

## **CARACTERIZACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MÍNIMA LÍMITE DE ALMACENAMIENTO DE SUSTRATOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA BIOETANOL**

Dr. C. Ing. Joaquín de J. Obregón Luna

Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales. Facultad de Ingeniería.

Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, Cuba

[obregon@suss.co.cu](mailto:obregon@suss.co.cu)

### **RESUMEN**

A partir de los resultados de una evaluación a escala piloto durante 150 días de conservación de jugos de caña energética en estado estático, con las restricciones de 75% Brix mínimo y 159 500 bacterias contaminantes (ufc)/g máximo al inicio; se graficaron en Excel y se relacionaron estas dos variables mediante la ecuación lineal de la línea de tendencia, se calculó con la misma el %Brix pronóstico en que llegaría a ese límite inferior de riesgos de contaminaciones. El resultado anterior se sustituyó en la ecuación polinomial de la línea de tendencia de estimación de la actividad acuosa. Se determinó en base al estudio de caso que: 69% Brix es el descenso límite de concentración de sustratos de caña de azúcar almacenados para bioetanol, a partir del cual aparecen los riesgos de contaminaciones en la fermentación alcohólica industrial. A este valor le corresponde una actividad acuosa de 0,847 que aun reprime por presión osmótica el desarrollo de bacterias; pero no fiablemente las levaduras salvajes, que origina utilizarlos cuanto antes. Este parámetro es aplicable a diferentes escenarios con nuevos sustratos, como los jugos pobres de caña azucarera destinados a la producción flexible alcohol-azúcar y los de sorgo dulce entre otros, mezclados con melaza o mieles B.

*Palabras clave:* Materias primas de la caña de azúcar; almacenamiento; concentración mínima límite; fermentación alcohólica

## **CHARACTERIZATION OF THE CONCENTRATION MINIMUM LIMIT OF STORING OF FEEDSTOCK OF THE SUGAR CANE FOR BIOETANOL**

### **ABSTRACT**

Starting from the results of an evaluation to scale pilot during 150 days of conservation of higher fibre cane juices in static state, with the restrictions of 75% Brix minimum and 159 500 colony-forming units (CFU)/g; they were drawn in Excel and they were related these two variables by means of the lineal equation of the tendency line, it was calculated the % Brix prognostic in that it would arrive to that inferior limit of risks of contaminations. The previous result was substituted in the before obtained equation polynomial of the line of tendency of estimate of the watery activity. It was determined based on the case study that: 69% Brix is the descent limit of concentration of feedstock of sugar cane stored for bioethanol, starting from which the risks of contaminations appear in the industrial alcoholic fermentation . To this value it corresponds him a watery activity of 0,847 that even represses for osmotic pressure the development of bacterial, but not reliably the wild yeasts that it originates to use them as soon as possible. This parameter is applicable to different scenarios with new feedstocks, as the poor juices of sugar cane dedicated to the production flexible alcohol-sugar and those of sweet sorghum among others, mixing with blackstrap molasses or molasses B.

Key words: Feedstock of sugar cane; storing; concentration minimum limit; alcoholic fermentation

### **Introducción**

La explosión productiva de bioetanol agrocombustible iniciada en la década del 70 del siglo pasado en Brasil, con su programa endógeno PROÁLCOL a partir de la caña de azúcar (GTZ, 2006) (PROÁLCOL, 1988), ha estado motivado por el estado de necesidad y seguridad nacional energética automotor; como contrapartida socioeconómica en ese país, a los altos precios de la gasolina y el

diesel debido a la primera crisis con los combustibles fósiles, hoy día más generalizado y acentuado (Nitch, 2008). Por otra parte, es tradición destinar el bagazo como biomasa combustible para generación de vapor y cogeneración eléctrica. Sin embargo, en los países de Centroamérica y del Caribe entre otros, las producciones en zafras azucareras son cíclicas de unas 20 semanas/año, debido a dos factores fundamentales íntimamente relacionados: las condiciones meteorológicas y contenido de sacarosa en los jugos de caña. Esto causó que en Cuba, a partir de la creación de nuevas variedades de caña de azúcar con alto contenido de fibra denominadas *cañas energéticas*, se iniciara una serie de estudios e investigaciones para su utilización en período de no zafra azucarera, en lo fundamental para la cogeneración eléctrica. Con sus jugos no es económicamente factible producir azúcar, aunque sí bioetanol empleados como sustrato para su producción mediante fermentación alcohólica con levadura. Ello se demostró con resultados satisfactorios, en la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Melanio Hernández” y la UEB Derivados destilería “Paraíso” de Sancti Spíritus, Cuba (Obregón-Luna, 2008).

La industrialización de las variedades C-90 176 y C-90 178 de caña energética, originó desarrollar un procedimiento específico patentado de preparación de sus jugos para su uso inmediato, como fuente de carbono para producir bioetanol (Obregón-Luna *et al*, 2007). Lo anterior ha sido objeto en condiciones industriales de: caracterizaciones fermentativa alcohólica (Obregón-Luna *et al*, 2008) y del comportamiento en la fermentación (Obregón-Luna *et al*, 2009 a); de evaluaciones de su incidencia en las calidades, los rendimientos y mitigación ambiental por el uso de las vinazas originadas en fertirriego (Obregón-Luna *et al*, 2009 b) ; de estudios de escalado hacia abajo y diferentes cepas de levadura preseleccionadas (Obregón-Luna *et al*, 2009 c). Además se realizó el estudio de caso de la integración material real de las dos fábricas antes citadas (Obregón-Luna *et al*, 2009 d). También de la demostración de la viabilidad de su conservación con otro procedimiento bajo solicitud de patente (Obregón-Luna, 2007) (Obregón-Luna, 2010). Lo anterior unido a estudios realizados sobre bioetanol orgánico en la

Universidad Central de Las Villas de Villa Clara (Correa *et al*, 2005), originó profundizar más a partir de los datos disponibles al efecto, con el propósito de su generalización a cualquier jugo de caña de azúcar; sin empleo de antibiótico, bifloruro de amonio u otras sustancias químicas como controladores de infecciones.

Por lo expuesto, se precisó que el objetivo de este trabajo fue: determinar bajo las condiciones de ensayos, a que %Brix límite inferior podían descender los jugos de caña de azúcar conservados durante su almacenamiento, con un método sencillo generalizable en otros escenarios con distintos sustratos azucarados.

### **Materiales y métodos**

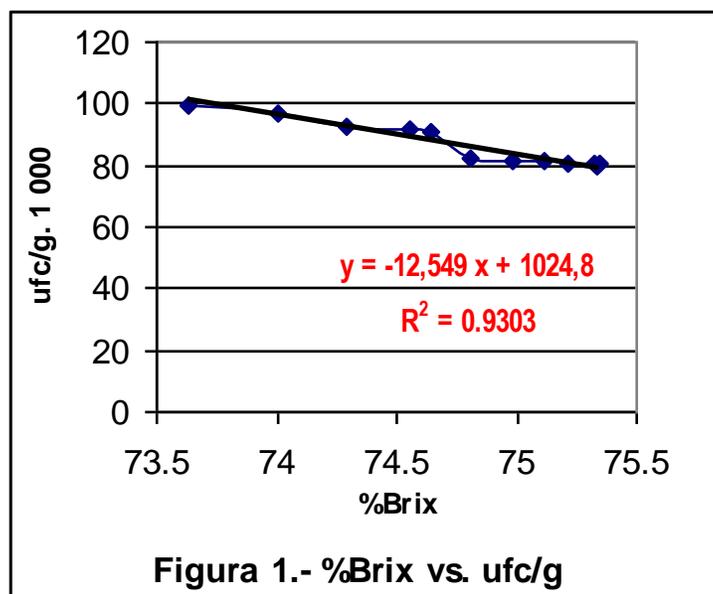
Con los datos de los parámetros %Brix y ufc/g de una prueba piloto de conservación de jugos de caña energética (Obregón-Luna *et al*, 2011), se construyó en Excel la curva y se le halló la ecuación lineal de la línea de tendencia. Se substituyó en la variable independiente  $y$  por el valor de  $159,5 \cdot 10^3$  ufc/g (Obregón-Luna *et al*, 2009 e), se calculó el %Brix pronóstico de la ecuación en que llegaría a ese límite inferior de riesgos de contaminaciones para el sustrato en la fermentación alcohólica industrial. Para estimar la actividad acuosa, el resultado anterior se substituyó en la ecuación polinomial de la línea de tendencia, que relaciona el %Brix con la actividad acuosa de soluciones de sacarosa pura. Después se comparó ese resultado con los mínimos de este parámetro reportados en la literatura especializada para hongos, levaduras y bacterias presentes en sustratos de caña de azúcar (Obregón-Luna *et al*, 2011). Por último, se cotejó con especificaciones de calidad para productos azucarados del Codex Alimentario (Norma del Codex para los azúcares. Enmienda 1-2001)

### **Resultados y discusión**

La Tabla 1 muestra los datos seleccionados, la Figura 1 su graficación y ecuación lineal de la línea de tendencia obtenida.

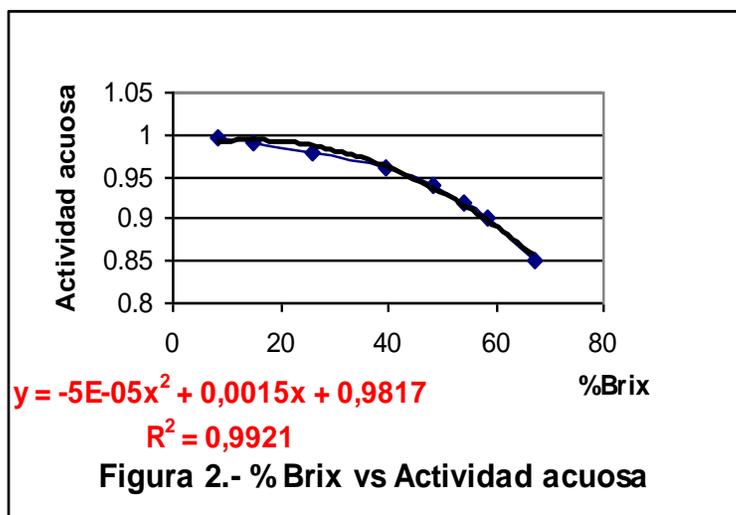
**Tabla 1.- Mezcla de Miel Final con Jugos de caña energética**

Variable	Inicial	Tiempo de mezclado en días											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	150	Δ
% Brix	75,33	75,32	75,35	75,21	75,11	74,98	74,81	74,64	74,56	74,29	74,01	73,63	-1,70
ufc Total/ g · 10 <sup>3</sup>	79,9	80,3	80,6	81,0	81,1	81,5	81,9	90,6	91,8	93,0	96,6	99,8	+19,9



Al sustituir en **y** por 159,5 se determinó que **x**= 68,95 lo que representa 69% Brix, adecuado redondear al considerar las incertidumbres propias de las mediciones físicas, químicas y microbiológicas (Nezhikhovskii, 2004) (Robinson, 2004), con lo cual se hace sencilla su utilización.

A su vez, con 69% Brix se sustituyó en la ecuación polinomial de la línea de tendencia mostrada en la Figura 2 y se determinó que corresponde a una actividad acuosa de 0,847.



Los análisis realizados a los resultados anteriores permitieron determinar que:

- El valor 69% Brix con actividad acuosa de 0,847 permite aun tener reprimidas a las bacterias, pero es el límite inferior para levaduras normales incluidas las salvajes (Obregón-Luna *et al*, 2011). A partir de aquí deben utilizarse cuanto antes como sustrato industrial en la fermentación alcohólica, particularmente cuando se producen alcoholes finos y extrafinos orgánicos, con destino a las industrias médico-farmacéuticas y de bebidas ecológicas o Premium entre otros.
- Al comparar el valor anterior con el del Codex Alimentario para jarabe de glucosa de consumo humano, este establece 70% mínimo de sólidos solubles (Norma del Codex para los azúcares. Enmienda 1-2001), lo que corrobora lo acertado del %Brix límite inferior hallado, para sustratos industriales que no demandan tan altos requisitos sanitarios.

- Una ventaja práctica para la conservación de jugos de cualquier caña mediante mezcla industrial con melaza, viene dada en que cualquier disminución por debajo de 75% Brix sin llegar a 69% Brix, independiente de las causales que la originaron; reduce el tiempo en que pueden estar depositados, pero no invalida su almacenamiento.
- El parámetro 69% Brix es aplicable además, para diagnosticar también el estado de conservación jugos pobres de los filtros de cachaza y de los últimos molinos de la planta de molida de caña azucareras; atendido a que estos y la propia melaza registran al menos en Cuba, menores tenores de microorganismos contaminantes a la fermentación alcohólica que los jugos de caña energética, aspecto de interés en aquellos centrales azucareros que producen azúcares de alta calidad y no tienen una destilería de bioetanol anexa.
- Por otra parte, permite el empleo de mieles B que poseen de 80% a 82% Brix para conservar jugos azucarados de caña en general.
- También resulta utilizable para preservar jugos de sorgo dulce que se emplea en otros países como fuente de carbono para producir alcohol, sin necesidad de concentrarlos con los ahorros energéticos correspondiente; dado que admiten similar procedimiento de purificación que los jugos de caña azucarera, y por ende; su tenor microbiano contaminante es menor que el de los jugos de caña energética.
- La novedad del indicador determinado algorítmicamente no solo radica en ser primera vez que se realiza sobre bases científicamente argumentada al menos en Cuba, sino, en la sencillez de como se ha logrado.
- Para cualquier alternativa de jugos a conservar, siempre debe antecederle un análisis previo costes-beneficios que demuestre su viabilidad técnico- económica caso por caso, toda vez que la capacidad de almacenamiento de fuentes de carbono para bioetanol orgánico en particular, se reduce entre un 10% a un 16%.

## Conclusiones

- Se determinó que 69% Brix es el límite inferior permisible de descenso de jugos de caña energética conservados almacenados, valor a partir del cual deben utilizarse cuanto antes en el proceso fermentativo alcohólico industrial, para evitar riesgos de evolución de contaminaciones por microorganismos indeseables, particularmente cuando se producen alcoholes orgánicos.
- Las bases científicas en que se fundamenta la caracterización algorítmica realizada avalada por la experiencia industrial acumulada, brinda la posibilidad de su generalización para conservar y almacenar otros sustratos como los jugos pobres de caña azucarera y de sorgo dulce; a lo cual previamente debe antecederle un análisis de costes-beneficio, que demuestre su viabilidad técnico-económica, pues la capacidad de almacenamiento de fuentes de carbono se reduce en no menos del 10%.
- El valor de 69% Brix se erige como un indicador de diagnóstico y análisis de riesgos al menos en Cuba, para sustratos de caña de azúcar almacenados para bioetanol.

## Referencias bibliográficas

- Correa, Y.; I. Rodríguez e I. Gallardo. (2005). Primeros estudios sobre la obtención de alcohol orgánico o ecológico. Revista *Centro Azúcar* No. 32 (1), p 30-38. ISSN 0253-5777, Cuba.
- GTZ – Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit. (2006). *Biofuels Studies* (Biofuel in Europe / Germany, Brazil, China, India and Tanzania); Disponible en: [www.gtz.de/en/themen/laendliche-entwicklung/natuerliche-](http://www.gtz.de/en/themen/laendliche-entwicklung/natuerliche-)
- Nezhikhovskii, G. R. (2004). *Uncertainty of Measurements Made Using Standardized and Certificates Procedures*. Disponible en: <http://www.msosmq.vniim.ru>

Nitchs, M. (2008). *Biofuels between Euphoria and Scepticism. Brasil as a Pioneer?* Latin American Institute Freie Universitaet Berlin, Germany. X International Meeting of Economists "Globalization and Development Problems", Havana, March 3-7. Cuba.

Norma del Codex para los azúcares. *Codex Stan 212-1999*. Enmienda 1-2001.

Obregón-Luna, J. J.; R. Hernández-León; A. Vera-Méndez y O. Romero-Romero. (2007). *Procedimiento de preparación de jugos de caña energética como substrato para producir bioetanol y biomasa de levadura*. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial (OCPI), Patente CU 23 211, Cuba.

Obregón-Luna, J. J. (2007). *Procedimiento de conservación de jugos de caña energética*. Solicitud de patente OCPI 2007-0167, Cuba

Obregón-Luna, J. J. (2008). *Estudio para la obtención de bioetanol a partir de jugos de caña energética como componente del substrato*. Tesis en la opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Disponible en:

<http://revistas.mes/elibro/tesis/ciencias tecnicas>

Obregón-Luna, J. J.; R. A. Hernández-León y O. Romero-Romero (2008). Caracterización fermentativa alcohólica de jugos de Caña energética. Revista *INGENIERÍA QUÍMICA*, No. 459, p. 194-196, Mayo 2008. Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064.

Obregón, J. J. y R. A. Hernández-León (2009 a). Jugos de caña energética para producir bioetanol: (I) Caracterización de la fermentación alcohólica. Revista *INGENIERÍA QUÍMICA*, No. 471, p. 106-111, Mayo 2009. Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064.

Obregón-Luna, J. J. y R. A. Hernández-León (2009 b). Jugos de caña energética para producir bioetanol: (II) Caracterización de calidades, vinazas y rendimiento alcohólico. Revista *INGENIERÍA QUÍMICA*, No. 472, p. 169-172, Junio 2009. Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064.

Obregón, J. J. y R. A. Hernández (2009 c). Jugos de caña energética para producir bioetanol: (III) Estudio de escalado y caracterizaciones de cepas de levadura. Revista *INGENIERÍA QUÍMICA*, No. 473, p. 98-102,

- Julio/Agosto 2009. Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064
- Obregón, J. J. y R. A. Hernández-León (2009 d). Jugos de caña energética para producir bioetanol: (IV) Estudio del caso de la integración material central azucarera-destilería de bioetanol. Revista *INGENIERÍA QUÍMICA*, No. 474, p. 114-117, Septiembre 2009. Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064
- Obregón, J. J. y R. Abreu-Naranjo (2009 e). Bacterias en melaza de caña azucarera para producir bioetanol: Método de estimación de la incertidumbre de contaminación por bacterias. Revista *INGENIERÍA QUÍMICA*, No. 476, p. 124-126, Noviembre 2009. Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064.
- Obregón-Luna, J. J. (2010). Almacenamiento sin contaminación de la melaza de caña para bioetanol: Método de estimación del %Brix mínimo. Revista *INGENIERÍA QUÍMICA* No. 484, Julio/Agosto 2010, p. 94- 96. Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064.
- Obregón-Luna, J. J.; R. A. Hernández-Luna, O. Romero- Romero y R. Abreu-Naranjo (2011). Jugos de caña energética para producir bioetanol: (V) Método de conservación para almacenamiento sin riesgos. Revista *INGENIERÍA QUÍMICA*, Mayo 2011, p. 84-89. Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064.
- PROÁLCOOL (1988). *Economia política e avaliação sócio-econômica do programa brasileiro de biocombustíveis*, Aracaju: Universidade Federal de Sergipe, Brasil.
- Robinson, R. (2004). *Critical review of uncertainty guidance documents*. Final Report. Disponible en: <http://www.metropolis.network.net>

Fecha de envío: 18-1-2013

Fecha de aceptación: 6-3-2013