



Revista *Márgenes*. Vol.6, No.1, Enero-Abril, 2018. RNPS: 2460

¿Cómo referenciar este artículo?

Faildes-López, A., & Obregón-Luna, J. de J. (enero-abril, 2017). Evaluación de rendimientos fermentativos alcohólicos de jugos industriales de caña energética conservados. *Revista Márgenes*, 6(1), 28-36. Recuperado de <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/issue/view/687>

TÍTULO: EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS FERMENTATIVOS ALCOHÓLICOS DE JUGOS INDUSTRIALES DE CAÑA ENERGÉTICA CONSERVADOS

Autores: MSc. Lic. Amilkar Faildes-López¹, Dr.C. Ing. Joaquín de Jesús Obregón-Luna²

¹Licenciado en Física. Máster en Eficiencia Energética. Profesor Asistente. Departamento de Matemática-Física. Facultad de Ciencias Pedagógicas. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Proyecto de Biomasa Cañera. Correo electrónico: afaildes@uniss.edu.cu

²Ingeniero Químico. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular Consultante. Centro de Estudio de la Energía y Procesos Industriales (CEEPI). Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Proyecto de Biomasa Cañera. Correo electrónico: jobrelu@nauta.cu

RESUMEN

El objetivo de este artículo fue evaluar el comportamiento en fermentación alcohólica, de los rendimientos alcohólicos, los rendimientos en biomasa de levadura y los rendimientos totales de los jugos de caña energética conservados, comparativamente con testigo de la propia melaza con que fueron conservados, según ecuaciones de Monod de rendimientos. Para ello, se utilizó levadura seca activa fresca a razón de 4 g/L en frascos de 10 L por duplicado con 5 L de cada sustrato, ajustados a 120 g/L de Azúcares Totales, pH= 4,5 con ácido sulfúrico y temperatura en cuarto cerrado fue 32°C-33°C. Las observaciones y mediciones fueron realizadas según el esquema de control normal de la destilería Paraíso. Los datos obtenidos fueron graficados en Excel y procesado con el software Datafit. Por los resultados obtenidos, se determinó que los jugos de caña energética conservados con melaza, es mejor sustrato para producir bioetanol por

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

fermentación con levadura que la melaza sola. Se sugiere evaluar también la cinética de síntesis del bioetanol.

Palabras clave: bioeléctricas; jugos conservados de caña energética; fermentación alcohólica; ecuaciones de Monod.

TITLE: EVALUATION OF ALCOHOLIC FERMENTATIVE YIELDS FROM CONSERVED INDUSTRIAL JUICES OF ENERGY CANE

ABSTRACT

The objective of this article is to evaluate the behavior, in alcoholic fermentation, of fermentative yields, the yields in yeast's biomass and the total yields of the conserved juices of energetic cane, comparatively with witness of the same molasses with which they were conserved, according to equations of Monod of yields. For it, fresh active dry yeast was used with an amount of 4 g/L in flasks of 10 L in duplicate with 5 L of each mash, adjusted to 120 g/L of Total Sugars and pH = 4,5 with sulfuric acid. Moreover, the temperature in closed room was 32°C-33°C. The observations and measurements were carried out according to the scheme of normal control of the still Paradise. With the obtained data computer graphics in Excel were made and this data was processed with the Datafit software. By the results obtained, it was determined that the preserved juices of energetic cane with molasses is better mash to produce bioethanol by fermentation with yeast. It is suggested too to evaluate the biosynthesis ethanol kinetic.

Key words: biopower; juices conserved of energetic cane; alcoholic fermentation; Monod equations.

INTRODUCCIÓN

La proyección de Cuba de arribar al 2030 con el 24% de la matriz energética a partir de fuentes renovables de energía, precisa que a la biomasa cañera corresponde el protagonismo principal con el 14%. En tal sentido, se encuentran en construcciones, negociaciones y en carpetas de oportunidades abiertas al capital extranjero; 25 bioeléctricas. Una vez en explotación generarán 4 300 GWh/año, con ahorro de 960 000 t de combustible fósiles y evitación de la emisión 3,65. 10⁶ t de CO₂ a la atmósfera. Además, originarán nuevas fuentes de empleos a cientos de trabajadores (González, 2017). Una de estas bioeléctricas con 60 MW de capacidad se instala en él con crédito

bancario en el central azucarero Uruguay, como se puede constatar en la Figura 1 donde se ubican las 25.

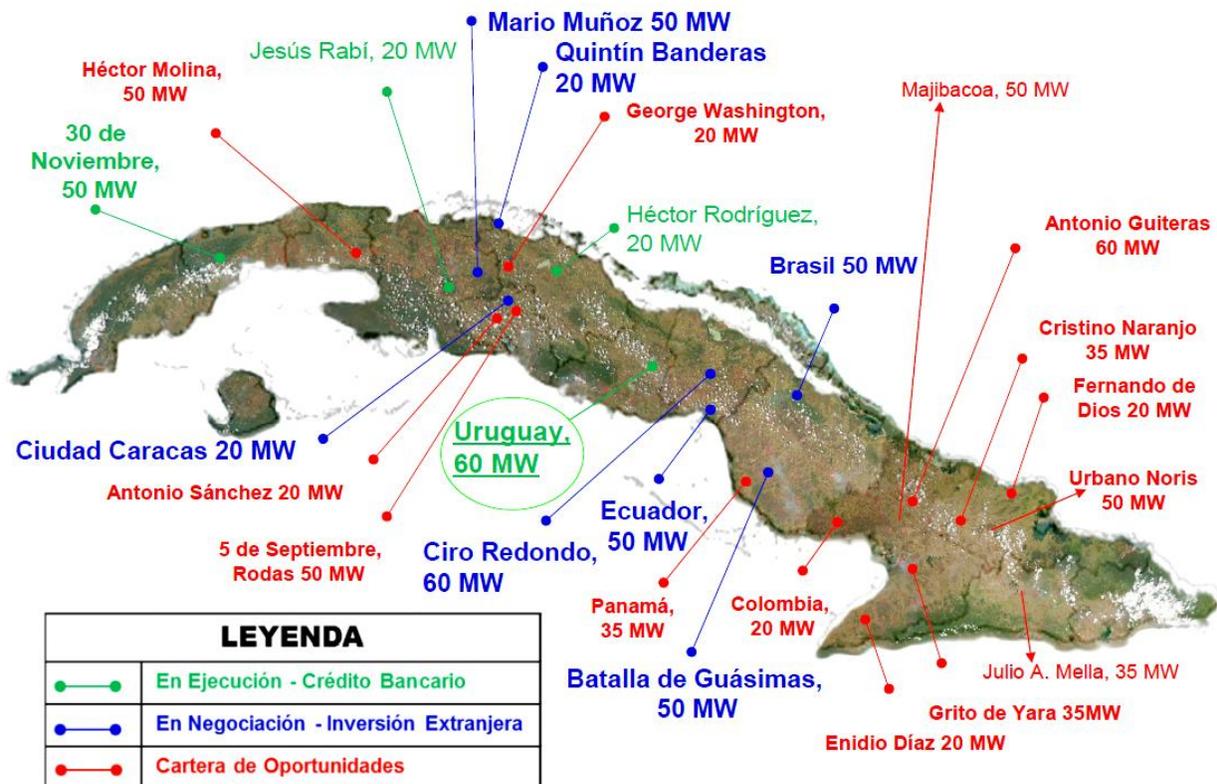


Figura 1. Programa de bioeléctricas en Cuba hasta 2030

Fuente: Adaptación de MINEM (Ministerio de Energía y Minas), 2017.

Utiliza como biomasa combustible bagazo de caña azucarera procedente de la zafra azucarera. Completa la biomasa combustible anual con marabú y bagazo de caña energética. Esta última origina jugos no aptos para producir azúcar, pero sí para bioetanol por fermentación con levadura, con una tecnología específica patentada (Obregón-Luna, 2008).

Dado a que esta fábrica no tiene destilería anexa, la solución encontrada fue demostrar la factibilidad técnico-económica de su conservación y comercialización con la destilería Paraíso (Faildes-López, 2015; Obregón-Luna, Faildes-López & Hernández-León, 2017). Esto a su vez, determinó la pertinencia de evaluar el comportamiento en fermentación alcohólica, en una primera etapa en los rendimientos alcohólicos, biomasa de levadura y total; que motivó el propósito de este artículo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para los rendimientos se utilizaron las ecuaciones clásicas de Monod del efecto de la concentración del sustrato limitante (Aiba, Humprey & Millis, 1970; Villadsen, Nielsen & Lidén, 2011), expresado en %. Estas son:

$\% Y_{p/s}$, $\% Y_{x/s}$ y $\% Y_{t/s} = \% Y_{p/s} + \% Y_{x/s}$; donde:

% Y: Rendimiento en %

p: producto (bioetanol)

s: sustrato limitante

x: biomasa de levadura base seca

t: rendimientos en producto + rendimiento biomasa de levadura base seca

Los datos experimentales fueron tomados de la fuente original (Obregón-Luna, 2008).

En esencia consistió en comparar los rendimientos referidos: inicial, a los 10, 20 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 120 y 150 días; del sustrato jugos industriales de caña energética conservados con melaza de caña azucarera, con la misma melaza diluida con agua destilada aparte como testigo, ambos a la concentración nominal de 75% Brix.

Para la fermentación alcohólica se empleó levadura seca activa fresca marca Nevada, a concentración de 4 g/L en frascos de 10 L por duplicado con 5 L de cada sustrato. El sustrato limitante fue ajustado a 120 g/L de Azúcares Totales y pH= 4,5 con ácido sulfúrico. La temperatura en cuarto cerrado fue 32°C-33°C.

Las determinaciones analíticas fueron realizadas por los protocolos normales del esquema de control de la destilería Paraíso. Las Tablas 1 y 2 compilan los datos utilizados (Obregón-Luna, 2008).

Tabla 1. Determinaciones a los jugos industriales de caña energéticas conservados 75% Brix nominal

| Variable | Días de conservación de jugos de caña energética mezclados con melaza | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Inicio | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 120 | 150 |
| % $Y_{p/s}$ | 80,21 | 80,43 | 80,46 | 80,59 | 80,63 | 80,71 | 80,69 | 80,72 | 80,75 | 80,74 | 80,76 | 80,79 |
| % $Y_{x/s}$ | 6,52 | 6,48 | 6,45 | 6,40 | 6,50 | 6,58 | 6,60 | 6,57 | 6,58 | 6,59 | 6,71 | 6,79 |
| % $Y_{t/s}$ | 86,73 | 86,91 | 86,91 | 86,99 | 87,13 | 87,29 | 87,29 | 87,29 | 87,33 | 87,33 | 87,47 | 87,58 |

Fuente: Obregón-Luna (2008)

Tabla 2. Determinaciones a la melaza testigo 75% Brix nominal

| Variable | Días de conservación de jugos de caña energética mezclados con melaza | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Inicio | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 120 | 150 |
| % Yp/s | 79,89 | 79,96 | 79,93 | 80,01 | 80,11 | 80,16 | 80,31 | 80,28 | 80,30 | 80,28 | 80,31 | 80,32 |
| % Yx/s | 6,63 | 6,64 | 6,70 | 6,69 | 6,70 | 6,74 | 6,77 | 6,75 | 6,76 | 6,80 | 6,81 | 6,84 |
| % Yt/s | 86,52 | 86,60 | 86,63 | 86,70 | 86,81 | 86,90 | 87,08 | 87,03 | 87,06 | 87,08 | 87,12 | 87,16 |

Fuente: Obregón-Luna (2008)

Por separado las corridas, las tres variables fueron graficadas en Excel y procesadas para modelación matemática con el software Datafit 9.0.59 (2009), con un Error Estándar de Estimación $\leq 5\%$. Fue además determinado el estadígrafo d de Durbin-Watson, para precisar la presencia o no de autocorrelación en los residuos. Se estableció que para 180 días de conservación segura (Faildes-López, 2015), aquellos términos de las ecuaciones obtenidas que no alteraran valores después de la segunda cifra decimal, fueran despreciados, dadas las incertidumbres propias de cualquier medición química y física (Prendill, 2014; Hechavarría-Hernández & Arada-Pérez, 2017). El rango de valores de aceptación de d adecuados para los modelos obtenidos con 12 datos, quedó fijado entre: $1,31 < d < 2,67$ (Gujarati, 2005).

Estos resultados de los cálculos estadísticos fueron tabulados con notación convencional, para facilitar el análisis comparativo de los rendimientos fermentativos alcohólicos entre uno y otro sustrato.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 1, 2 y 3 muestran las variables graficadas.

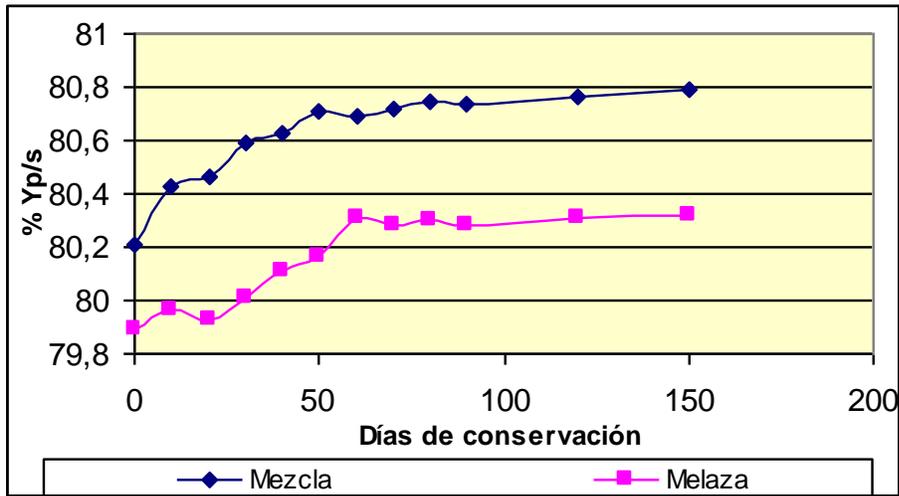


Figura 1. Rendimiento alcohólico (Yp/s, (%))

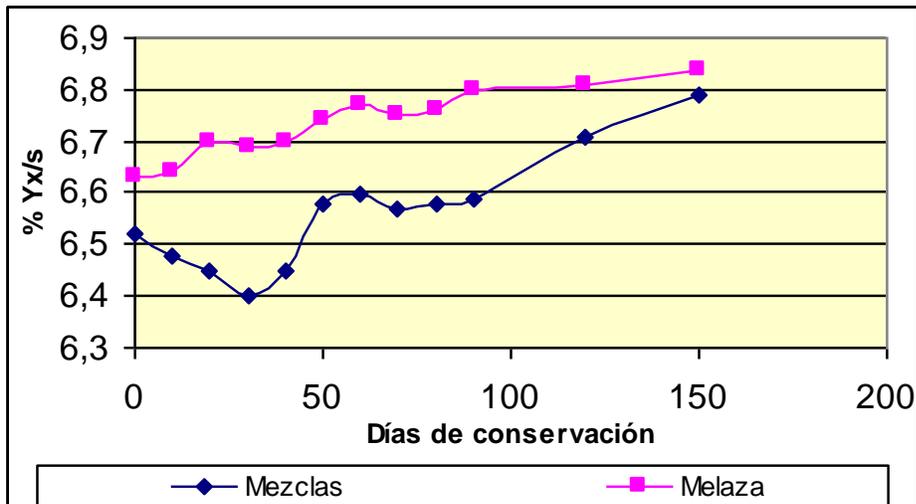


Figura 2. Rendimiento de biomasa seca de levadura, (Yx/s(%))

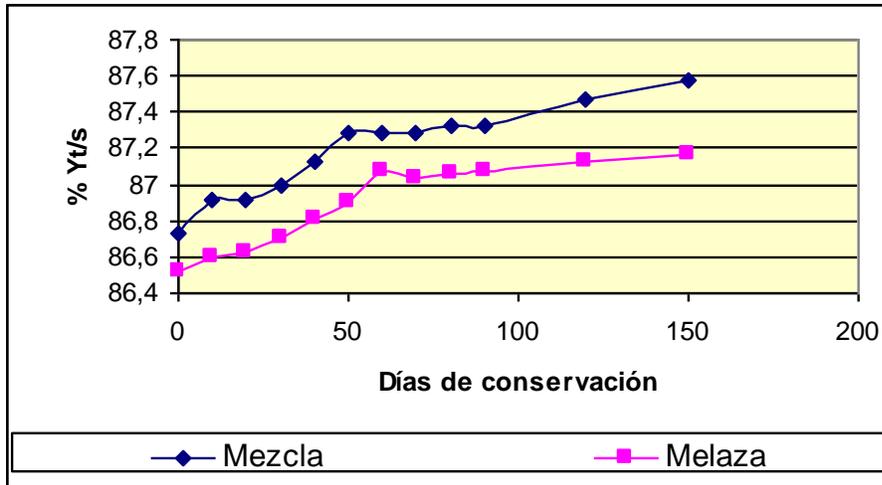


Figura 3. Rendimiento total (Yt/s (%))

En la Figura 1 se observa que el rendimiento en el bioetanol objeto de producción de los jugos de caña energética conservados con melaza, es mayor que el de la melaza sola. Sin embargo, el rendimiento en biomasa seca de levadura es menor según muestra la Figura 2. Se argumenta en que, como la fuente de carbono es la misma cantidad para ambos tipos de productos biológicos, si uno aumenta es a expensas del otro y viceversa. Además, la melaza tiene más inhibidores a la fermentación alcohólica (ácidos volátiles, caramelos y otros) que los jugos de caña energética, lo que explica su menor rendimiento en alcohol. En conjunto y de acuerdo a la Figura 3, de forma integral se determinó que con los jugos de caña energética conservados con melaza como sustrato para la producción industrial de bioetanol, se obtienen mayores rendimientos alcohólicos y en total, que con la melaza sola.

Por su parte, los modelos estadísticos obtenidos se compilan en la Tabla 3.

Tabla 3. Modelos estadísticos de rendimientos Monod para 95% de confianza

| % Rendimiento | Mezcla jugos+ melaza | | | Melaza sola | | |
|---------------|--|----------------|------|--|----------------|------|
| | Modelo | R ² | d | Modelo | R ² | d |
| % Yp/s = | 0,00914 x+80,30 | 0,93 | 1,59 | 0,0081 x+79,85 | 0,93 | 1,44 |
| % Yx/s = | 0,0000419 x ² + 0,00354 x+ 6,54 | 0,98 | 2,26 | 0,0000688 x ² + 0,00156 x+ 6,63 | 0,95 | 2,64 |
| % Yt/s = | 0,0000419 x ² +0,00354 x+ 86,80 | 0,98 | 2,26 | 0,0000471 x ² +0,00213 x+86,50 | 0,98 | 2,39 |

Al analizar la Tabla 3 se precisa que los modelos obtenidos con las especificaciones estadísticas introducidas al software Datafit 9.0.59 (2009), son polinomiales.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

Para cualquier valor de días de conservación de los jugos de caña energética, el modelo de % Yp/s evidencia el mayor rendimiento alcohólico de este en comparación con el de la melaza sola, que corrobora lo expuesto en la Figura 1.

Por su lado el % Yx/s aumenta más en la melaza sola con los días de conservación, lo cual confirma lo analizado en la Figura 2. Por último, el rendimiento total %Yt/s ratifica lo manifestado para la Figura 3.

Las ecuaciones de la Tabla 3 permiten hacer un estimado de los rendimientos esperados con jugos de caña energética conservados, en condiciones normales de cualquier destilería de bioetanol de Cuba.

CONCLUSIONES

Las evaluaciones de los rendimientos por las ecuaciones de Monod realizadas a escala de banco, a los jugos industriales de caña energética conservados con melazas, comparados con las mismas bajo las condiciones ensayo; permitieron precisar que:

- Los jugos industriales de caña energética conservados se comportaron como mejor sustrato que la melaza sola, para producir bioetanol por fermentación con levadura.
- Como la fuente de carbono es la misma, si se produce más bioetanol se reducirá la producción de biomasa de levadura, conducta que manifestaron dichos jugos.
- Los rendimientos totales acusaron mayores valores en los jugos que en la melaza sola, lo que evidenció que se aprovecha mejor la fuente de carbono con los ellos.
- Demostradas las factibilidades económicas y de rendimientos alcohólicos de los jugos industriales de caña energética conservados, se sugiere completar los estudios con los datos experimentales, sobre el comportamiento de la cinética bioquímica de la fermentación, a los efectos de identificar las características de productividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aiba, S., Humphrey, A. E., & Millis, N. F. (1970). *Biochemical Engineering*. La Habana, Cuba: Instituto del Libro.

Datafit 9.0.59. (2009). *Oakdale Engineering*. Software USA.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL

- Faildes-López, A. (2015). *Obtención del índice de eficiencia energética equivalente por ventas de jugos de caña energética conservados*. Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Eficiencia Energética. Dirección de Investigaciones Aplicadas, Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba.
- González, A. M. (29 de mayo 2017). Biomasa, la que más aporta. *Economía. Separata de Trabajadores*, No. 37, p. 4.
- Gujarati, D. N. (2005). *Econometría*. Primera y Segunda Partes. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela.
- Hechavarría-Hernández, A., & Arada-Pérez, M. de los A. (enero-abril, 2017). Estimación de la incertidumbre de la medición en análisis químico, un caso de estudio. *Revista Cubana Química*, 29(1), 54-72. e-ISSN: 2224-5421.
- MINEM. (2017). *Sistema Eléctrico Nacional*. Ministerio de Energías y Minas. Presentación Power Point. 39 Diapositivas.
- Obregón-Luna, J. de J. (2008). *Estudio para la obtención de bioetanol a partir de jugos de caña energética como componente del sustrato*. Tesis doctoral. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. Recuperado de <http://revistas.mes/elibro/>
- Obregón-Luna, J. de J., Faildes-López, A., & Hernández-León, R. A. (enero-marzo, 2017). Evaluación preliminar de la conservación de jugos industriales de caña energética. *Revista Centro Azúcar*, 44, 44-52.
- Prendill, L. R. (2014). Using measurement uncertainty in decision-making and conformity assessment. *Metrología*, 51(2), 206-218.
- Villadsen, J., Nielsen, J., & Lidén, G. (2011). *Bioreaction engineering principles*, 3ra ed. Springer. Recuperado de <http://doi.org/10.1007/978-1-4419-9688-6>

Recibido: 13/03/2018

Aceptado: 26/03/2018