



ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar

ISSN: 0138-6204

revista@icidca.edu.cu

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar  
Cuba

Otero, Miguel A.; Estévez, Roberto; Saura, Gustavo; Martínez, Julio A.; García, Roxana; Bello, Daniel  
Experiencias en la producción de etanol a partir de jugos de caña mezclados. Parte II. Efecto de la temperatura y la concentración de azúcares

ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 43, núm. 1, enero-abril, 2010, pp. 29-34  
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar  
Ciudad de La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120681004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Experiencias en la producción de etanol a partir de jugos de caña mezclados. Parte II. Efecto de la temperatura y la concentración de azúcares

Miguel A. Otero<sup>1</sup>, Roberto Estévez<sup>2</sup>, Gustavo Saura<sup>1</sup>, Julio A. Martínez<sup>1</sup>,  
Roxana García<sup>1</sup>, Daniel Bello<sup>1</sup>

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar  
Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba  
miguel.otero@icidca.edu.cu
2. Dirección de Producción, Ministerio del Azúcar, La Habana, Cuba

## RESUMEN

*Se realizó una prueba industrial de producción de etanol a partir de jugos mezclados de caña en las instalaciones de la destilería anexa a la EA Heriberto Duquesne en Villa Clara. Los factores de mayor incidencia en la eficiencia del proceso fueron la temperatura de fermentación y la concentración de azúcares en los fermentadores. Se demostró que temperaturas de  $35 \pm 1^\circ\text{C}$  son las óptimas para obtener eficiencias del orden de 85% y productividades de etanol de  $2,5 \text{ Lm}^{-3}\text{h}^{-1}$ , en tanto que la concentración de azúcares alimentados se encuentre entre 105 y  $115 \text{ kgm}^{-3}$ .*

*El arreglo tecnológico seleccionado permite derivar jugos de menor calidad como son los jugos de filtros hacia la producción de etanol lo que confiere una gran flexibilidad a la instalación.*

*El uso de los jugos, el control de temperatura y el empleo de levaduras de mayor especificidad productiva, permite incrementos significativos de eficiencia de producción sin grandes inversiones en la destilería.*

*Las vinazas procedentes de la destilación presentan valores de carga orgánica 30-40% menores que sus homólogas de melazas.*

**Palabras clave:** fermentación, etanol, energía alternativa, caña de azúcar, jugos de caña.

## ABSTRACT

*A trial for ethanol fermentation from mixed cane juices at commercial scale was carried out in the facilities of the distillery near to sugar enterprise Heriberto Duquesne in Villa Clara. The most affecting factors in process efficiency were fermentation temperature and sugar concentration in initial broth. It was demonstrated that temperature values about  $35 \pm 1^\circ\text{C}$  are optimal to obtain efficiency values of 85% and ethanol productivities of  $2,5 \text{ Lm}^{-3}\text{h}^{-1}$ , provided that fed sugar concentration be from 105 to  $115 \text{ kgm}^{-3}$ .*

*The technological arrangement chosen allows the derivation of juices with lower quality, as filter mud juices, to ethanol production which confers a great flexibility to the installation.*

*The use of cane juices, the control of temperature and the application of yeast with a higher specificity foster the development of significant increases in efficiency without important investment in the distillery.*

*Distillery slops coming from distillation present organic load values 30-40% lower than their homologues from molasses.*

**Key words:** fermentation, ethanol, alternative energy, sugarcane, cane juices.

## INTRODUCCIÓN

Como consecuencia de la actual crisis estructural generalizada, que incide de manera particular en el deterioro de los ecosistemas, se ha ido imponiendo cada vez más la sustitución de parte del combustible automotor por etanol anhidro (1,2). En las condiciones actuales, la crisis energética ha llevado a muchos países al incremento de su producción de etanol vía fermentativa para sustituir 10% de combustible fósil por etanol en el transporte automotor. Así, los planes diarios de producción se incrementan de manera significativa a todo lo ancho del planeta. Con estas escalas de producción, es natural que exista preocupación en cuanto a las tremendas cantidades de materia prima necesarias. La caña, o más bien sus jugos, son un sustrato ampliamente utilizado en Brasil, y el empleo de esta materia prima se está generalizando en numerosos países del mundo con agricultura cañera (3).

La producción actual de etanol a partir de la caña de azúcar se realiza mayoritariamente a partir de jugos de menor calidad, que se extraen del proceso de fabricación de azúcar. Esta alternativa tecnológica inédita en Cuba, presenta ventajas indiscutibles desde el punto de vista económico y a la par confiere una gran flexibilidad productiva al proceso global del complejo ingenio azucarero-destilería de alcohol, permitiendo reducir el impacto económico negativo inherente a la cotización, siempre cambiante del azúcar en los mercados internacionales. A partir de esta materia prima y mediante una coherente estrategia de diversificación, es posible adaptar la industria de

manera dinámica a las peculiaridades del mercado.

A los efectos de introducir en la práctica social esta concepción productiva y evaluarla en las condiciones concretas de nuestro país, se realizó una prueba industrial en la empresa azucarera Heriberto Duquesne en la provincia de Villa Clara; durante la campaña de producción de la destilería existente. Los resultados que se presentan en este trabajo corresponden al período comprendido desde 2004 hasta 2006.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Microorganismo.** Se empleó una cepa *Saccharomyces cerevisiae*, Turbo (Gert Strand AB, Malmo, Sweden) productora de etanol

**Tecnología existente.** La destilería de la empresa azucarera H. Duquesne consta de un sistema de fermentación de 13 fermentadores de 100 000 L de capacidad cada uno. A los efectos de la prueba se les instaló el sistema de refrigeración a la mitad de éstos (fermentadores 2 a 7), a partir de la instalación de intercambiadores de placa para mantener la temperatura en  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ . El sistema opera en el modo batch clásico sin recirculación de levadura. El tiempo de fermentación en sala es de 25 horas y produce 50 000 L de etanol 93° GL/d.

**Etapas de propagación.** El proceso de inoculación fue el mismo que tradicionalmente se emplea en la fermentación de melazas, a saber, la levadura seca activa se disuelve en agua y se trasvasa a los pre-fermentadores de 12 000 L los que previamente han sido cargados con sustrato y sales nutrien-

tes para la propagación en un volumen de 15-20% de su volumen total de trabajo y se impone una intensa aireación. La propagación se lleva a cabo en un medio preparado a 60-70 °Bx para propiciar la activación de la ruta fermentativa en las células y prepararlas para la fase productiva, evitando una fase lag larga. En la medida que se propaga el cultivo (conteo de campos al microscopio) se alimenta medio fresco en tres incrementos adicionales. Una vez alcanzada la concentración celular deseada, el volumen total se trasvasa al corbato preparado de manera similar, el que se va incrementando de volumen hasta alcanzar 100 m<sup>3</sup>.

**Análisis químico.** Durante toda la prueba industrial se realizaron los siguientes análisis:

*Sustancias reductoras totales y libres.* Fueron determinadas según la técnica de Eynon-Lane (4). Se determinaron para los jugos clarificados entrando a la destilería así como a las melazas utilizadas durante la etapa de propagación y en los fermentadores que corrieron con este sustrato a modo de comparación. Las sustancias reductoras infermentables fueron determinadas (5), utilizando levadura comercial *Saccharomyces cerevisiae*.

*Concentración de etanol.* A la descarga de los fermentadores para la destilación, se tomaron 500 ml de batición fermentada y se colocaron en un balón de fondo redondo de 1000 ml. La boca de éste se conectó a un condensador descargando en un erlenmeyer de 500 ml con 100 ml de agua destilada. La batición se puso a destilar sobre una manta y se recogieron entre 100 y 150 ml de destilado. Se enrasó a 500 ml

con agua destilada y se midió la densidad de la solución, calculándose la concentración del mismo en por ciento (v/v) de acuerdo con una tabla de calibración.

*Concentración de sólidos.* Se determinó midiendo los grados Brix de los sustratos y corrigiendo el valor según la temperatura de medición.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición de las melazas y jugos de la E. A. H. Duquesne

La tabla 1 muestra la composición y propiedades de las melazas tributadas a la destilería desde el ingenio anexo.

La mayoría de los indicadores muestran una estabilidad excelente a lo largo de las tres campañas tabuladas. La excepción la componen los lodos del año 2003, excesivamente altos para una melaza estándar y la variación que se manifiesta en las sustancias reductoras totales (SRT). En esta última probablemente influyan factores industriales en relación con el agotamiento de las masas cocidas.

La tabla 2 ofrece los jugos de caña extraídos durante los cuatro primeros meses del año 2004. Se destaca la estabilidad observada en los indicadores determinados. La estabilidad de la materia prima es esencial para el correcto desenvolvimiento de cualquier producción biológica.

### Efecto de la temperatura sobre los indicadores de eficiencia de fermentación alcohólica

La temperatura es un parámetro de vital importancia en las producciones fermentativas. Las células de levadura, responsables

**Tabla 1.** Composición y propiedades de las melazas de la E. A. H. Duquesne durante tres campañas consecutivas .

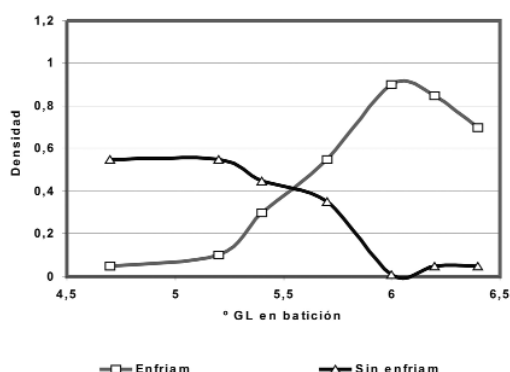
Componentes	2002	2003	2004
Sólidos totales, °Bx	88,307 ± 0,229	87,134 ± 0,804	85,532 ± 0,352
pH	5,480 ± 0,073	5,491 ± 0,149	5,647 ± 4,422
Lodos <sup>(4)</sup> , %	8,062 ± 2,111	<b>13,052 ± 0,092</b>	8,094 ± 2,933
SRL, %	21,640 ± 1,596	23,785 ± 3,872	17,659 ± 8,610
SRT, %	<b>62,017 ± 1,826</b>	<b>46,837 ± 5,600</b>	<b>56,713 ± 4,310</b>
SRinf, %	3,782 ± 0,234	3,600 ± 0,167	3,624 ± 2,726
Sacarosa <sup>(4)</sup> , %	38,359 ± 1,423	43,623 ± 6,758	34,000 ± 2,343

**Tabla 2.** Indicadores de los diferentes jugos de la E. A. H. Duquesne durante el primer cuatrimestre de 2004

Fecha	Desmenuzadora			Jugo mezclado (molinos 2,3,4)			Jugo mezclado (filtros)			Jugo clarificado			Jugo de los filtros de cachaza		
	Brix	Pol	Pureza	Brix	Pol	Pureza	Brix	Pol	Pureza	Brix	Pol	Pureza	Brix	Pol	Pureza
Enero	19,36	17,07	88,16	14,17	12,31	86,93	13,86	11,92	85,96	13,89	12,05	86,74	11,65	9,67	78,19
Febrero	19,67	16,69	86,54	14,89	12,74	85,68	14,93	12,73	85,32	14,93	12,79	85,74	12,36	10,30	83,33
Marzo	19,71	17,09	86,55	14,85	12,77	86,12	14,86	12,72	85,65	14,94	12,84	85,95	13,93	11,88	81,46
Abril	19,62	16,91	86,21	14,85	12,66	85,41	14,61	12,43	85,10	14,88	12,72	85,52	13,44	11,30	80,61
Promedio	19,66	16,99	86,36	14,85	12,71	85,73	14,72	12,56	85,34	14,91	12,78	85,71	13,63	11,53	80,95

de la bioconversión de los azúcares en etanol, por lo general exhiben una temperatura óptima entre 33 y 35°C. Cualquier variación en este rango, en especial hacia temperaturas superiores, irá en detrimento de los parámetros de rendimiento y eficiencia alcohólica.

La figura 1 muestra las diferencias de graduación alcohólica entre los fermentadores refrigerados para mantener 35°C todo el tiempo y aquellos en que la temperatura (T) se dejó fluir libremente de acuerdo al comportamiento del mismo.



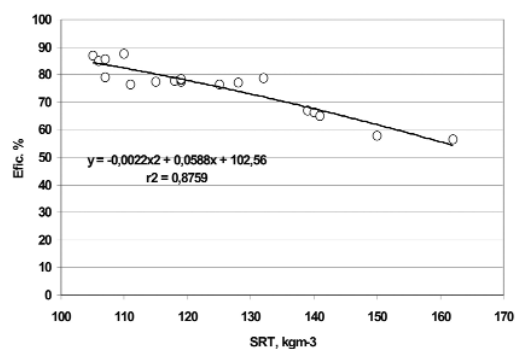
**Figura 1.** Comportamiento de la fermentación alcohólica con jugos mezclados a 35°C en comparación con fermentadores no refrigerados.

La figura 1 evidencia las ventajas de refrigerar los fermentadores para alcanzar mayores concentraciones alcohólicas en los medios fermentados. Mientras que el promedio de los fermentadores no refrigerados no rebasó 5% en volumen, los que contaron con control de temperatura en el rango óptimo alcanzaron valores por encima de 6% como promedio. Es de destacar que estos valores fueron raras veces alcanzados por la destilería en sus campañas anteriores, la

que alcanzó una concentración en el rango de 4.5-5% (6).

Los datos mostraron diferencias significativas para  $\alpha = 0,05$  entre las concentraciones de etanol en los fermentadores con enfriamiento respecto a aquellos que no lo tenían. Estos resultados sugieren que la utilización de los jugos en la fermentación alcohólica es solamente una opción si se cuenta con refrigeración.

La figura 2 ofrece el comportamiento de la eficiencia alcohólica en función de la concentración de los azúcares alimentados en el medio de fermentación. En este caso, se habla de azúcares y no de SRT como en las melazas por tener los jugos una pureza mucho mayor que estos siropes finales, que han sufrido un proceso continuado de extracción de azúcares y concentración de otros componentes de los jugos.



**Figura 2.** Efecto de la concentración de SRT sobre la eficiencia alcohólica en fermentadores corriendo a temperatura controlada de 35°C.

Las eficiencias están calculadas para el tiempo de fermentación previsto en la sala de esta destilería, 25 horas, como se ha informado anteriormente. Ésto es importan-

te porque indica el rango de concentraciones de azúcares compatibles con eficiencias de fermentación en el entorno de 85%. El comportamiento de este parámetro mostró el mejor ajuste a una curva polinomial. Es evidente que en la medida que se incrementan los azúcares en el medio de fermentación decrece la eficiencia de su conversión. Este comportamiento ha sido informado con anterioridad en experiencias con jugos de caña a escala de laboratorio (7).

La concentración de levadura en el medio está estrechamente relacionada con este indicador tecnológico. En términos generales, la concentración de células en los fermentadores operando sin recirculación de levadura, no rebasa  $3\text{--}4\text{ kgm}^{-3}$ , por lo que no es posible consumir altas concentraciones de azúcares en un tiempo corto si la concentración de éstos se eleva por encima de los valores asequibles a la levadura.

Para este sistema de operación la concentración de azúcares debe estar entre 105 y  $110\text{ kgm}^{-3}$  como valor máximo, lo que garantiza eficiencias de fermentación superiores a 80%. Por otra parte, no es posible obtener valores de este parámetro en el entorno de 90% sin recirculación de levadura. La alta concentración de células en el medio de fermentación permite una rápida conversión de los azúcares en etanol, en tanto que se minimiza el crecimiento de levadura durante el proceso que es un factor que incide sobre la eficiencia alcohólica. Es de destacar que bajo las condiciones de operación descritas, la productividad del sistema se mantuvo en el orden de  $2,5\text{ Lm}^{-3}\text{-h}$ .

Los valores esperados de los índices equivalentes usualmente utilizados para expresar la conversión de materia prima - alcohol, alcanzan los 3,47 kg de melaza 52% por L de etanol (100%) o expresado de otra forma, 67,6 L de etanol (100%) por tonelada de jugo.

La determinación de la carga orgánica de las vinazas procedentes de la destilación mostró valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el orden de  $40,2 \pm 6,9\text{ kg/m}^3$ . Estos valores son 30-40% inferiores a los obtenidos tradicionalmente en la fermentación de melazas en Cuba (8, 9). Este es un dato importante para el manejo adecuado de los ecosistemas en los que se vierten estos residuales (10).

## CONCLUSIONES

La producción de etanol a partir de jugos de caña en las instalaciones existentes en nuestro país es factible y solo requiere inversiones mínimas para adecuar el ingenio azucarero a la entrega de jugos de baja calidad para este proceso.

La selección de una cepa de levadura adecuada, constituye una de las herramientas más eficientes para el control y optimización de la fermentación alcohólica, al maximizar el etanol a producir y minimizar los costos de producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Berg, C. World fuel ethanol, analysis and outlook. [en línea] <http://www.fo-licht.com/> 2004 [Consulta 2008].
2. Beer, T.; Grant, T.; Williams, D.; Watson, H. Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles. *Atmospheric-Environment*. 36 (4):p. 753-763, 2002.
3. Nastari, P. M. Mercado mundial de etanol -panorámica y perspectivas Diversificación 2006. Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados Taller Internacional de Producción y Usos del Alcohol, La Habana, Junio 17-20, 2006.
4. Otero, M.A. Las melazas de caña: Composición, propiedades y usos. [CD]. Compendio de los Derivados de la Caña de Azúcar (Galvez, L.O.; Alvarez, A.; Almazan, O.A.; Otero, M.A.; Sabadi, R.; Rojas, H. eds) La Habana: ICIDCA, 2008.
5. Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras. Manual de Métodos Analíticos para Azúcar Crudo, La Habana, 2007.
6. Datos de archivo de la destilería H. Duquesne.
7. Otero, M.A.; García, R.; Pérez, M.C.; Martínez, J.A.; Saura, G.; Vasallo, M.C.; Bello, D. Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos-melazas de caña de azúcar. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar* (La Habana) 43(1):p. 17-22, 2009.
8. Otero, M.A.; Saura, G.; Martínez, J.A.; Almazán, O.A. Fodder yeast production: a new approach for distillery vinasses treat-

- ment Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 26: p. 1127-1133, 2007.
9. Otero, M.A.; Saura, G.; Martínez, J.A.; Garrido, N.; Pérez, I. Producción de levadura forrajera a partir de vinazas de destilería. Una solución ambiental. Inter Sugar J. 110 (1319): p. 693-696, 2008.
10. Borrero, M.A.; Pereira, J.T.V.; Miranda, E.E. An environmental management method for sugar cane alcohol production in Brazil. Biomass-and-Bioenergy 25(3):p. 287-299, 2003.