



Año 14, número 34, noviembre 2018-febrero 2019, pp. 39-43

ISSN: 2007-1760 (impreso), 2448-9026 (digital)

DOI: 10.30973/inventio/2018.14.34/5

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Aprovechamiento de bagazo de caña de azúcar para obtención de furfural

Leticia Bautista Montes / lebautista@uat.edu.mx

Profesora-investigadora, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán (UAMRA), Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

Octelina Castillo Ruiz / ORCID: 0000-0001-9566-3584 / ocastillo@uat.edu.mx

Profesora-investigadora, UAMRA, UAT

Rosa Isael Acosta González / racosta@uat.edu.mx

Profesora-investigadora, UAMRA, UAT

Efrén Garza Cano / efreng@uat.edu.mx

Profesor-investigador, UAMRA, UAT

Guadalupe Concepción Rodríguez Castillejos / ORCID: 0000-0003-0205-9340 / grc_conny@hotmail.com

Profesora-investigadora, UAMRA, UAT

RESUMEN

El cultivo de caña de azúcar en México sirve para la obtención de sacarosa. En este proceso se obtienen subproductos como el bagazo. Diversos factores han hecho necesario reactivar la obtención de estos productos para beneficio de la agroindustria y el sector cañero. El propósito de este trabajo fue la obtención y evaluación del furfural presente en el bagazo de caña de azúcar de las variedades MEX-69290, ATEMEX-9640 y CP-722086, para elegir la de mayor producción y obtener derivados. Se realizó una hidrólisis ácida con ácido sulfúrico (20%) a temperatura ambiente durante ocho días; se obtuvo una concentración de furfural de 23 g/L para las primeras dos variedades, mientras que la tercera no tuvo una conversión eficiente. Se concluye que las dos primeras son las variedades más recomendables para la producción de furfural, que permitirán darle un valor agregado a la cadena de producción de caña de azúcar en el estado de Veracruz, México.

PALABRAS CLAVE

caña; subproducto de cosecha; valor agregado; Veracruz

Aprovechamiento de bagazo de caña de azúcar para obtención de furfural

Leticia Bautista Montes *
 Octelina Castillo Ruiz *
 Rosa Issel Acosta González *
 Efrén Garza Cano *
 Guadalupe Concepción Rodríguez Castillejos *



En México una actividad importante es la agricultura, dentro de ésta se encuentra el maíz principal cultivo para consumo humano, seguido por la caña de azúcar (*Saccharum spp*); esta gramínea se produce en más de 130 países, siendo Brasil el primer productor mundial con el 30%, seguido de la India con el 21%, China con el 7.5%, mientras que México ocupa el sexto lugar con el 3.5%.¹

Aunque es poca la producción, la industria azucarera tiene gran relevancia económica y social en México y se desarrolla en 227 municipios pertenecientes a 12 estados (Jalisco, Michoacán, Morelos, Puebla, Tamaulipas, San Luis Potosí, Tabasco, Oaxaca, Veracruz, Campeche, Chiapas y Quintana Roo); siendo el estado de Veracruz el principal productor con un 40.7% de la superficie cosechada.²

Sentíes-Herrera et al., reportan que las variedades mexicanas sobresalientes son: Mex-69-290, Mex-79-431, ITV-92-1424, Mex-68-P-23, Mex-57-473, ATEMEX-96-40, Mex-69-749, Mex-68-1345, Mex-55-32, Mex-73-1240 y Mex-80-1410,³ en tanto que las extranjeras de mayor importancia son: CP-72-2086, RD-75-11, My-55-14, NCo-310, SP-70-1284, Co-997, L-60-14 y CP-44-101.⁴

Durante cada zafra se producen grandes cantidades de bagazo derivado de la obtención de jugo de la caña, se estima que se genera de 0.1 a 0.15 ton (peso seco) por cada ton de caña de azúcar procesada y que la mitad de este residuo no es aprovechado generando contaminación.⁵ El bagazo de caña está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina;⁶ por ello, puede ser aprovechado para la producción de diversos

¹ Héctor Emmanuel Sentíes-Herrera, Fernando Carlos Gómez-Merino y Roberto Loyo-Joachin, "El mejoramiento genético de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en México: una historia de éxito con nuevos desafíos", *Agroproductividad*, año 9, vol. 9, núm. 7, julio 2016, pp. 8-13, <https://bit.ly/2zYUvKZ>; Aída Selene Hernández-Cázares, "La agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en México", *Agroproductividad*, vol. 7, núm. 2, 2014, pp. 35-41, <https://bit.ly/2QPnwSF>

² Sagarpa, <http://www.sagarpa.gob.mx/>; Héctor Emmanuel Sentíes-Herrera, Fernando Carlos Gómez-Merino, Apolonio Váldez-Balero, Hilda Victoria Silva-Rojas y Libia Iris Trejo-Téllez, "The agro-industrial sugarcane system in México: current tatus, challenges and opportunities", *Journal of Agricultural Science*, vol. 6, núm. 4, 2014, pp. 26-55, DOI: 10.5539/jas.v6n4p26; Noé Aguilar-Rivera, Jorge Alejandro-Rosas y Rubén Espinosa-López, "Evaluación emergy y LCA en la agroindustria azucarera de Veracruz, México", *Cultivos Tropicales*, vol. 36, núm. 4, 2015, pp. 144-157, <http://ref.scielo.org/94ntt7>

³ Héctor Emmanuel Sentíes-Herrera et al., "El mejoramiento genético...", *op. cit.*

⁴ Nuevas variedades de caña de azúcar, Conadesuca/Sagarpa/UACH, Ciudad de México, 2016, <https://bit.ly/2Qt2NVJ>

⁵ J. S. Feria, R. R. Villalobos, J. S. Muñoz y E. F. Huicoche, "Composición del bagazo de caña por análisis termo gravimétrico", *Memorias CIM*, 24 y 25 de octubre de 2013, pp. 54-58, <https://bit.ly/2QJ2yB3>

⁶ E. M. Manals-Cutiño, M. Penedo-Medina y D. Salas-Tort, "Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal", *Tecnología Química*, núm. 35, 2015, pp. 244-255, <https://bit.ly/2ROxUup>

* Profesor-investigador, Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán (UAMRA), Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)



compuestos de interés industrial, dentro de los que destaca el furfural.

El primer registro de producción industrial de este compuesto se tiene en 1921, la empresa Quaker Oats, utilizó cáscara de avena, mazorcas de maíz y bagazo de caña de azúcar.⁷ Otros autores mencionan la obtención de furfural a partir de residuos como mazorca de maíz, cáscara de avena, cáscara de semilla de girasol, cáscara de arroz, cáscara de almendras, bagazo de caña; así como de madera de eucalipto, arce, abedul, entre otros.⁸

El furfural es un potencial precursor en la síntesis de biocombustibles y otras sustancias de interés industrial.⁹ La biomasa lignocelulósica de los residuos agrícolas y forestales, representa el carbohidrato más abundante en la naturaleza. Por ello es la materia prima ideal para la obtención de este compuesto de interés para la industria mediante la conversión de sus monosacáridos.¹⁰ Entre los azúcares más abundantes que forman la lignocelulosa se encuentra la xilosa, una pentosa de cinco carbonos que puede ser convertida a diferentes compuestos mediante hidrólisis ácida.¹¹

El furfural es un compuesto orgánico que se emplea como solvente o como agente de extracción; además, puede ser convertido por un proceso de hidrogenación a diversos productos como alcohol furfurílico, 2-metilfurano y tetrahidrofurano. Estos compuestos son utilizados en la industria farmacéutica y textil como solventes, entre otros usos.¹²

En la India realizaron un estudio a partir de bagazo de caña de azúcar de las variedades CoJ85 y CoJ88 para obtener furfural por medio de hidrólisis ácidas con ácido acético, ácido fórmico, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, los autores mencionan que el H₂SO₄ al 2% produjo una concentración máxima de furfural; posteriormente evaluaron la conversión a alcohol furfurílico.¹³ Algunos autores proponen otros métodos independientemente del procedimiento de hidrólisis ácida, como la deshidratación de xilosa a furfural utilizando diferentes poros de silicoaluminofosfato como catalizador, o bien, una mezcla de solvente orgánico y ácido como el ácido sulfúrico tolueno y utilizando sales catalizadoras de la reacción.¹⁴

⁷ Charles M. Cai, Taiying Zhang, Rajeev Kumar y Charles E. Wyman, "Integrated furfural production as a renewable fuel and chemical platform from lignocellulosic biomass", *Journal of Chemical Biology and Biotechnology*, vol. 89, núm. 1, 2014, pp. 2-10, DOI: 10.1002/jctb.4168

⁸ *Idem*.

⁹ Héctor Emmanuel Senties-Herrera *et al.*, "El mejoramiento genético...", *op. cit.*

¹⁰ Aída Selene Hernández-Cázares, "La agroindustria...", *op. cit.*; Sagarpa, <http://www.sagarpa.gob.mx/>

¹¹ Héctor Emmanuel Senties-Herrera *et al.*, "The agro-industrial...", *op. cit.*

¹² Susana Peleteiro, Valentín Santos y Juan C. Parajó, "Furfural production in biphasic media using an acidic ionic liquid as a catalyst", *Carbohydrate Polymers*, vol. 153, 2016, pp. 421-428, DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.07.093; Hugo Alfonso Rojas, Gloria Borda Guerra, Julie Joseane Murcia y Patricio Reyes Nuñez, "Obtención de alcohol furfurílico a partir de furfural sobre catalizadores de platino soportado", *Scientia et Technica*, núm. 36, 2007, pp. 653-657.

¹³ S. K. Uppal, R. Gupta, R. S. Dhillon y S. Bhatia, "Potential of sugarcane bagasse for production of furfural and its derivatives", *Sugar Technology*, vol. 10, núm. 4, 2008, pp. 298-301, DOI: 10.1007/s12355-008-0053-6

¹⁴ Sérgio Lima, Auguste Fernandes Margarida M. Antunes, Martyn Pillinger, Filipa Riveiro y Anabella A. Valente, "Dehydration of xylose into furfural in the presence of crystalline Microporous silico aluminophosphates", *Springer Catalysis Letter*, vol. 135, núms. 1-2, 2010, pp. 41-47, DOI: 10.1007/s10562-010-0259-6; Chunguang Rong, Xuefeng Ding, Yanchao Zhu, Ying Li, Lili Wang, Yuning Qu, Xiaoyu Ma y Zichen Wang, "Production of furfural from xylose at atmospheric pressure by dilute sulfuric acid and inorganic salts", *Carbohydrate Research*, vol. 350, 2012, pp. 77-80, DOI: 10.1016/j.carres.2011.11.023

Por ello, se recurre a la investigación con las variedades de caña de azúcar de la región Golfo (Veracruz); las variedades son Mex-69290, ATEMEX-9640 y CP-722086, ya que el objetivo principal es la obtención de furfural y evaluar su concentración en cada una de ellas, mediante hidrólisis ácida y recomendar la mejor variedad, dadas las múltiples aplicaciones del furfural y de sus derivados, las dos primeras son mexicanas y la última es extranjera, la agroindustria veracruzana participa con un 37.5% de la producción nacional de azúcar.¹⁵

Método

La caña de azúcar fue obtenida del campo experimental del Fideicomiso Ingenio San Miguelito ubicado en la ciudad de Córdoba, Veracruz. Se utilizaron tres variedades de bagazo de caña de azúcar (MEX-69290, ATEMEX-9640 y CP-722086), todas cosechadas con 10 meses de edad respectivamente. El jugo de caña se extrajo mediante el motor eléctrico de 5hp trifásico del campo experimental del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), de esta forma se obtuvo el bagazo de ambas variedades.

La técnica de obtención del furfural está basada en técnicas de química heterocíclica,¹⁶ se utilizó una estufa a 80 °C para secar el bagazo de caña y enseguida se molió el bagazo seco en una licuadora industrial. Para la hidrólisis se utilizó 25 g de cada harina y se sometieron a hidrólisis ácida con

200 ml de ácido sulfúrico al 20% (v/v), se dejaron en maceración durante ocho días; posteriormente, se sometieron a un sistema de reflujo y el líquido obtenido se neutralizó con carbonato de sodio hasta pH de 7.

La extracción del furfural se realizó con 15 ml de cloruro de metileno, observándose la separación de la fase aceitosa de la líquida y finalmente se concentró este aceite por rota evaporación. Para corroborar la obtención del furfural de ambas variedades se hizo la prueba de Molisch; la cuantificación se realizó en el espectrofotómetro, a una longitud de onda de 278 nm con un estándar de furfural (marca Fisher Científico número de serie o catálogo).

Resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos del espectrofotómetro UV 1800 demostrando una mayor cantidad de furfural presente en la variedad ATEMEX-9640, aunque sin diferencia significativa ($p > 0.05$) con la variedad MEX-69290; pero sí con la CP-722086, la cual presenta la menor concentración.

Discusión

Los ácidos son el tratamiento más utilizado para la hidrólisis de material lignocelulósico debido al bajo costo; éstos rompen la celulosa y hemicelulosa en monosacáridos como xilosa, glucosa y arabinosa principalmente, y puede llegar hasta furfural y áci-

¹⁵ J. S. Fera et al., "Composición del bagazo...", *op. cit.*

¹⁶ Benito Rizo Zúñiga, María del Socorro Camargo Sánchez, Teresa Jaens Contreras, Efrén V. García Báez e Itzia I. Padilla Martínez, *Manual de prácticas para el curso de química heterocíclica*, IPN, Ciudad de México, 2009, pp. 9-12, <https://bit.ly/2RtFII7>

Tabla 1
Concentración de furfural obtenida

Variedad	Furfural (g/L)
MEX-69290	23.15 ^a
ATEMEX-9640	23.34 ^a
CP-722086	1.209 ^b

^{a,b} Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Se muestra el promedio de tres repeticiones.

do acético dependiendo de las condiciones; dentro de éstos, el ácido sulfúrico y clorhídrico son los más utilizados;¹⁷ el furfural es producto de la degradación de las pentosas durante la hidrólisis ácida.¹⁸

El furfural es considerado como una molécula plataforma con numerosas aplicaciones en la hoy denominada biorrefinería lignocelulósica, ya que el agotamiento de las fuentes de energía a partir de fósiles es inevitable, y el creciente volumen de las producciones agrícolas ha ido a la baja. Por eso los químicos han empezado a aprovechar los subproductos agrícolas en la industria en vez de los de origen fósil. En este estudio se observa que la variedad ATEMEX-9640 presenta mayor cantidad de furfural en comparación de la variedad MEX-69209, en base a los estudios antes realizados, sólo se

cuantificaba furfural en caña de azúcar sin especificar qué tipo de variedad es.

La metodología utilizada en este trabajo fue con ácido sulfúrico al 20% y nos demuestra la conversión de los azúcares a furfural, que servirá para la obtención de diferentes productos entre ellos la producción de resinas utilizadas para la industria de la construcción y de los plásticos.

Riansa y Prasertsan estudiaron la producción de furfural a partir de fibra de palma delignificada, realizaron un tratamiento de la materia prima con ácido sulfúrico en una relación sólido-líquido 1/10, temperaturas de 100 a 150 °C y tiempo de reacción de 30 a 120 minutos.¹⁹ Encontraron que la máxima concentración de furfural fue de 8.67 g/L utilizando 90 minutos de reacción a 140 °C.

Vázquez et al., realizaron un tratamiento de hidrólisis utilizando paja de sorgo rojo y H_3PO_4 en tres diferentes concentraciones (2, 4 y 6%) a 134 °C por 300 minutos; resultando en tres diferentes concentraciones máximas de furfural, siendo éstas 7.4 g/L (2%), 11.4 g/L (4%) y la más alta 13.7 g/L (6%).²⁰ Concluyeron que el H_3PO_4 no es un buen catalizador cuando el objetivo es la producción de xilosa, pero sí idóneo para la obtención de furfural; también se menciona que la paja de sorgo es ideal para la producción de furfural debido a su alto contenido en

¹⁷ Pattana Laopaiboon, Arthit Thani, Vichean Leelavatcharamas y Lakkana Laopaiboon, "Acid hydrolysis of sugarcane bagasse for lactic acid production", *Bioresource Technology*, vol. 101, núm. 3, 2010, pp. 1036-1043, DOI: 10.1016/j.biortech.2009.08.091

¹⁸ Antonio Rodríguez-Chong, José Alberto Ramírez, Gil Garrote y Manuel Vázquez, "Hydrolysis of sugar cane bagasse using nitric acid: a kinetic assessment", *Journal of Food Engineering*, vol. 61, núm. 2, 2014, pp. 143-152, 10.1016/S0260-8774(03)00080-3

¹⁹ Wiboon Riansa-ngawong y Poonsuk Prasertsan, "Optimization of furfural production from hemicellulose extracted from delignified palm pressed fiber using a two-stage process", *Carbohydrate Research*, vol. 346, núm. 1, 2010, pp. 103-110, 10.1016/j.carres.2010.10.009

²⁰ Manuel Vázquez, Martha Oliva, Simon J. Téllez-Luis y José A. Ramírez, "Hydrolysis of sorghum straw using phosphoric acid: evaluation of furfural production", *Bioresource Technology*, vol. 98, núm. 16, 2007, pp. 3053-3060, 10.1016/j.biortech.2006.10.017

pentosano (24%), el cual es un factor importante para que el proceso sea viable a nivel industrial.

En teoría, los materiales lignocelulósicos contienen de 18 a 20% de pentosano, un alto porcentaje que puede degradarse a furfural y otros compuestos. Además de estos ácidos se han empleado ácidos orgánicos para la conversión de hemicelulosa; por ejemplo, Mao et al. estudiaron la hidrólisis de mazorcas de maíz con ácido acético agregando FeCl_3 como catalizador. Encontraron que la mayor conversión a furfural (67.89%) se obtuvo con 180 °C, 3% de ácido acético y 20 mM de FeCl_3 ; reportaron además que este tratamiento fue eficaz para la remoción de lignina.²¹

También se ha evaluado el uso de ácido nítrico, en un estudio realizado con residuos de maíz (hojas, tallo, cáscara) se encontró un máximo de 0.21 g/L de furfural con 0.6% de HNO_3 a 150 °C por un minuto.²² Sin embargo, el objetivo del anterior estudio era optimizar la obtención de azúcares, por ello se utilizó un corto tiempo de reacción.

Moreira et al., reportaron la obtención con otros materiales como mazorca del maíz, madera de eucalipto y del mismo bagazo de caña de azúcar; demostrando que el bagazo queda en segundo lugar para obtener furfural.²³

Conclusiones

La finalidad de este estudio fue demostrar que las variedades que se cultivan en la zona de Córdoba, Veracruz, tienen gran potencial para su transformación a furfural, esto se demuestra mediante los resultados experimentales de las variedades ATEMEX-9640 y MEX-69290 inducidas a hidrólisis ácida con ácido sulfúrico al 20%, a una temperatura no mayor de 130 °C, y monitoreadas mediante espectrofotometría UV-vis, observando que la que presenta mayor rendimiento de furfural es la variedad ATEMEX-9640. Por ello se elige esta variedad como la mejor opción para el uso de su bagazo y su transformación a furfural, quedando en segundo término la variedad MEX-69290.

²¹ Liaoyuan Mao, Lei Zhang, Ningbo Gao y Aimin Li, "FeCl₃ and acetic acid co-catalyzed hydrolysis of corncob for improving furfural production and lignin removal from residue", *Bioresource Technology*, vol. 123, 2012, pp. 324-331, 10.1016/j.biortech.2012.07.058

²² Xiao Zhang, Maobing Tu y Michael G. Paice, "Routes to potential bioproducts from lignocellulosic biomass lignin and hemicellulosic", *BioEnergy Research*, vol. 4, 2011, pp. 246-257, 10.1007/s12155-011-9147-1

²³ Bianca Moreira Barbosa, Jorge Luis Colodette, Dalton Longue Júnior, Fernando José Borges Gomes y Daniela Correia Martino, "Preliminary studies on furfural production from lignocellulosics", *Journal of Wood Chemistry and Technology*, vol. 34, 2014, pp. 178-190, 10.1080/02773813.2013.844167