

Artículo Original

***DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES EN SIROPES
INVERTIDOS OBTENIDOS POR HIDRÓLISIS ÁCIDA DE
SACAROSA EN UNA INDUSTRIA CUBANA***

***DETERMINATION OF REDUCING SUGARS ON INVERTED SYRUPS
OBTAINED BY ACID HYDROLYSIS OF SUCROSE AT A CUBAN FACTORY***

Lázaro Andrés García Pérez¹ <https://orcid.org/0009-0001-1537-4334>

Omar Pérez Navarro^{2*} <https://orcid.org/0000-0001-6963-1327>

Richard Moya Olivera³ <https://orcid.org/0009-0004-7920-1012>

Ernesto Suarez Bolaños¹ <https://orcid.org/0009-0005-2718-3315>

Claudia María Suarez Pargas² <https://orcid.org/0009-0005-4500-9636>

¹ UEB Derivados "Chiquitico Fabregat", Empresa Azucarera "Heriberto Duquesne", Villa Clara, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar (ICIDCA),
Sede Territorial Zona Central, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Enero 8, 2025; Revisado: Enero 15, 2025; Aceptado: Enero 27, 2025

RESUMEN

Introducción:

El sirope invertido que se obtiene en la fábrica ubicada en la Unidad Estatal de Base Derivados Chiquitico Fabregat, a partir de hidrólisis ácida de la sacarosa contenida en el azúcar refino, es un renglón comercializable cuya calidad y, principalmente, el contenido de azúcares reductores necesita ser certificada a través de métodos analíticos adecuados.

Objetivo:

Cuantificar azúcares reductores en los siropes invertidos obtenidos por hidrólisis ácida de la sacarosa contenida en el azúcar refino aplicando el Método de Miller o del ácido 3,5-dinitrosalicílico.

Materiales y Métodos:

Se cuantificaron azúcares reductores por espectrofotometría a partir del Método de Miller o del ácido 3,5-dinitrosalicílico. Se obtuvo la curva de calibración y se realizaron



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Omar Pérez, Email: opnavarro@uclv.cu



determinaciones de contenido de azúcares reductores, conversión de sólidos solubles en reductores, pH y color a 30 muestras de siropes invertidos provenientes del proceso productivo que fueron extraídas entre 2022 y 2023.

Resultados y Discusión:

La conversión de sólidos disueltos en reductores se encuentra entre 86,58 y 99,84 % con distribución normal de los valores obtenidos para todas las variables en análisis. La eficiencia del proceso por vía ácida es ligeramente superior a la reportada a través de hidrólisis enzimática, aunque también resulta mayor el impacto ambiental y a la calidad. El pH de los siropes y su coloración deben ser mejorados a través de la implementación de cambios tecnológicos.

Conclusiones:

El método utilizado permitió obtener una data representativa de valores de azúcares reductores en los siropes invertidos, la cual ofrece mayor información sobre este producto para su posible comercialización y permite cuantificar la eficacia de la etapa de inversión de la sacarosa.

Palabras clave: absorbancia; ácido 3,5-dinitrosalícilico; azúcares reductores; espectrometría.

ABSTRACT

Introduction:

The inverted syrup that is obtained from acid hydrolysis of the sucrose contained in the refined sugar at the factory located at the Unidad Estatal de Base Derivados Chiquitico Fabregat, is a marketable product whose quality and, mainly, the content of reducing sugars needs to be certified through appropriate analytical methods.

Objective:

To quantify reducing sugars in the inverted syrups obtained by acid hydrolysis of the sucrose contained in the refined sugar applying the Miller or the 3,5-dinitrosalicylic acid Method.

Materials and Methods:

Reducing sugars were quantified by spectrophotometry using the Miller or the 3,5-dinitrosalicylic acid Method. The calibration curve was obtained, and determinations of reducing sugar content, conversion of soluble solids in reducers, pH and color were carried out on 30 samples of inverted syrups from the production process that were extracted between 2022 and 2023.

Results and Discussion:

The conversion of dissolved solids into reducers is between 86.58 and 99.84% with normal distribution of the values obtained for all variables in analysis. The efficiency of the acid process is slightly higher than that reported through enzymatic hydrolysis, although with a greater environmental and quality impact. The pH of the syrups and their color must be improved through the implementation of technological changes.

Conclusions:

The method used allowed obtaining representative data on reducing sugar values in inverted syrups that offers more information about this product for its possible

commercialization and, allows, quantifying the effectiveness of the sucrose inversion stage.

Keywords: absorbance; 3,5-dinitrosalicylic acid; reducing sugars; spectrometry.

1. INTRODUCCIÓN

En la UEB Derivados Chiquitico Fabregat, se produce glucosa monohidratada y siropes ricos en fructosa a partir de la hidrólisis ácida de la sacarosa contenida en el azúcar refino de caña. Los siropes en sus diversas variantes: crudo, refinado y saborizado, se procesan en la propia instalación y se comercializan a distintas entidades. Una opción interesante, que ha sido muy poco explotada a nivel nacional, es la comercialización del sirope invertido que se obtiene en la inversión por hidrólisis ácida de la sacarosa.

Un análisis del mercado mundial de jarabes de azúcar invertido refleja que, a pesar de las reservas sobre las posibles afectaciones a la salud humana por el consumo de fructosa (Johnson et al., 2007; Stanhope et al., 2013), se ha producido un crecimiento sustancial en 2023 y se prevé que durante el período 2024-2032 este mercado crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta del 5,10 % (Fortune Business Insights, 2024).

El uso de siropes invertidos es muy común en la repostería (Bennion & Bamford, 2014), destacando que su poder edulcorante es un 30 % superior al del azúcar común, que mantiene la humedad en las masas ayudando a mantener esponjoso durante mucho más tiempo el bizcocho y acelerando la fermentación de las masas, sin alterar el aspecto de las mismas. Por otra parte, al dificultar la cristalización del agua, los siropes invertidos son un ingrediente básico para la producción de helados (Rodríguez, 2013).

Con potenciales clientes muy cerca de la empresa, caracterizar el sirope invertido para su posible comercialización deviene un primer paso imprescindible en la búsqueda de ampliar la cartera de producciones que la Empresa Agroindustrial Azucarera Heriberto Duquesne ofrece. En dicha empresa, se utiliza el método tradicional de lectura polarimétrica para conocer la eficiencia de la etapa de hidrólisis y la composición del sirope invertido resultante. El mismo consiste en la lectura polarimétrica de muestras del sirope invertido y considera que toda la sacarosa presente en la disolución se ha invertido a partir de alcanzar un valor de polarización de -6,00 (Ministerio del Azúcar, 1992).

A diferencia de la sacarosa, tanto la glucosa como la fructosa son azúcares reductores ya que poseen su grupo carbonilo intacto. A través del mismo pueden reaccionar como agentes reductores (Nelson & Cox, 2014). Durante esa reacción ocurre un cambio de coloración, siendo posible determinar la concentración de azúcares reductores en una muestra por métodos espectrométricos. Uno de los métodos más clásicos y conocidos para determinar azúcares reductores es el propuesto por Miller (1959). El mismo utilizó el ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), el cual reacciona con estos reductores produciéndose un cambio en la coloración en la muestra oxidada que va de amarillo a rojizo. La intensidad de dicha coloración depende de la concentración de reductores. Esta se puede determinar aplicando la ley de Lambert-Beer, que establece que la absorbancia se relaciona con las propiedades del analito, su concentración y la longitud del haz de radiación al atravesar la muestra (Swinehart, 1962).

Bello et al. (2006) han reportado la eficacia de este método en la determinación de azúcares reductores totales en jugos mezclados de caña de azúcar. Dicho método ha sido empleado satisfactoriamente para determinar estos azúcares en miel (Silva et al., 2003), en piña (Krueger et al., 1992; Ávila et al., 2012; Burgos, 2020), en otras frutas y vegetales (Blakeney & Mutton, 1980; Gerena, 2013; Cortés et al., 2015) y en jarabes de sacarosa hidrolizada por vía enzimática (Cortés et al., 2019).

Teniendo en cuenta estos referentes, desde hace algunos años en los laboratorios de la Sede Territorial del ICIDCA en Villa Clara se desarrolla una técnica analítica espectrométrica para la determinación de azúcares reductores en azúcar refino a partir del Método de Miller, obteniendo resultados similares a los que ofrece el método establecido en la correspondiente norma cubana (Norma Cubana NC 377, 2022) y con la ventaja de que se trata de un procedimiento analítico mucho menos engorroso, donde se reducen los errores humanos en la determinación del analito y se requiere emplear una menor cantidad de reactivos.

Por todo ello, el presente trabajo tiene como objetivo cuantificar azúcares reductores en los siropes invertidos obtenidos por hidrólisis ácida de la sacarosa contenida en el azúcar refino aplicando el Método de Miller o del ácido 3,5-dinitrosalicílico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como reactivos se utilizan glucosa anhidra (Fluka), ácido 3,5-dinitrosalicílico (Titolchimica), hidróxido de sodio (Merck) y tartrato de sodio y potasio (Panreac).

2.1 Preparación de la disolución de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS)

Se pesan 8,0 g de hidróxido de sodio en un vaso de precipitado de 500 ml, añadir 200 ml de agua destilada y disolver agitando hasta homogenización completa.

Posteriormente, pesar 150 g de tartrato de sodio y potasio, añadir lentamente y con agitación el hidróxido de sodio disuelto previamente y completar el volumen con agua destilada hasta 400 ml. Luego, pesar 5 g de DNS y añadir lentamente la disolución anterior. Finalmente, transferir a un matraz de 500 ml, enrasar, homogeneizar y filtrar. Esta solución se debe proteger de la luz.

2.2 Confección de la curva patrón de glucosa anhidra

Para la confección de la curva patrón se utiliza glucosa anhidra y agua destilada para preparar una solución cuya concentración sea aproximadamente de 10 mg/ml. Con este fin, se pesan en balanza analítica Eternity de la empresa GIBERTINI ELETTRONICA Srl, 4,9992 g de glucosa que se transfieren a un balón de 500 ml, obteniéndose una solución con una concentración de 9,9984 mg/ml de glucosa. Se definen 10 puntos para la obtención de la curva, preparando soluciones cuya concentración varía de 0 a 1,8 mg/ml, diluyendo en 50 ml de agua destilada diferentes cantidades de solución patrón desde 0 a 9 ml (Cortés et al., 2019).

Para el desarrollo de color, de cada uno de los diez balones, se toman 1,0 ml de solución y 1,0 ml del reactivo DNS y se depositan en un tubo de ensayo. Luego se prepara un blanco reactivo con 1,0 ml de agua destilada y 1,0 ml de reactivo DNS. Posteriormente, se introducen los tubos de ensayo con todos los patrones y el blanco reactivo en baño de

agua destilada hirviendo durante 10 minutos, en los que se desarrolla el cambio de coloración de amarillo a un tono rojizo que se hace más pronunciado a medida que aumenta la concentración de glucosa en cada tubo de ensayo. Al concluir esta operación, se enfrían los tubos de ensayo en agua helada. Al finalizar el enfriamiento, se agregan 10,0 ml de agua destilada en cada tubo de ensayo y se homogeniza la solución. Finalmente, se lee la absorbancia en espectrofotómetro Genesys 20 de ThermoScientific utilizando cubetas de 1 cm contra blanco reactivo a una longitud de onda de 540 nm.

Considerando que la ley de Lambert-Beer (Swinehart, 1962) se cumple en todo el intervalo de concentraciones, la curva de calibración se obtiene ajustando los resultados de absorbancia (A) a una línea recta dada por la ecuación (1):

$$A = m \cdot C + b \quad (1)$$

Donde C es la concentración de la solución en mg/ml, m la pendiente de la recta obtenida y b su intercepto. Denotando a F como el factor de dilución empleado, la concentración (R en mg/ml) de reductores presentes en la muestra se calculó, según la ecuación (2), como:

$$R = C \cdot F \quad (2)$$

2.3 Determinación del contenido de azúcares reductores en el sirope invertido

Se toman aleatoriamente treinta muestras correspondientes al mismo número de etapas de inversión ácida, desarrolladas a lo largo de los años 2022 y 2023. En todos los casos, los parámetros operacionales de la hidrólisis están en el rango reportado previamente (Acosta et al., 2023) y se corresponden con temperaturas entre 85 y 90 °C; 0,125 % p/p de ácido fosfórico con 85 % de pureza, cuatro horas de inversión en equipo discontinuo con agitación en cargas de 22 t_{refino}, con concentración de sólidos disueltos inicial entre 74-76 ° Bx refractométrico, alcanzando lectura polarimétrica final de -6,00 o inferior.

Para conseguir la dilución deseada, se pesa en balanza analítica Eternity aproximadamente 0,5 g de muestra del sirope invertido y se transfiere a un matraz de 100 ml que contiene previamente unos 50 ml de agua destilada. Luego se homogeniza y enrasa.

Para determinar la absorbancia de la luz en las muestras de sirope invertido se procede modo similar a lo referido para el desarrollo de color durante la confección de la curva de calibración.

Los resultados se expresan en % p/p de azúcares reductores en el sirope, para una concentración inicial de sólidos disueltos Co (mg/ml), a partir de la ecuación (3), como:

$$\% R = \frac{C}{C_0} \quad (3)$$

La conversión de sacarosa a azúcares reductores como % R-% Bx, se calcula por la ecuación (4), como:

$$\% R - \% Bx = \frac{\% R}{Bx} \cdot 100 \quad (4)$$

A cada muestra se le determina el pH utilizando potenciómetro modelo HI 2221 de Hanna Instruments y el color ICUMSA por método espectrométrico empleando el espectrofotómetro Genesys 20 de ThermoScientific (Ministerio del Azúcar, 1992).

El tratamiento estadístico de los resultados se basa en el análisis de una variable para R, % R, % R-% Bx, pH y color en las muestras de sirope invertido antes referidas. Como

medida de tendencia central y de dispersión de la distribución de los datos se determinan estadígrafos tradicionales. Como tendencia central se utiliza el promedio ($\bar{x}$), como dispersión se calcula la desviación estándar (s) y el coeficiente de variación (CV). Como medida de la forma de la distribución se determina el sesgo estandarizado (z_1), según la ecuación (5), como:

$$z_1 = \left[\frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \right] \left[\frac{1}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \right] \quad (5)$$

También como medida de la forma se calcula la curtosis estandarizada (z_2), según la ecuación (6), como:

$$z_2 = \left[\left(\frac{n(n+1) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \right) - \left(\frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \right) \right] \left[\frac{1}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \right] \quad (6)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Atendiendo a que las lecturas de absorbancia deben estar comprendidas en el rango de la curva de calibración, sin aproximarse a sus extremos, inicialmente se realiza una exploración que permite definir que dicho propósito se alcanza cuando F es del orden de 600. En la figura 1 se muestran los resultados de la determinación de absorbancia y concentración de glucosa en los diez puntos seleccionados y la curva patrón obtenida a partir de la ecuación (1).

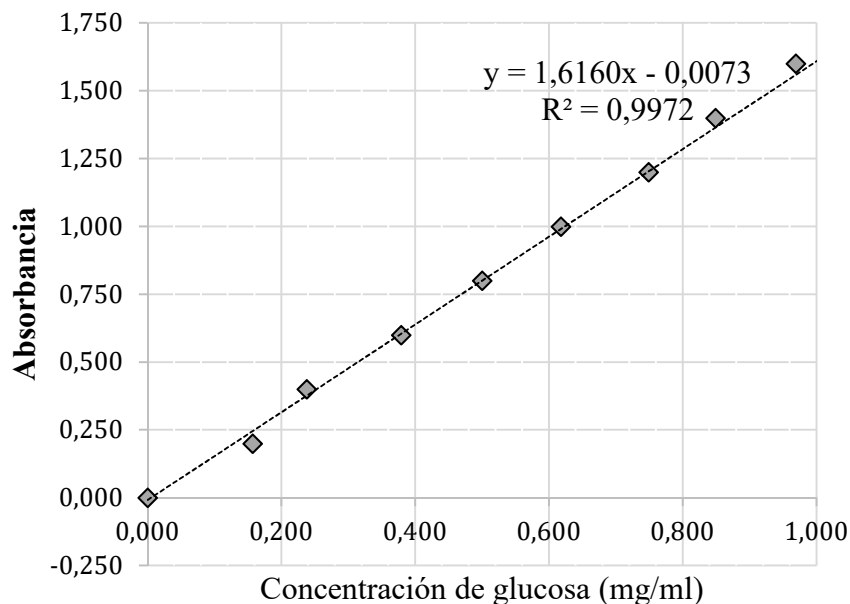


Figura 1. Curva patrón para las lecturas de absorbancia a distintas concentraciones de glucosa a 540 nm

Se logra un adecuado ajuste lineal ($R^2=0,9972$) de los valores de absorbancia y concentración de glucosa. La recta obtenida tiene pendiente 1,6160 e intercepto -0,0073. Con estos valores y la utilización de las ecuaciones (1) a la (4), se determina el

contenido de azúcares reductores en los siropes invertidos que se presentan en la tabla 1, expresados en: concentración, % p/p y % de R - % Bx. Adicionalmente, en la tabla 1 también se muestran los resultados de la determinación de pH y color.

Tabla 1. Resultados de la determinación de los criterios de calidad seleccionados en muestras de siropes invertidos

<i>No muestra</i>	<i>F</i>	<i>% Brix</i>	<i>Densidad (g/ml)</i>	<i>R (mg /ml)</i>	<i>R (% p/p)</i>	<i>% R- % Brix</i>	<i>pH</i>	<i>Color (UCI)</i>
1	602	78,75	1,40357	1,1549	69,56	88,34	2,8	432
2	601	78,30	1,40093	1,1322	68,10	86,97	3,1	376
3	601	77,80	1,39764	1,1773	70,74	90,93	2,7	479
4	599	76,80	1,39108	1,2112	72,53	94,44	2,65	380
5	600	76,30	1,38781	1,1677	70,05	91,80	2,97	435
6	601	76,60	1,38977	1,2273	73,76	96,29	3,12	398
7	599	76,90	1,39173	1,1870	71,07	92,41	2,78	406
8	600	77,30	1,39435	1,2402	74,37	96,21	2,89	387
9	601	78,90	1,40490	1,2677	76,18	96,55	3,17	453
10	599	78,50	1,40225	1,2225	73,20	93,25	3,21	429
11	599	78,40	1,40159	1,2564	75,26	96,00	2,82	416
12	601	76,90	1,39173	1,1854	71,21	92,60	2,97	399
13	600	76,70	1,39042	1,1499	69,01	89,97	2,76	452
14	600	77,30	1,39435	1,1983	71,87	92,98	3,23	378
15	599	77,40	1,39501	1,1193	67,01	86,58	3,05	432
16	601	75,90	1,38521	1,1822	71,07	93,64	2,89	421
17	600	76,40	1,38847	1,2161	72,99	95,54	3,1	410
18	599	77,30	1,39435	1,2886	77,18	99,84	2,78	458
19	599	75,90	1,38521	1,2402	74,30	97,89	3,15	399
20	600	76,70	1,39042	1,1596	69,55	90,68	2,87	456
21	600	78,60	1,40291	1,3080	78,46	99,82	2,98	376
22	600	77,60	1,39632	1,2548	75,35	97,09	3,07	435
23	601	77,20	1,39370	1,2144	73,04	94,61	3,12	427
24	599	78,60	1,40291	1,2338	73,88	93,99	2,96	356
25	600	77,70	1,39698	1,2467	74,77	96,23	3,01	389
26	599	76,40	1,38847	1,1515	69,01	90,33	2,87	437
27	600	75,90	1,38521	1,1838	67,10	88,41	2,98	418
28	601	76,60	1,38977	1,2419	74,68	97,49	3,22	396
29	600	77,50	1,39567	1,1822	70,95	91,54	3,1	421
30	599	77,70	1,39698	1,1338	67,93	87,43	2,75	387

En todos los casos se obtuvo conversión de sólidos disueltos en reductores entre 86,58 y 99,84 % R-% Brix. Estos valores son ligeramente superiores a los reportados para la hidrólisis enzimática con invertasa termoestable β -fructosidasa de *Thermotoga maritima* (BfrA) sumergida y en similares condiciones térmicas (Martínez et al., 2015).

Los resultados obtenidos permiten establecer que, a pesar de las ventajas ambientales y de calidad de la hidrólisis enzimática, la efectividad de la conversión de sacarosa en glucosa y fructosa del proceso ácido aun es una de sus ventajas principales.

En la tabla 2 se muestran los resultados del procesamiento estadístico para los cinco criterios de calidad seleccionados en muestras de siropes invertidos. En ella, el sesgo y la curtosis estandarizados se calculan a través de las ecuaciones (5) y (6) respectivamente.

Tabla 2. Resultados del procesamiento estadístico de una variable para los criterios de calidad seleccionados en muestras de siropes invertidos

<i>Estadígrafo</i>	<i>R (mg /ml)</i>	<i>R (% p/p)</i>	<i>% R- % Brix</i>	<i>pH</i>	<i>Color (UCI)</i>
Promedio	1,20	72,14	93,33	2,97	414,6
Desviación estándar	0,048	3,01	3,70	0,16	29,56
Coefficiente de variación	3,98%	4,17%	3,97%	5,59%	7,13%
Sesgo estandarizado	0,374	0,187	-0,339	-0,347	0,281
Curtosis estandarizada	-0,690	-0,792	-0,876	-1,184	-0,624

El análisis de los resultados de la tabla 2 permite definir que los datos de todos los criterios seleccionados siguen una distribución normal para un nivel de significación del 5 %, con sesgo y curtosis estandarizados dentro del intervalo de -2 a 2 en todos los casos y medidas de la dispersión que responden a un comportamiento simétrico. De acuerdo con lo anterior, los resultados alcanzados caracterizan adecuadamente la calidad de los siropes invertidos y brindan una contribución importante a la certificación de la calidad de los mismos con fines de comercialización pues, no existe hasta el presente una norma cubana para este producto.

Este proceso provoca condiciones drásticas de pH en los siropes invertidos, con un valor promedio de 2,97, y una estabilidad marcada de la coloración fuerte en el rango de $414,6 \pm 29,56$ UCI, generado por la intensidad térmica y ácido-base de dicha etapa. La situación anterior obliga a reducir estos defectos de calidad para la comercialización de estos siropes, implicando el desarrollo de estrategias tecnológicas para su neutralización y purificación a mediano plazo.

Respecto a la eficiencia del proceso, se obtuvo un valor promedio de 72,14 % de reductores en el sirope y 93,33 % R- % Brix, quedando un 6,67 % de sacarosa como promedio que no se convirtió en azúcares reductores. Estos resultados permiten definir que existe una estabilidad en la composición final del sirope invertido y puede predecirse que en cada etapa de hidrólisis ácida se obtendrá en el orden del 90 % de conversión cuando la lectura polarimétrica es igual o inferior a -6,00 y se opera en las condiciones tecnológicas antes reseñadas.

4. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados permiten establecer que:

1. A través de la adaptación del Método de Miller es posible cuantificar de manera efectiva los azúcares reductores presentes en siropes invertidos, parámetro de gran importancia en la caracterización de este producto para su incorporación a la cartera de ofertas de la empresa.
2. La conversión de sacarosa en azúcares reductores utilizando la hidrólisis ácida es ligeramente superior a la reportada para la inversión enzimática; aunque sus impactos ambientales, causados por la utilización de altas concentraciones de ácido fosfórico y a la calidad del sirope invertido, originados por altos niveles de color y de acidez, también son factores a considerar.
3. La técnica analítica reportada permite cuantificar los parámetros de calidad de los siropes invertidos ante diferentes escenarios productivos tanto con inversión ácida como enzimática y ante diferentes condiciones operacionales, garantizando así un aporte importante a los métodos de control analítico aplicados en la empresa hasta el presente.

REFERENCIAS

- Acosta, A., Pérez, O., Cortés, M., & Suárez, C. M. (2023). Concepción tecnológica y análisis comparativo para la operación de hidrólisis ácida o enzimática de la sacarosa. *Centro Azúcar*, 50(3), 1–12. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/765/869
- Ávila, R., Rivas, B., Hernández, R., & Chirinos, M. (2012). Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en *Agave cocui* Trelease. *Multiciencias*, 12(2), 129–135. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90424216002.pdf>
- Bello, D., Carrera, E., & Díaz, Y. (2006). Determinación de azúcares reductores totales en jugos mezclados de caña de azúcar utilizando el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico. *ICIDCA*, 40(2), 45–50. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664006>
- Bennion, E. B., & Bamford, G. S. (2014). *The technology of cake making*. Springer Science & Business Media.
- Blakeney, A. B., & Mutton, L. L. (1980). A simple colorimetric method for the determination of sugars in fruit and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31(9), 889–897. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740310905>
- Burgos, L. J. (2020). Cuantificación de azúcares reductores del sustrato en residuos de piña con el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico. *Revista de Investigación*, 13(1), 58–66. <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/326>
- Cortés, W., Ibla, J., Calderón, L., & Herrera, A. (2015). Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banano. *Revista de Tecnología*, 12(2), 72–76. <https://doi.org/10.18270/rt.v12i2.772>
- Cortés, M. F., Alomá, I. C., Pérez, O., & Leyva, J. (2019). La región óptima para la hidrólisis enzimática en la producción de glucosa. *ICIDCA sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 53(2), 67–78. <https://www.revista.icidca.azcuba.cu/wp-content/uploads/2020/05/articulo-9-1.pdf>
-

- Fortune Business Insights. (2024). *Invert sugar market size, share & industry analysis, by type (fully inverted sugar and partially inverted sugar), by application (food & beverages {bakery & confectionery, dairy, beverages, and others}, pharmaceutical, and personal care), and regional forecast, 2024-2032*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/enquiry/request-sample-pdf/invert-sugar-market-107625>
- Gerena, F. M. (2013). *Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (Citrus sinensis l var valencia) y papa (Solanum tuberosum) variedad Diacol Capiro (R-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/1528>
- Johnson, R. J., Segal, M. S., Sautin, Y., Nakagawa, T., Feig, D. I., Kang, D. H., Gersch, M. S., Benner, S., & Sánchez, L. G. (2007). Potential role of sugar (fructose) in the epidemic of hypertension, obesity and the metabolic syndrome, diabetes, kidney disease, and cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 86(4), 899–906. [https://ajcn.nutrition.org/article/S0002-9165\(23\)13505-2/pdf](https://ajcn.nutrition.org/article/S0002-9165(23)13505-2/pdf)
- Krueger, D., Krueger, R., & Maciel, J. (1992). Composition of pineapple juice. *Journal of AOAC International*, 75(2), 280–282. <https://academic.oup.com/jaoac/article-abstract/75/2/280/5686437>
- Martínez, D., Menéndez, C., Echemendía, F. M., Hernández, L., Sobrino, A., Trujillo, L. E., Rodríguez, I., & Pérez, E. R. (2015). Kinetics of sucrose hydrolysis by immobilized recombinant *Pichia pastoris* cells in a batch reactor. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 7(5), 294–298. <https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/kinetics-of-sucrose-hydrolysis-by-immobilized-recombinant-pichia-pastoris-cells-in-a-batch-reactors-1948-5948-1000228.pdf>
- Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Ministerio del Azúcar. (1992). *Manual de control de la producción de glucosa y sirope rico en fructosa*.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2014). *Lehninger principios de bioquímica* (6a ed.). Ediciones Omega.
- Norma Cubana NC 377. (2022). *Azúcares blancos. Especificaciones. Norma sanitaria aplicable a los azúcares y jarabes destinados al consumo*. https://nconline.disaic.cu/index.php?page=m_home_page.public.home_page&Block=Inicio&Language=none
- Rodríguez, T. (2013). Helados dietéticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23(2), 72–76. <https://revcital.iiaa.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/508/433>
- Silva, R. N., Monteiro, V. N., Alcanfor, J. D., Assis, E. M., & Asquiere, E. R. (2003). Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. *Food Science and Technology (Campinas)*, 23(3), 337–341. <https://www.scielo.br/j/cta/a/fsfZj35NNBsVXkTfHJWrRQG/>

- Stanhope, K. L., Schwarz, J. M., & Havel, P. J. (2013). Adverse metabolic effects of dietary fructose: Results from the recent epidemiological, clinical, and mechanistic studies. *Current Opinion in Lipidology*, 24(3), 198–206. <https://doi.org/10.1097/MOL.0b013e3283613bca>
- Swinehart, D. (1962). The Beer-Lambert law. *Journal of Chemical Education*, 39(7), 333–335. <https://doi.org/10.1021/ed039p333>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Lázaro Andrés García Pérez. Gestión de proyectos, conceptualización, investigación, redacción-primer redacción.
- Dr.C. Omar Pérez Navarro. Conceptualización, redacción-revisión y edición.
- Lic. Richard Moya Olivera. Investigación, recursos, metodología.
- Ing. Ernesto Suarez Bolaños. Investigación, redacción-primer redacción.
- Ing. Claudia María Suarez Pargas. Investigación, redacción-primer redacción.