de DQO

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: tiempo de residencia	23.064	1	23.064	25.90	0.1235
B: concentración ME	1.99296	1	1.99296	2.24	0.3751
AA	6.00526	1	6.00526	6.74	0.2340
AB	2.73076	1	2.73076	3.07	0.3303
Error total	0.89053	1	0.89053		
Total (corr.)	34.6835	5			

residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo.

CONCLUSIONES

- Los valores de DQO y DBO_5 del residual de Fitomas utilizado no cumplen con la norma cubana de vertimiento.
- La relación (DBO_5/DQO) de la muestra tiene un valor de 0.49 lo que corrobora que pueden emplearse sistemas biológicos para su tratamiento

- Los resultados del diseño experimental mostraron que ni el tiempo de residencia ni la concentración son significativos en el porcentaje de remoción y el pH.
- El máximo del porcentaje de remoción se logra para los menores niveles de concentración y tiempo de residencia, alcanzándose un 31 %.

RECOMENDACIONES

- Realizar los ensayos de la segunda etapa, probando la mejor condición obtenida en esta etapa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bejarano, E.; Escobar, M. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá D.C.
2. López, M. V. (1981). Tratamiento biológico de aguas residuales en perspectiva de la biotecnología en México. Editorial CONACYT, México. pp. 259-284.
3. Obaya, M. C.; *et al.* (2003) Metodología para la caracterización de las aguas y aguas residuales para su calidad de aguas para riego. Compendio de los derivados de la caña de Azúcar. ICIDCA. La Habana. Moanografía 21.
4. APHA-AWWA-WPCF. (2005). Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC, 21 ed. Joint Editorial Board.
5. Conde, J. *et al.* (1978). Determinación rápida de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar. 12 (3): 21-31.
6. NC 27:2012. Oficina Nacional de Normalización. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. La Habana. Cuba. Octubre 2012.
7. Hernández, M. A. (1998). Depuración de aguas residuales. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid, España.
8. Statgraphics Centurion XV (2013). Software Versión 15.2.05.

Transición a la NC ISO 9001:2015 y renovación de la Certificación del Sistema de Gestión de la Calidad e Inocuidad Alimentaria del ICIDCA, con alcance a los rones Premium Vigía

Grisel María Ortega-Arias-Carbajal*, Maricela Vega-Batista, Idania Blanco-Carvajal, Arlyn Reyes-Linares, Marlyn Pérez-Rodríguez, Tania García-Martínez, Marta González-Martínez, Irma Ramos-Pouza, Marlen Lorenzo-Maiquez, Sidarma Hernández-Castellanos, Arletys González-Ruiz

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
*grisel.ortega@icidca.azcuba.cu

RESUMEN

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) desde el año 2011, cuenta con un sistema integrado de gestión calidad e inocuidad por las normas NC ISO 9001:2008 y NC ISO 22000:2005, certificado por la Oficina Nacional de Normalización, con alcance a la producción de rones Premium Vigía. Actualmente, diversas acciones han sido llevadas a cabo para transitar a la NC ISO 9001: 2015 y lograr la renovación de la certificación del sistema integrado de gestión. Se logró el tránsito a la NC ISO 9001:2015 y se obtuvo la renovación de la certificación del Sistema Integrado Calidad e Inocuidad Alimentaria, con alcance a la producción de rones Premium Vigía y la renovación de la certificación de estos productos con la Marca cubana de conformidad. Se incrementó la imagen de la organización y el valor agregado del producto y se mejoró el desarrollo organizacional para un producto de calidad y seguimiento a sus partes interesadas, entre otros los clientes y proveedores relacionados con la producción de dichos rones.

Palabras clave: sistema de gestión de la calidad, certificación, ron.

ABSTRACT

The Cuban Research Institute on Sugarcane By-products (ICIDCA) since 2011 has an integrated quality and safety management system by the standards NC ISO 9001: 2008 and NC ISO 22000: 2005, certified by the Office National Standardization, with scope to the production of premium rums Vigía. Currently, several actions have been carried out to move to the NC ISO 9001: 2015 and achieve the renewal of the integrated management system certification. The transit to the NC ISO 9001: 2015 was achieved and the renewal of the certification of the Integrated Quality and Food Safety System was obtained, with scope for the production of Premium Vigía Rums and the renewal of the certification of these products with the Cuban Brand of Accordance. The image of the organization was increased, the added value of the product and improved the organizational development for a quality product and monitoring of its interested parties, among others, the customers and suppliers related to the production of said rums.

Key words: quality management system, certification, rum.

INTRODUCCIÓN

En el mundo globalizado y competitivo de hoy, una empresa tendrá éxito y reconocimiento sólo si proporciona productos o servicios que satisfacen las exigencias y expectativas del cliente y partes intere-

sadas, lo cual se convierte en un requisito indispensable. Una de las formas de obtener este reconocimiento, más allá de la calidad de su producto, es demostrando el grado de control que puede llegar a tener la empresa en sus procesos. Es por esto, que entra en consideración la norma ISO 9001, la cual

establece los requisitos para implementar, mantener y mejorar un Sistema de Gestión de la Calidad que puede utilizarse para su aplicación interna por parte de las organizaciones, para certificación o con fines contractuales (1).

Todas las normas ISO de sistemas de gestión están sujetas a una revisión periódica según sus propias reglas. La revisión de la norma ISO 9001 se orientó a mantener su relevancia en el mercado actual y futuro, para lo cual definió como objetivos: favorecer la integración con otros sistemas de gestión, proporcionar un enfoque integrado de la gestión organizacional, reflejar los entornos cada vez más complejos en los que operan las organizaciones y mejorar la capacidad de la organización para satisfacer a sus clientes. En septiembre de 2015 la Organización Internacional de Normalización – ISO publicó la nueva norma ISO 9001:2015, estableciendo un nuevo hito en su evolución (2).

En la versión ISO de 2015 se establece un sistema de gestión estándar, el cual es conocido como la estructura de alto nivel, lo que facilita a la organización el uso adecuado de la herramienta, enfocándose en los procesos de mejora continua, centrándose en un pensamiento basado en riesgos y convirtiéndose en una parte esencial para lograr un sistema de gestión de la calidad eficaz (3).

Los beneficios potenciales para una organización, de implementar un sistema de gestión de la calidad basado en dicha norma internacional son: la capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente, los legales y reglamentarios aplicables, facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente, abordar los riesgos y oportunidades asociadas con su contexto y objetivos, así como la capacidad de demostrar la conformidad con los requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados (3).

Esta norma parte desde la creación del contexto y la identificación de las necesidades y expectativas de las partes interesadas, fortaleciendo el liderazgo y compromiso de la alta dirección con el sistema de gestión de calidad, planificando acciones para determinar los riesgos y las oportunidades (3), realizando así cambios novedosos frente a la versión de la ISO 2008 (4).

El Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) es una empresa de alta tecnología que pertenece a la Organización Superior de Dirección Empresarial del Grupo Azucarero AZCUBA, que en su misión contempla: investigar, desarrollar, innovar y transferir tecnologías, brindar servicios científico-técnicos y capacitación especializada, producir y comercializar productos de alto valor agregado en el campo de la agroindustria azucarera, por lo que la implantación de sistemas de gestión se reconoce como una vía idónea para cumplir los objetivos estratégicos y para alcanzar altas metas.

El ICIDCA, desde el año 2011, cuenta con un sistema integrado de gestión calidad e inocuidad por las normas NC ISO 9001:2008 y NC ISO 22000:2005, certificado por la Oficina Nacional de Normalización (ONN), con alcance a la producción de ron Premium Vigía. Actualmente, diversas acciones han sido llevadas a cabo para transitar a la NC ISO 9001: 2015 y lograr la renovación de la certificación del sistema integrado de gestión y de sus productos rones.

El presente trabajo muestra las acciones realizadas por el ICIDCA para la transición a la NC ISO 9001:2015, así como los resultados alcanzados con la renovación de la certificación del Sistema de Gestión Calidad e Inocuidad Alimentaria, con alcance a los rones Premium Vigía y la renovación de la certificación de dichos productos con la Marca cubana de conformidad.

MATERIALES y MÉTODOS

El trabajo se realizó teniendo como base los requisitos de la NC ISO 9001:2015 y la documentación elaborada e implantada en el Sistema Integrado de Gestión Calidad- Inocuidad Alimentaria (NC ISO 9001:2008 – NC ISO 22000:2005) del ICIDCA (5), con alcance a las producciones de rones Premium Vigía.

Se llevó a cabo una tormenta de ideas, lo que permitió la toma de decisiones respecto a cómo proyectar el trabajo con vistas a la transición y para la renovación de la certificación del sistema integrado de gestión del ICIDCA y de los productos. Se utilizó la técnica de revisión de documentos. Se definió por la alta dirección la elaboración de un cronograma de acciones para estos fines.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

A continuación se describen las acciones realizadas en ICIDCA en Gestión de la Calidad con alcance a las producciones de rones Vigía hasta el 2016.

En el ICIDCA fue creado el Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) en el año 2002 mediante resolución del Ministro del Azúcar con el objetivo de contribuir, mantener y mejorar el auténtico sabor del ron cubano, producido a partir de la caña de azúcar, así como para elevar la calidad del alcohol.

Este centro de referencia a nivel nacional, permite certificar la calidad de los productos y servicios, desarrollar e incorporar nuevas técnicas analíticas, realizar auditorías técnicas, difundir las experiencias productivas tecnológicas y comerciales, capacitar al personal de las empresas del sector y desarrollar nuevos productos. También, sus especialistas son miembros de los Comité Técnico de Normas de

Bebidas (CTN 27) y de Análisis Sensorial (CTN 47), participando en la revisión, aprobación y adopción de las normas cubanas de alcoholes y bebidas. Su misión es brindar un servicio integral con experiencia profesional que contribuya al desarrollo de una industria productora de alcohol y de bebidas con imagen propia, eficiente y competitiva en los mercados nacional e internacional.

Las áreas principales con que cuenta CERALBE son: el laboratorio de alcoholes y bebidas LABEB el laboratorio de análisis sensorial y el área de investigación-producción bodegas Vigía, donde se producen los rones Premium Vigía Gran Añejo y Vigía Gran Reserva 18 años, fabricados para la exportación y las ventas en fronteras, con un sabor genuino de ron cubano, con un bouquet y presencia únicos para los gustos más exigentes.

El área de investigación-producción bodegas Vigía, tiene la misión de producir rones de alta calidad para la exportación y comercialización en frontera.

Se designó un líder para establecer la “unidad de propósito” de la organización, el que tuvo como función principal coordinar al equipo de calidad e inocuidad, planificar, comunicar y dirigir las acciones necesarias para el cumplimiento de los objetivos organizacionales. Los factores de liderazgo se apoyaron en la cultura organizacional, los valores, la gestión del conocimiento y la gestión del cambio.

Para implantar el Sistema Integrado de Gestión, la alta dirección del ICIDCA y del CERALBE se basó en la integración de los requisitos comunes de los diferentes sistemas presentes en sus áreas, sobre todo en el desarrollo del factor humano y la base documental como factores claves para dar sustentabilidad a los sistemas coexistentes. Se trabajó también en alinear los requisitos que son comunes en la NC ISO 17025:2006 (6), norma por la que está acreditada el laboratorio LABEB, con los de la NC ISO 9001(7) y la NC ISO 22000, vigentes (8). En particular, para este último, se trabajó sobre las tres dimensiones fundamentales que describe la ISO/CD.110018, el liderazgo, la participación y la competencia.

Las auditorías internas realizadas arrojaron resultados con un valor agregado, las que se convirtieron en entradas permanentes de información para el seguimiento y la toma de acciones correctivas y decisiones por la alta dirección, principalmente referidos a cómo actuar de forma proactiva ante la detección de No conformidades, de acuerdo a su impacto y su frecuencia.

La ONN sometió a una evaluación el funcionamiento del sistema de gestión en el ICIDCA, con alcance a bodegas Vigía, para demostrar su conformidad en cuanto a las normas NC ISO 9001:2008 (7) y NC ISO 22 000:05 (8) y su integración y a los productos rones Vigía para obtener la certificación de Marca cubana de conformidad.

Se aprobó dicha certificación en el año 2011, la primera en el sector azucarero cubano, que posteriormente fue renovada en el 2014. Este sistema integrado se mantuvo trabajando sobre la base de la mejora continua en su gestión y ya en el 2017 se comenzaron las primeras acciones en aras de transitar hacia la nueva versión de la norma NC ISO 9001:2015 y poder renovar la certificación del sistema.

Transición del Sistema de Gestión de la Calidad del ICIDCA y renovación de la Certificación del Sistema Integrado de Gestión Calidad-Inocuidad Alimentaria

Considerando el cambio de versión de la NC ISO 9001: 2008 a NC ISO 9001:2015 (9) y que esta nueva versión especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad cuando una organización necesita demostrar su capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables, y aspira aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora del sistema; el ICIDCA se propuso una serie de acciones a cumplimentar, con vistas a dicho tránsito en aras de solicitar nuevamente la renovación de la certificación tanto del sistema como de los productos.

Acciones para gestionar la calidad

1. Creación de un Grupo gestor de la calidad en el ICIDCA, formado por especialistas e investigadores de experiencia en la temática Sistemas de Gestión de la Calidad.
2. Preparación de la organización.
Se llevaron a cabo reuniones del Grupo gestor, para proyectar y organizar el trabajo.
Se trataron y analizaron en las reuniones del Consejo de calidad, los cambios más relevantes de la NC ISO 9001:2015 (9), los cuales se presentan a continuación:
 - Mejora la coherencia entre todas las normas de Sistemas de Gestión con una estructura única que facilita la integración de los mismos (estructura de alto nivel).
 - Redacción más adecuada que resulta más fácil de implantar en determinados sectores.
 - Cambios de terminología.
 - Se considera el entorno socioeconómico de la organización.
 - Requisitos aplicables a todas las partes interesadas (usuarios finales, proveedores, distribuidores y participantes en la cadena de suministro, reguladores, etc.).
 - Reforzamiento del liderazgo y compromiso a todos los niveles.
 - Hincapié en la planificación y el control de los cambios.

- No se incluyen requisitos específicos en relación con las acciones preventivas.
- Introducción de nuevos conceptos como “contexto de la organización”, “partes interesadas pertinentes” y “riesgos y oportunidades”.
- Impulso para que las organizaciones desarrollen iniciativas de mejora, (la mejora continua no se limita a la realización de auditorías internas y al cierre de acciones correctivas).
- Introducción del pensamiento basado en riesgos.

3. Capacitación.

Capacitación del personal vinculado al Sistema de Gestión del ICIDCA en la nueva versión de la norma (personal de los procesos estratégicos, clave y de apoyo). La norma versión 2015 (9) incorpora nuevos requisitos e introduce conceptos significativos que requieren de la formación necesaria para la transición a los nuevos requisitos.

En este sentido, es conveniente tener en cuenta que tal formación no solo debe involucrar al responsable del sistema (alta dirección), sino que debe incluir a todas las personas que estén involucradas en cualquier parte del proceso dentro de la organización, ya que esta deberá comprender los cambios más relevantes en la norma.

Considerando esto, se llevaron a cabo cursos de capacitación, los cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Capacitación en Gestión de la Calidad para transitar a NC ISO 9001:2015

Cursos/Seminarios
1. Seminario actualización en Gestión de la Calidad y cambios en la norma NC -ISO 9001: 2015, a la alta dirección.
2. Curso Sistema Gestión Calidad NC- ISO 9001:2015 al personal de los Procesos.
3. Curso formación de auditores internos y gestores de Sistemas de Gestión de la Calidad

La capacitación permitió adquirir una cultura en la organización para implementar el sistema de gestión de la calidad acorde a la NC ISO 9001:2015, el conocimiento sobre los cambios de esta norma respecto a la versión del 2008, teniendo en cuenta el importante papel del liderazgo y el pensamiento basado en riesgos.

Así también, se brindaron las herramientas necesarias para ejecutar auditorías internas y/o asesorías en Sistemas de Gestión de la Calidad con enfoque NC ISO 9001: 2015 y permitió incrementar la cantidad de auditores en el centro.

4. Comunicación.

Se informó a todos los representantes de calidad de los procesos y jefes de procesos, en las reuniones del Consejo de calidad, la necesidad del cambio y se logró motivarlos para lograr su máxima colaboración en el trabajo a realizar. Se utilizó además el correo electrónico como vía para la comunicación al personal de la organización.

5. Planificación del rediseño del sistema integrado de gestión.

Se llevó a cabo la elaboración de un cronograma de acciones para transitar a la NC ISO 9001:2015 y para la renovación del Sistema Integrado de Gestión Calidad e Inocuidad Alimentaria (SIGCI), que incluye el alcance a las producciones de ron Vigía y acciones para la certificación de los productos rones Vigía, el que fue actualizado y aprobado por la alta dirección (tabla 2). Se designaron las responsabilidades para cada una de las acciones del cronograma a ejecutar y las fechas de cumplimiento.

6. Implementación del cronograma de transición y mejora del SIGCI.

El Grupo gestor de la calidad orientó metodológicamente a todos los jefes y representantes de calidad de los procesos, la adecuación de la información documentada, revisión y modificación de la misma en cada proceso, que evidencia el desempeño del proceso y del sistema, de acuerdo a los requerimientos de la NC ISO 9001:2015 (9) (procedimientos generales, procedimientos específicos e instrucciones, fichas de proceso, registros, manuales). La documentación elaborada y aprobada fue distribuida al personal de los diferentes procesos para su implementación.

El cronograma de transición y mejora del SIGCI se cumplió según lo planificado.

7. Monitoreo y seguimiento de la implementación del cronograma.

El Consejo de calidad se reunió mensualmente, se llevó a cabo la capacitación específica en cada proceso y el asesoramiento de forma personalizada a las inquietudes del personal de la organización.

El Grupo gestor llevó a cabo la recopilación y análisis de los datos referentes al cumplimiento y desempeño del Sistema Integrado de Gestión, con la posterior presentación en cada caso según correspondiera, en las reuniones del Consejo de calidad.

El jefe del Grupo de calidad y jefe del proceso Medición, análisis y mejora, llevó a cabo una comunicación sistemática a la alta dirección, sobre los avances del cronograma de transición y mejora del sistema.

Tabla 2. Cronograma de transición a NC ISO 9001:2015 y para la renovación de la certificación del Sistema Integrado de Gestión Calidad- Inocuidad del ICIDCA y para la certificación de producto. (2017).

No	Acciones a realizar	Fecha de cumplimiento
1	Actualización en NC ISO 9001:2015 al Consejo de Dirección, jefes de procesos y personal vinculado al sistema integrado de gestión.	Febrero-abril
2	Revisión del sistema documental para evidenciar información documentada.	Febrero-abril
3	Actualizar información sobre contexto de la organización y partes interesadas.	Febrero-abril
4	Revisión de los riesgos en cada proceso. Actualizar el Plan de prevención del ICIDCA, establecer las acciones para abordar los riesgos.	Marzo-diciembre
5	Evaluar los riesgos en cada proceso.	Julio y diciembre
6	Rediseño del sistema gestión Calidad-inocuidad. Modificación de procedimientos, fichas, registros y manual de la calidad-inocuidad.	Febrero-abril
7	Revisión de la política.	Febrero-marzo
8	Realizar revisión por Dirección.	Julio y diciembre
9	Realizar auditoria interna del sistema verificar conformidad con la NC-ISO 9001:2015 y NC ISO 22 000:2005, con alcance a producción de ron Vigía y auditoría de producto.	Mayo y octubre
10	Realizar seguimiento de las acciones correctivas y su cierre.	Mayo-diciembre
11	Solicitar auditoria externa para transitar a NC ISO 9001:2015, certificación del Sistema Integrado de Gestión Calidad- Inocuidad (NC ISO 22000:2005) y certificación de producto rones Vigía con la Marca cubana de conformidad	Junio
12	Realizar auditoría externa de certificación del Sistema Integrado de Gestión y de producto.	Diciembre
13	Mantenimiento. Mejora del SIGCI	2018

8. Realización de auditoría interna al sistema, para el alcance definido.

Se llevó a cabo el programa de auditorías internas, el seguimiento y cierre de las acciones correctivas tomadas. Se evidenció que el sistema se encuentra implementado con alcance a la producción de rones Vigía.

9. Mejora.

En las reuniones del Consejo de calidad se llevó a cabo la verificación y el seguimiento del cumplimiento de los programas de mejora de cada proceso y la comprobación de los resultados alcanzados.

10. Solicitud a la Oficina Nacional de Normalización de auditoría de transición y renovación de la Certificación del Sistema Integrado de Gestión con

alcance a la producción de rones Vigía y de certificación de los productos rones Vigía con la Marca Cubana de Conformidad.

Respecto al Sistema de Gestión Calidad-inocuidad Alimentaria con alcance a la producción de rones Vigía, se puede señalar que se revisó la política de calidad-inocuidad, adecuándola a los requerimientos de la NC 9001:2015 (9). Actualmente, se encuentra establecida y divulgada a nivel de instituto, así como los objetivos de calidad. Cada proceso conformó sus objetivos, así como los criterios de medidas, el período para cumplimentarlos y se definieron las responsabilidades.

La política del Sistema Integrado de Gestión del ICIDCA es la siguiente:

“La alta dirección del ICIDCA y todos sus trabajadores tienen el compromiso de garantizar la sosteni-

bilidad de la institución, atendiendo a su propósito, contexto y dirección estratégica, la conformidad con los requisitos de los clientes y partes interesadas, cumplir con los requisitos aplicables y la reducción del impacto sobre el medio ambiente de todos sus productos, servicios y proyectos. Trabajarán en la mejora continua de los procesos, gestionando los riesgos y oportunidades, especialmente los que puedan afectar el entorno, optimizando los recursos y en la garantía de la inocuidad del ron Vigía y del resto de las producciones que lo requieran. Se gestionará de forma integral la actividad empresarial y científica, de acuerdo a lo establecido en la NC ISO 9001: 2015, NC ISO 22000: 2005 y NC ISO 14001: 2015”.

Se realizó el análisis del contexto interno y externo en cada proceso. Se determinaron las partes interesadas y sus requisitos.

Se identificaron los riesgos y oportunidades por proceso, incluyendo los relacionados con la planificación y sus cambios para definir las acciones para abordarlos, elaborándose un plan de prevención de riesgos actualizado e integrado al control interno según la resolución 60 de 2011 (12).

Se elaboró en cada proceso un programa para la

mejora que incluye oportunidades a considerar en el Sistema Integrado de Gestión y las acciones para abordarlas.

Se llevó a cabo la revisión y actualización de la información documentada en cada proceso, se adecuaron las fichas de procesos, especificando las entradas y salidas, con indicadores de desempeño que permiten evaluar la eficacia de los mismos.

Se reelaboró el manual de calidad inocuidad adecuándolo a los requisitos de la NC ISO 9001:2015 (9) y manteniendo lo establecido como requisito acorde a NC ISO 22000:2005

Se revisó y actualizó el mapa de procesos que incluye un total de 11 procesos identificados con sus interacciones (figura 1). Se cuenta con la documentación para los dos procesos estratégicos, para el caso de los claves (Producción de rones Vigía, Producción de FitoMas y Bioprocesos Cuba 10), así como para los cinco procesos de apoyo).

La información documentada del Sistema Integrado de Gestión quedó establecida como se describe:

- Un manual de calidad-inocuidad alimentaria, incluye en anexos los objetivos de calidad-inocuidad, el mapa de procesos y la política del Sistema Integrado de Gestión.

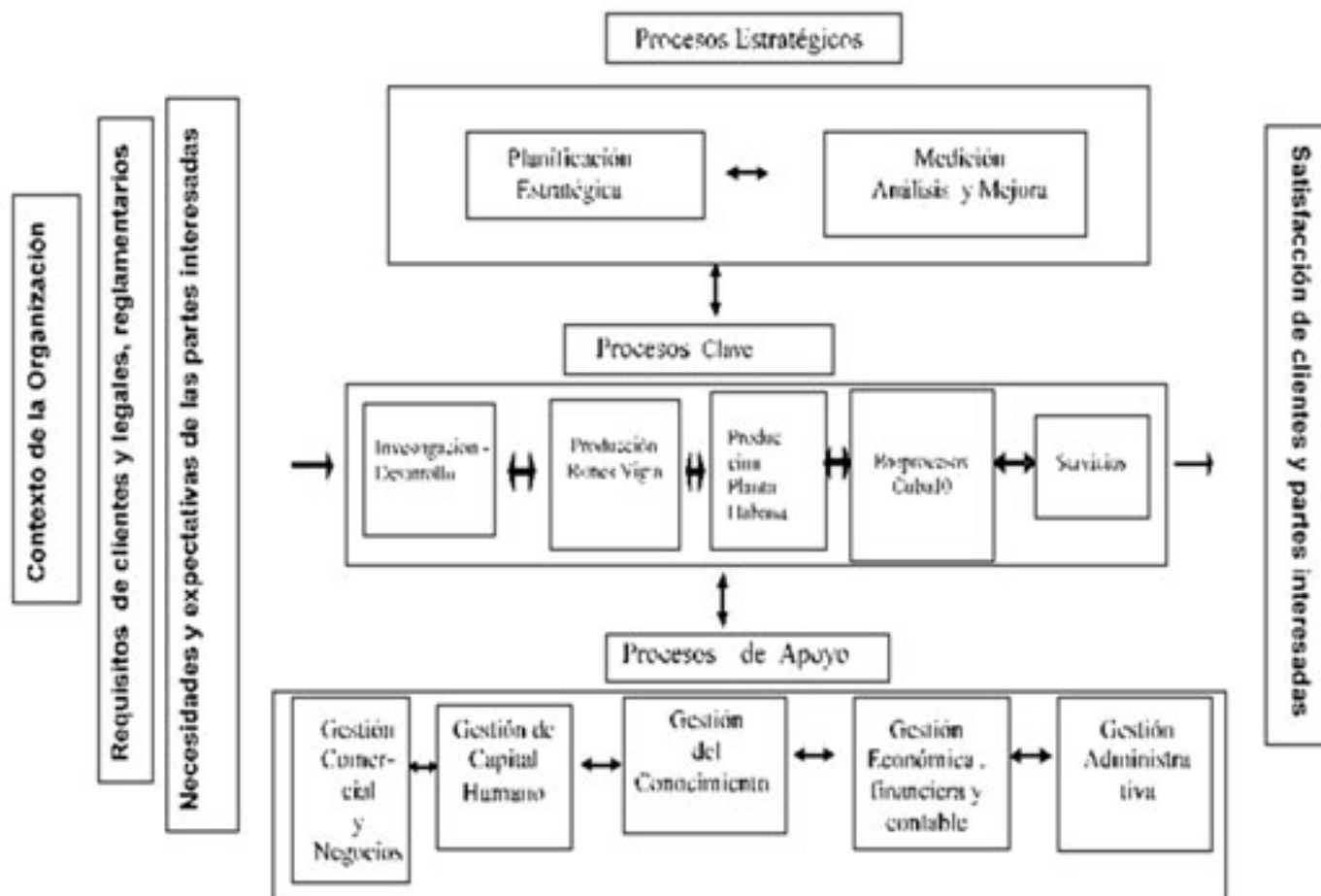


Figura 1. Mapa de procesos del ICIDCA y las interacciones.

- Procedimientos y registros generales.
- Fichas, procedimientos, registros, instrucciones específicas, de procesos.
- Procedimientos y registros específicos de inocuidad según NC ISO 22 000:2005.
- Reglamentaciones externas.

El sistema de gestión ha sido revisado por la alta dirección, en las revisiones por dirección realizadas semestralmente, teniendo en cuenta los requisitos de entradas y salidas que exige la NC ISO 9001:2015 (9).

Respecto a los productos rones Vigía, para renovar la certificación de los mismos, se trabajó en mejorar la infraestructura y ampliación de la capacidad de producción de la planta de producción bodegas Vigía. Se desmontaron los raques y se trasladaron los toneles hacia la nueva solera para liberar espacio en el área de producción, se sustituyó el piso del área de producción y se mejoró la imagen de las áreas.

Se solicitó previamente al Grupo Azucarero AZCUBA que avalara los resultados alcanzados en el sistema de gestión del ICIDCA con vistas a solicitar la auditoría de certificación por la Oficina Nacional de Normalización, como organismo certificador.

Se procedió a conformar el expediente de solicitud de transición y renovación de la certificación del sistema de gestión de la organización acorde NC ISO 9001:2015 (9) y de la certificación de los productos rones Vigía, acorde con los requisitos de la NC 113:2009 (10). Estos documentos fueron entregados en la ONN en el mes de junio de 2017, según lo planificado y cumpliendo con los Requisitos y Procedimientos Generales de este órgano (11).

La auditoría de certificación del Sistema por la NC ISO 9001:2015 y NC ISO 22000:2005, se realizó en enero de 2018, se detectaron 5 aspectos a prestar atención por la alta dirección y tres No conformidades menores, a las que se le asignaron las acciones correctivas. Las mismas fueron cerradas, verificándose en auditoría de cierre y seguimiento, por parte de la ONN, en abril del mismo año. En la auditoría de certificación de producto no se detectaron No conformidades.

Otorgamiento de la certificación del Sistema Integrado de Gestión Calidad Inocuidad Alimentaria y de la Marca Cubana de Conformidad

El 10 de mayo de 2018, la ONN otorgó al ICIDCA la certificación del Sistema Integrado de Gestión Calidad-Inocuidad Alimentaria por las normas NC ISO 9001:2015 y NC ISO 22000:2005, así como la certificación de la Marca cubana de conformidad a los productos rones Vigía según la NC 113:2009, ambos

con vigencia hasta el 10 de mayo de 2021.

Los resultados de este trabajo han tenido un gran impacto en el sector industrial y azucarero, el ICIDCA es la segunda empresa del Grupo Azucarero AZCUBA que en el 2018 transitó a la NC ISO 9001:2015 y que recibió la certificación por la ONN del Sistema de Calidad NC ISO 9001:2015, del Sistema de Inocuidad Alimentaria NC ISO 22000:2005 y del Sistema Integrado de Gestión Calidad-Inocuidad Alimentaria, así como la certificación de sus productos rones Vigía por la Marca Cubana de Conformidad. Esto conllevó al incremento de la imagen de la organización y del valor agregado del producto. Mejoró el desarrollo organizacional para un producto de calidad y seguimiento a los clientes, partes interesadas y proveedores relacionados con la producción de los rones Premium Vigía.

El trabajo realizado permitió además el incremento de la competencia del personal y de la organización, favoreciendo la ejecución de servicios de asesorías en Gestión de la Calidad que fueron solicitados por empresas del sector azucarero y nacional, estos con enfoque NC ISO 9001:2015.

CONCLUSIONES

Se logró la transición a la NC ISO 9001:2015 y renovación de la certificación del Sistema Integrado de Gestión Calidad e Inocuidad Alimentaria, con alcance a los rones Premium Vigía, así como la renovación de la certificación de dichos rones con la Marca cubana de conformidad.

El éxito de la gestión en la implantación del Sistema Integrado lo constituyó el involucramiento de todo el personal que participó en el cambio organizacional y en los desafíos que la integralidad requiere.

Como consecuencia se incrementa la imagen de la organización, el valor agregado del producto y se mejoró el desarrollo organizacional para un producto de calidad y seguimiento a los clientes, partes interesadas y proveedores relacionados con la producción de los rones Premium Vigía.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación en la obtención de los resultados de este trabajo a los colegas del ICIDCA: Eric Estrada, Carlos Molina, Aracelia Hernández, Gloria Villamil, Danay Orta, Giselle Montero, Teresa Cordero, Bárbara Rodríguez, Yanet Romero, Eduardo Casanova, Magdalena Lorenzo, Nancy Herrera, Silvia Mato, Dacelis Borroto, Raúl Arabí, Ana Nelis San Juan, Jorge Luis García, Yanay Martínez, Ámbar Araujo, Adolfo Brown, Mariela Gallardo y Arodis Caballero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Seoane, J.M.; Jaya, A. I. y Guerra, R. M. 2018 “Proceso de transición a la norma NC-ISO 9001:2015 en la empresa mixta Suchel Camacho S.A”, Revista Caribeña de Ciencias Sociales (enero 2018). En línea:<http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/01/empresa-suchel-camachosa.html>
 2. González, H. 2016. Transición a ISO 9001:2015. Consideraciones.<https://calidadgestion.wordpress.com/2016/03/01/transicion-a-iso-9001-2015-consideraciones/>1 marzo. 3.
 3. ISO 9001 2015 Norma Internacional. Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
 4. Torres, L. M. 2017. Transición de la norma ISO 9001-2015 en la organización de las empresas del Sector Público. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad Ciencias Económicas. Especialización en Finanzas y Administración Públicas. Cajica, 2017
 5. Ortega, G.; Reyes,A.; Sánchez, A.; Santo Tomás, J.; Blanco, I.; Vega, M.; García, T. El ICIDCA por más de 10 años en la Gestión de la Calidad. Memorias del Congreso de Calidad 2016.
 6. NC ISO/ IEC 17025:2006.Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
 7. NC ISO 9001:2008 Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos.
 8. NC ISO 22000:2005. Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos. Requisitos para cualquier organización de la cadena alimentaria.
 9. NC ISO 9001:2015. Sistemas de Gestión de la Calidad. Requisitos
 10. NC 113:2009 Ron especificaciones.
 11. ONN. 2017. RPG .2017 “Requisitos y Procedimiento General (RPG) para la Certificación de Sistemas de Gestión”. Resolución 056/2017
 12. Resolución 60. 2011. Resolución de Control Interno. Contraloría General de la República de Cuba.
-

El orden de los autores de un artículo científico, su calidad y la de la revista donde se publica

Jorge T. Lodos Fernández

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Vía Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
jorgelodos@ceniai.inf.cu

RESUMEN

Se discute la definición de autores, su orden y las revistas para publicar. Se valoran 3 definiciones de orden: "Docente", que privilegia al "insustituible", que define al resto, "Métrica", que cuantifica participación en etapas de la investigación, y "Editorial", que valora contribución a dichas etapas y enfatiza responsabilidad personalizada. El factor de impacto (FI) e índice h son fáciles y accesibles, no distinguen importancia relativa de artículos y autores, citar no significa leer o aplicar, baja circulación y temas poco populares los reducen y viceversa. Ambos se favorecen con autocitas, artículos muy citables, donaciones a bibliotecas y eventos, y muchos lectores. En FI lo hace la revista y en índice h, el autor. FI mide popularidad de revista, no calidad del artículo. Índice h valora autores, no califica la revista, puede confundir nombres, solo funciona en áreas afines, es bajo en investigadores noveles y su valor solo puede crecer. La colaboración lo favorece. Se recomienda evaluar balanceando FI con calidad de artículo e investigador, definiendo contribución de cada autor, accediendo a métricas y exigiendo responsabilidad por su mal uso. Es importante categorizar las revistas nacionales, fortalecer revisión y calidad de sus artículos. Se concluye que quedan cosas por decir y someter a debate.

Palabras clave: factor de impacto, índice h, revista, autor y evaluación.

ABSTRACT

Author's definition, its ranking and journal for publishing are discussed, as alternatives "Academic", that privileges "relevant author", which nominates the remained; "Metric", that quantifies participation in research activities, and "Editorial", that evaluates contribution and personal responsibility. IF and h-Index are accessible and understandable, both do not distinguish between papers and authors, citation does not mean reading or paper application, low circulation and non-popular content reduce both values and vice versa. IF and h-Index are promoted with self-citation, high citation papers and donation to libraries and conferences, that is done by the journals (IF) or by the authors (h-index). IF measures journal popularity not paper quality and h-Index measures author's quality not journal's. H-Index could mistake author's names, is only applicable in similar areas, sub value young researchers, can only grow up and it is favored by collaboration. As a conclusion, paper recommends evaluating projects taking into consideration IF plus paper quality and researcher results, defining author's personal contribution, having access to metrics and asking for its missuses' responsibility. Indexation of Cuban journals is very important as the improvement of its peer's revision and papers quality is. The main conclusion is that many questions remain open for discussion and debate.

Key words: impact factor, h-index, journal, author, assessment.

INTRODUCCIÓN

Cuando llega el momento de publicar un artículo científico, es imprescindible definir:

1. Sus autores y el orden de su ubicación.
2. A qué revista presentarlo, donde juega un papel importante la calidad de la revista y la posibilidad

que brinde de que lean el artículo y lo citen.

3. Su calidad, que sirve de antecedente para la evaluación de sus autores y de la investigación o proyecto de los cuales es un resultado.

El cálculo de estos indicadores es posible por el extraordinario avance del uso de la computación para registrar, almacenar y procesar gran cantidad de in-

formación, como la de todos los artículos publicados, sus autores y sus citas en más de 10 000 revistas, cuyo número sigue creciendo. Estos aspectos y sus alternativas están siendo objeto de amplia discusión y hay muchas opiniones sobre ellos en los últimos años, tanto a nivel nacional como internacional.

El objetivo del trabajo es discutir las opciones existentes sobre estos temas, en base a las opiniones más debatidas en la literatura y a las propias del autor, para abrir camino a un debate enriquecedor.

EL ORDEN DE LOS AUTORES

Las frases “¡Publica o perece!” y “¿Estar o no estar? ese es el dilema” conducen frecuentemente a tensiones indeseables entre los posibles candidatos a ser incluidos (o excluidos) como autores de un artículo científico. El lugar a ocupar también suele provocar fricciones innecesarias. Esto se debe a que publicar en solitario es cada vez más raro, por la interacción creciente entre ciencias, países, laboratorios e investigadores, y porque todavía las publicaciones son elementos indispensables para acceder a categorías, grados, premios y, en general, para hacer carrera académica. No puede olvidarse que para avanzar hay que demostrar suficiente protagonismo, pero, sin embargo, la experiencia existente sugiere que, en los resultados importantes, generalmente interdisciplinarios, hay muchos autores, y que los puestos decisivos son ocupados, frecuentemente, por personas “estratégicas”, dejando poco espacio al resto para ser “protagónico”.

Hay bastante coincidencia entre editores, evaluadores e investigadores que los autores “notables” de un artículo son el primero, como el más activo, el último, como el más integrador, y el corresponsal, como el más representativo y que el orden hacia la derecha indica aportes decrecientes. También, hay coincidencia en que, en la decisión del orden debe prevalecer la ética, y que el mismo debería de ser consensuado antes del envío del artículo a la revista (1,2).

La aproximación “Docente” al orden de los autores (3)

Esta aproximación es muy usual en esa esfera, donde el autor “principal” decide el orden de los autores por su contribución a la investigación y por las exigencias de categorías o grados. El autor principal es el “insustituible”, sin el cual el trabajo no se podía haber hecho, se ubica como último o “para correspondencia” y deja espacio para crecer. Los casos más típicos son el diplomante y el aspirante a investigador, donde el tutor o jefe de proyecto podía seleccionar entre varios “sustituibles”, mientras ellos eran insustituibles por su experiencia en el tema, por ejemplo. No debe confundirse el papel de “autor principal” con el de jefe administrativo que gestiona

recursos, colaboración y capacitación, asiste a reuniones ejecutivas y exige obtener resultados, más que hacer trabajos de investigación. Siempre quedará la duda si hizo lo suficiente para ser incluido como coautor o para agradecerle su gestión, si la misma la hubiera podido realizar cualquier jefe.

La desventaja fundamental de este método es que se basa en la “autoridad” del autor principal, que puede ser cuestionada para definir todos los puestos de una investigación compleja.

La aproximación “Métrica” al orden de los autores (1)

Esta es una aproximación muy interesante y poco utilizada que, a partir de definir ciertas actividades, evalúa o autoevalúa el porcentaje de participación de cada investigador en las mismas. En una reunión colectiva los autores potenciales debaten las calificaciones obtenidas, propias o asignadas, y las consensuan. Estas actividades pueden ser, por ejemplo, la participación en:

1. La planificación y elaboración del proyecto de investigación.
2. El diseño de los experimentos y la obtención de datos.
3. El análisis y presentación de los resultados.
4. La elaboración del informe o artículo.

Este método también permite excluir a “autores” con baja puntuación, cuyo límite fija el colectivo, para cuidar que su número no sea excesivo ni incluya a los que no se lo merecen. El más importante autor es el de mayor porcentaje, que define su lugar e influye sobre quién será el último autor y el de correspondencia. El orden de los coautores se establecerá por el porcentaje obtenido. A los que no llegaron a la puntuación requerida, se les puede agradecer o reconocer su participación.

Las ventajas de este método es su objetividad y flexibilidad (se adapta a la investigación y a la publicación) y es aplicable en cualquier momento, antes, durante o al final de la investigación.

La aproximación “Editorial” al orden de los autores (4)

Esta última aproximación fue propuesta por editores de revistas, que identificaron 3 condiciones de obligatorio cumplimiento, para evitar falsos autores o dejar a verdaderos fuera.

1. Contribución a concepción/diseño y adquisición/ análisis/interpretación de datos.
2. Escribir o revisar críticamente su contenido intelectual.
3. Aprobación final de la versión a ser publicada.

La tercera condición advierte que todos los autores se adjudican el mérito y las críticas del artículo, por lo que deberán tomar más en serio su redacción,

pues nadie quiere asociarse a una crítica o a un fracaso. Para ser autor principal hay que convencer a los coautores de su contribución esencial a las 3 condiciones. Si alguien no las satisface, se le agradece, pero nunca se le añade como coautor.

Resumiendo, la aproximación docente privilegia al investigador “insustituible” como el autor principal, que define el orden del resto. La aproximación métrica define cuantitativamente el orden de los autores, permite excluir e incorporar, se adapta y se aplica a cualquier etapa de la investigación. La aproximación editorial se basa en reglas escritas, de obligatorio cumplimiento, que evitan exclusión o falsa incorporación, y que obligan a todos los autores a sentirse responsables del artículo.

¿A QUÉ REVISTA PRESENTAR UN ARTÍCULO? EL FACTOR DE IMPACTO FI (5)

Cuando llega el momento de publicar un artículo científico, es imprescindible definir a qué revista enviarlo, donde su afinidad con el tema del artículo, su calidad y posibilidad de que lo lean y citen otros investigadores es decisivo. Desde 1963, el FI ha sido el indicador por excelencia de la calidad de las revistas. El FI de una revista se calcula cada año dividiendo todas las citas que reciben durante dicho año los documentos citables (artículos) publicados en los dos años anteriores. Hay que señalar que el FI se creó para facilitar a las bibliotecas la selección de qué revistas adquirir y no como un indicador universal de la calidad de las mismas. No obstante, ha ido evolucionando en esa dirección por las ventajas que se describen a continuación, y por la falta de alternativas.

Principales ventajas del FI para medir la calidad de una revista

- Fácil de entender.
- Bastante universal.
- Se accede sin costo (aunque con un año de retraso).

Principales desventajas del FI, como medida de la calidad de una revista

- La revista con larga lista de espera se perjudica, pues sus artículos pierden actualidad y se citan menos.
- Como regla, no incluye en la valoración a libros, memorias de eventos, disertaciones y publicaciones similares.
- La definición de artículos citables es algo ambigua.
- Evaluar un año de citas para dos años de publicación, puede no ser representativo.
- Las revistas con baja circulación y temas poco populares no tendrán nunca un alto FI, aun si sus artículos tienen calidad.

- A más investigadores por sector, más autores por artículo, más tradición de citar y mayor FI (es el caso de las revistas médicas), aun si contienen artículos de baja calidad.

Principales desventajas del FI, como medida de la calidad de los artículos de una revista

- Un número es incapaz de contar la historia de cada artículo.
- Citar no equivale a leer, menos aún a que el contenido sirva, o que se utilice o aplique.
- No puede distinguir la importancia relativa de los artículos.
- No puede distinguir el peso relativo de los autores.
- No califica a los autores (hay que asumir que la calidad del arbitraje es proporcional al FI, y que la revista no dejara pasar artículos de baja calidad, lo que es un riesgo).
- Las revistas con baja circulación y temas poco populares no tendrán nunca un alto FI, aun si sus artículos tienen calidad.
- A más investigadores por sector, más autores por artículo, más tradición de citar y mayor FI (es el caso de las revistas médicas), aun si contienen artículos de baja calidad.

En cierta medida, el FI mide la popularidad de la revista y no la calidad de los artículos que publica.

¿Qué elementos favorecen un alto FI de una revista?

- Autocitarse (Gálvez, 2017).
- Más artículos de “Estado del Arte” o “Populares”.
- Seleccionar trabajos para publicar, potencialmente muy citables.
- Promoverse, regalando la revista a bibliotecas y en eventos frecuentados.
- Tradición de muchos lectores, autores y citas.

Por eso, las revistas médicas ocupan los primeros lugares del FI, junto con Nature y Science. El análisis del FI durante 3 años arrojó que, en números redondos, el 0.05 % de las revistas tenía un FI superior a 35, el 0.5 % estaba entre 20 y 35, el 5 % entre 5 y 20, y el 94 % era inferior a 5. Ese mismo análisis para la revista Nature, arrojó que un artículo generó más de 1 000 citas, otro 350, la mayoría menos de 20 citas y 50 % ninguna. Nada garantiza que el contenido de los artículos citados se haya utilizado, ni que el 50 % no citado, no se haya leído y, quizás, utilizada su información.

Aunque con frecuencia se critica “teóricamente” usar el FI para evaluar resultados investigativos, la práctica continúa, por ejemplo, en los premios de la Academia de Ciencias de Cuba y en publicaciones acreditadas para doctorados. Esto pudiera mejorarse si, en lugar de tomar el valor absoluto del FI, se identificase el FI de la revista líder en el campo en

cuestión, y los FI de las similares vinculadas a partir del mismo.

LA CALIDAD DE UN ARTÍCULO Y DE SUS AUTORES: EL ÍNDICE h (7)

Ya definida la revista a la que enviar el artículo, a los efectos de la evaluación individual de sus autores a través de sus artículos publicados, se introdujo en el 2005 el índice h, que se calcula ordenando los artículos que ha publicado un autor de acuerdo al número de citas que han recibido, de mayor a menor, hasta que ambos números coincidan, siendo ese su valor, que indica que ese autor tiene n publicaciones que han recibido, al menos, n citas cada una.

Principales ventajas del índice h para calificar a un autor

- Fácil de entender (casi común con FI, aunque un poquito menos fácil de entender).
- Bastante universal (similar al FI, pero menos universal que este, porque el índice h solo puede aplicarse a sectores o especialidades comunes).
- Se accede sin costo (casi común con FI, que lo hace con un año de retraso).
- Valora al investigador y no a la revista.
- Tiene importancia creciente internacionalmente como medidor externo para políticas científicas, promoción de investigadores y otorgamiento de becas, proyectos y premios.

Principales desventajas del índice h para calificar a un autor

- Un número es incapaz de contar la historia completa de un investigador (tampoco el FI).
- Las revistas con larga lista de espera se perjudican, pues sus artículos pierden actualidad y se citan menos (aplicable también al FI).
- Citar no equivale a leer, menos aún a que el contenido sirva, se utilice o aplique (aplicable también al FI).
- Como regla, no incluye en la valoración a libros, memorias de eventos, disertaciones y publicaciones similares (aplicable también al FI).
- No puede distinguir el peso relativo de los autores (aplicable también al FI).
- No puede distinguir la importancia relativa de los artículos (también aplicable al FI).
- No califica la revista, la valoración es independiente de la revista donde se publique.
- Algunas revistas restringen el número de citas (por ejemplo, la Revista ATAC solo admite 10).
- No distingue diferentes distribuciones del número de citas.
- Los nombres y apellidos de los autores pueden confundirse y o citarse en forma diferente en diferentes revistas, favoreciendo a unos y perjudicando a otros.

- Solo funciona eficazmente entre científicos del mismo campo y, a veces, solo entre subdivisiones del mismo.
- Dificultad en alcanzar un alto índice para investigadores en campos de menor actualidad.
- En trayectorias científicas cortas, con pocos artículos, pero muy citados, el índice h será bajo.
- El país, institución o grupo, y el tema de investigación, influyen sobre su valor.
- Solo puede crecer, nunca reducirse, independientemente de los resultados del investigador.

¿Qué elementos favorecen un alto índice h?

- Autocitarse, sobre todo si es bajo (similar al FI, aunque es el autor quien lo promueve).
- Escribir artículos de “Estado del Arte” o “Populares” (similar a FI, pero promovido por autor).
- Promoverse, autocitándose y repartiendo copias de sus artículos en eventos frecuentados (similar al FI, aunque es el autor quien lo promueve) (6).
- Incluir a muchos autores en los artículos.
- Incluirse como autor en todos los trabajos de un colectivo.
- Ampliar la colaboración para acceder a más artículos con más autores.

Existen variantes del índice h que intentan mejorarlo o complementarlo, como, en orden alfabético, el índice c, que toma en cuenta la lejanía entre el citador y el citado, el e, que intenta considerar el impacto de todas las citas de un autor, y se calcula restando al total las utilizadas para el cálculo del índice h, el g, que valora el cuadrado del número de citas acumulado y del número de posición del artículo, que se obtiene cuando los valores de estas columnas coinciden y que puede diferenciar a autores con igual índice h, el m, que intenta tomar en cuenta la edad del autor, dividiendo su índice h entre el número de años contados desde su primera publicación, y el índice i10, que solo considera los artículos que han sido citados 10 o más veces, entre otros (8).

¿CÓMO EVALUAR A LOS INVESTIGADORES?

¿Publican en revistas indexadas o no existen?! Sin embargo, todos los que comentan sobre estos temas concuerdan en que no basta con usar indicadores cuantitativos (aunque de nuevo palabras y hechos divergen frecuentemente) para evaluar a un investigador. Nada mejor para esto que la Declaración de San Francisco sobre la evaluación de la investigación (DORA, Declaration On Research Assessment) (9), donde un grupo de directores y editores de revistas debatieron los problemas anteriores y llegaron a determinadas recomendaciones, algunas de las cuales se extractan, “creadoramente”, a continuación.

...los que financian la ciencia, los empleadores de científicos, y ellos, necesitan que se evalúe la calidad e impacto de su producción con precisión y prudencia. El FI se creó para definir qué revistas comprar por las bibliotecas, no para medir la calidad de un artículo. El FI puede ser manipulado por las políticas editoriales (¡lo dicen los editores!), su cálculo no es transparente y puede depender del sector. Estas recomendaciones se dirigen a todos los vinculados a artículos revisados por pares...

Recomendaciones generales

- Eliminar el uso de métricas basadas en revistas, como el FI, como sustitutivo de la calidad de los artículos para evaluar a un científico, su contratación o promoción, o la financiación.
- Evaluar la investigación por sus propios méritos y no por la revista en la que se publica.
- Aprovechar la publicación digital en línea para relajar los límites de número de palabras, figuras y referencias, por ejemplo, y explorar nuevos indicadores para medir impacto.

Recomendaciones para los financistas de la ciencia y las instituciones que la ejecutan

- Considerar el valor e impacto de los resultados de la investigación, además de por sus publicaciones, por indicadores cualitativos como su influencia sobre la política y la práctica.
- Ser claro en qué criterios utiliza al evaluar, contratar y promover. Resaltar que el contenido científico de un artículo es mucho más importante que la métrica o revista de publicación.

Recomendaciones para las revistas

- Reducir el énfasis del FI como herramienta de promoción, e incorporar métricas, basadas más en la calidad del contenido del artículo que en la revista que lo publica.
- Fomentar la autoría responsable. Solicitar cuál es la contribución específica de cada autor.
- Eliminar toda limitación a reutilizar las listas de referencias de artículos de investigación.
- Eliminar o reducir las restricciones en el número de referencias y dirigir la citación de la literatura primaria en favor de dar crédito al que registró por primera vez un hallazgo.

Recomendaciones para los proveedores de métricas

- Ser abierto y transparente, proporcionando los datos y métodos utilizados para el cálculo.
- Permitir el acceso y la reutilización de los datos sin restricciones.
- No tolerar la manipulación inadecuada de indicadores, que debe ser claramente definida, así como las medidas para evitarla y la responsabilidad que se adquiere en caso de que ocurra.

- Al comparar indicadores, considerar las diferencias entre tipos de artículos y áreas científicas.

Recomendaciones para los investigadores

- Cuando se es evaluador, basarse en el contenido científico y en el valor e influencia de los resultados de la investigación, y no en las métricas de publicación.
- Siempre que sea necesario, citar la literatura primaria en la que las observaciones fueron por primera vez publicadas, con el fin de dar el crédito a quien lo merece.
- Usar diferentes métricas e indicadores como evidencia del impacto de los artículos publicados individuales y de otros productos de la investigación.

DORA invitó a científicos e instituciones de todo el mundo a que respaldaran la declaración. A mediados del 2019, 1 365 organizaciones de 75 países, incluidas algunas cubanas, y 14 284 personas, incluidos algunos cubanos, la habían firmado, haciendo suyos sus principios.

A MODO DE CONCLUSIONES

Además del FI y del índice h y sus derivados, se utilizan otros indicadores como, por ejemplo, el número de artículos publicados, cuántos fueron “significativos”, el total de citas, las citas promedio por artículo o las de los trabajos más citados, no importa dónde se publicaron, que miden la productividad pero no necesariamente el progreso científico o la calidad individual, mientras que el FI (tu artículo es bueno porque la revista lo es), o el índice h y sus derivados (eres bueno porque te citan mucho, no importa dónde publicaste) intentan medir la productividad del investigador y vincularla a su progreso científico, aun si no siempre lo logran (10).

Un problema muy importante, y poco tratado, se refiere a la publicación en revistas locales de países del tercer mundo, Cuba entre ellos, que no están aún referenciadas en bases de datos apropiadas para el cálculo de los índices. Frecuentemente, se plantea la alternativa de publicar en revistas indexadas, corriendo el riesgo de privilegiar el reconocimiento institucional, grupal o personal exterior, por sobre el reconocimiento y la aplicación nacional, y no contribuir a la indexación de la revista nacional. Las revistas ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar y ATAC, por ejemplo, no se escapan a esta disyuntiva. Hasta que no se logre la categorización nacional con criterios internacionales, la comparación de revistas por el FI, y de investigadores por el índice h, podría ser muy injusta. Esto se resume en el dilema, no necesariamente antagónico ¿Publicar en revistas indexadas extranjeras y/o contribuir con nuestros artículos a indexar las nacionales? (11, 12).

En la vida real, a juicio de este autor, en la defensa de publicar los resultados de las investigaciones en revistas internacionales indexadas, subyace una aspiración personal válida, de darse más a conocer, a “existir” en la comunidad extranjera, que la de divulgar la ciencia nacional, aunque no necesariamente tienen que ser esfuerzos antagónicos. Hay que recalcar, que publicar en revistas de alto impacto no es la única manera de obtener reconocimiento por resultados obtenidos ni de demostrar que los mismos son confiables, o que, si eso no se hace, es como si no se hubieran obtenido, lo que sobredimensiona el papel del FI. De la misma manera, es evidente que cualquier entidad que invierta recursos para obtener un resultado, necesite verlo hecho realidad, pero que la única manera de lograrlo sea a través de su publi-

cación en una revista indexada, es dudoso. Inclusive, en la realidad cubana, existen investigadores que no necesitan publicar todos sus resultados cumpliendo con esos requisitos, para recibir la confianza y el respeto de sus iguales, patrocinadores y discípulos.

Todos los indicadores discutidos han sido admirados, criticados y mejorados, lo cual han descrito varios autores cubanos (13-16). Realmente, todavía hay una gran polémica sobre su uso, porque siempre queda en el margen de la duda, como se mencionó, si los artículos citados han sido realmente utilizados, y si los no citados no fueron leídos e, inclusive, utilizados. Ni la revista ni las citas *per se* determinan la calidad del artículo y de sus autores. Aún quedan cosas por decir, algunas de las cuales se han presentado y se someten ¡A Debate!

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta, L. (2007). Como definir autoría y orden de autoría en artículos científicos usando criterios cuantitativos. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Universitas Scientiarum, Colombia. Vol. 12. No. 1, pp. 67-81.
2. Álvarez, M. (2018). Una visión personal de los principios del trabajo científico. Parte 11: Los autores de un artículo científico. Encuentro con la Química. Cuba. Vol. 4. No. 3, pp. 22-26.
3. Lodos, J. y González, I. (2013). Metodología de la investigación química. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba. ISBN 978-959-07-1817-5.
4. COPE Report. (2003). How to handle authorship disputes: a guide for new researchers”. RU.
5. Garfield, E. (2006). The History and Meaning of the Journal Impact Factor. Journal of American Medical Association (JAMA). Vol. 295. No. 1, pp. 90-93.
6. Gálvez, R. (2017). Assessing author self-citation as a mechanism of relevant knowledge diffusion. Scientometrics. Revista internacional publicada por Springer. Vol. 111. No. 3, pp. 1801–1812.
7. Hirsch, J. (2005). An index to quantify an individual’s scientific research output. Proc. Natl. Acad. Sci. EE.UU. Vol. 102. No. 46, pp.16569–72.
8. Bornmann, L.; *et al.* (2011). A multilevel meta-analysis of studies reporting correlations between the h-index and 37 different h-index variants. Journal of Informetrics. Revista internacional publicada por Elsevier. Vol. 5. No. 3, pp. 346–59.
9. DORA. (2012). Poniendo ciencia en la evaluación de la investigación. Declaración emitida en la Reunión Anual de la Sociedad Americana de Biología Celular el 16 de diciembre del 2012, conocida como DORA, por un grupo de directores y editores de revistas académicas.
10. Dorogovtsev, S. y Mendes, J. (2015). Ranking Scientists. Nature Physics. Editada por Nature Publishing Group en el RU. Vol.11. No. 11, pp. 882–84.
11. Kellner, A. y Ponciano, L. (2008). H-index in the Brazilian Academy of Sciences: comments and concerns. An. Acad. Bras. Cienc. Brasil. Vol. 80 pp.771–81.
12. Mishra, D. (2008). Citations: rankings weigh against developing nations. Nature. Editada por Nature Publishing Group en el RU. Vol. 451, p. 244.
13. Suárez, M. (2016a) ¿Qué aportes se deben tener en cuenta para evaluar las investigaciones? ¡A debate! Encuentro con la Química. Cuba. Vol. 2. No.1, pp. 29-30.
14. Suárez, M. (2016b). El empleo de la Bibliometría para analizar la actividad científica. Encuentro con la Química. Cuba. Vol. 2. No.1, pp. 13-16.
15. Montero, L. (2017). De cómo calificar a los buenos científicos y la buena ciencia: ¿El índice Hirsch? Encuentro con la Química. Cuba. Vol. 3. No. 3, pp. 42-45.
16. Montero, L. (2019). Nuestro lugar en la ciencia citable. Encuentro con la Química. Cuba. Vol. 5. No. 1, pp. 29-30.