

OBTENCIÓN DE CARBOHIDRATOS FERMENTABLES A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE LA NIXTAMALIZACIÓN

Uri Valenzuela Vázquez^a, Víctor Contreras Jáquez^b, Rosa María Camacho Ruíz^a, Ali Jesús Asaff Torres^b, Juan Carlos Mateos Díaz^a, Melchor Arellano Plaza^a

^a Biotecnología Industrial, Unidad Zapopan, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. Camino al Arenero 1227 Colonia El Bajío, Zapopan, Jalisco, C.P. 45019. México.

Correo electrónico del autor de contacto: marellano@ciatej.mx

^b Laboratorio de Biotecnología Industrial, Coordinación de ciencia de los Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Km. 0.6 Carretera a la Victoria, Hermosillo Sonora, C.P. 83304, México.

Resumen

Los efluentes de la industria de la nixtamalización (nejayote) son considerados altamente contaminantes, por lo que es urgente enfrentar esta problemática que pone en riesgo la actividad de las empresas del rubro. Una solución es el tratamiento de estas aguas por un proceso de ultrafiltración con membranas, de manera que sea posible la obtención de carbohidratos fermentables y la recuperación de agua en el proceso. En este trabajo se eliminaron los sólidos suspendidos del nejayote por floculación y se procesó el nejayote por un sistema de filtración tangencial por una membrana de 5kDa, en la que se logró recuperar el 77% de los carbohidratos iniciales en la fracción de rechazo y se disminuyó la cantidad de sólidos totales en la fracción del permeado, además de que se recuperó el 16% del volumen tratado como agua por ósmosis inversa.

Introducción

Debido al incremento de la población mundial, la demanda de energía incrementa en todo el mundo. Actualmente, la principal fuente de energía utilizada son los combustibles fósiles y fuentes no renovables como el gas natural y carbón. A causa del consumo excesivo y explotación de estos recursos no renovables, nos enfrentaremos eventualmente a un agotamiento de las reservas de petróleo [1]. Además, su consumo genera enormes cantidades de gases contaminantes que son liberados a la atmósfera. Este tipo de contaminación ha causado cambios en el clima del planeta, por lo que se ha convertido en una de las problemáticas que más preocupan a los gobiernos, las ONG, las comunidades y la opinión pública en general. La única forma de hacer frente a esta problemática es mediante recursos energéticos renovables como el bioetanol [2].

La selección de sustratos alternativos para la fermentación etílica debe enfocarse al área de producción y es por ello que se deben profundizar los estudios particulares, en lo que respecta a la reutilización de materiales descartados, de modo de fomentar la producción de biocombustibles de segunda generación. De este modo no se interfiere sobre los materiales disponibles para la alimentación humana ni animal, al tiempo que se colabora con un desarrollo sustentable [3].

Uno de estos materiales descartados son los efluentes de la industria de la nixtamalización. La nixtamalización es un proceso alcalino de cocción de granos de maíz desarrollado por los antiguos pueblos indígenas de América. En el proceso tradicional, el maíz se hierva en una proporción de 1:3 (peso volumen) añadiendo del 1 al 3% de hidróxido de calcio, alcanzando un pH de 11 a 13. Después del periodo de ebullición, se deja reposar el maíz de 10 a 14 horas. La nixtamalización degrada y solubiliza componentes de la pared celular del grano de maíz, facilitando la remoción del pericarpio. De la fase de lavado del maíz nixtamalizado se obtiene el nejayote [4].

Durante este proceso se logra la biodisponibilidad de vitaminas, proteínas y aminoácidos tales como: la lisina, gluteínas, triptófano y niacina en el grano de maíz, mientras que en el nejayote se solubilizan

minerales, grasas globulinas y albuminas y más de 60% de polisacáridos no amiláceos, principalmente arabinosilanos ferulados [5].

En México se vierten entre 16 a 22 millones de metros cúbicos al año de aguas de desecho conocidas como nejayote generalmente sin tratamiento alguno, por lo que se han convertido en un tema de preocupación ambiental en la sociedad en general. Este efluente es considerado altamente contaminante debido sus valores altos de demanda bioquímica de oxígeno (1419 ± 309 mg/L), sólidos suspendidos totales (8342 ± 25 mg/L), demanda química de oxígeno (40058 ± 82 mg/L), y alcalinidad total (5768 ± 0.5 mg/L CaCO_3), mientras que las normativas ambientales señalan un límite máximo para estos parámetros del orden de los 200 mg/L [6]. Un pH y contenido de iones calcio elevados, gran cantidad de material en suspensión y la presencia de compuestos fenólicos inhibidores del crecimiento microbiano son algunos de los inconvenientes para su tratamiento [7].

Hasta la fecha se han probado sin éxito diversas alternativas para evitar la contaminación por descarga de nejayote, como la generación de tecnologías alternas a la nixtamalización tradicional, así como la reutilización de del nejayote en el proceso y el tratamiento anaeróbico y aeróbico de las aguas. Es por esto que resulta urgente generar alternativas que permitan enfrentar esta problemática que pone en riesgo la actividad de las empresas del rubro. Tampoco existen muchos estudios que contemplen la posibilidad de obtener químicos de interés comercial a partir del nejayote a través de su fermentación con microorganismos específicos. [7] [8].

Actualmente, nuestro grupo de trabajo, que involucra a investigadores del CIAD y CIATEJ han logrado desarrollar a nivel de laboratorio un proceso novedoso y efectivo que permite la remoción total de los sólidos suspendidos en el nejayote. La importancia de una remoción total de los sólidos en suspensión radica en el hecho de que únicamente bajo esas circunstancias es posible aplicar tecnologías de membranas, las cuales son de las pocas opciones que permitirían el reúso del agua en la nixtamalización al tratarse de un proceso para la producción de alimentos.

Se ha observado que, al pasar el nejayote libre de sólidos en suspensión, a través de membranas, el 80% del influente logra atravesarla y el producto resultante (permeado) es agua con un bajo contenido de material en solución que puede ser reutilizada nuevamente en el proceso de nixtamalización. El restante 20% del influente conforma la fracción líquida de rechazo con un contenido de sólidos en solución entre cuatro y cinco veces mayor al contenido del influente. Los sólidos en solución contenidos se forman mayormente por carbohidratos fermentables que pueden ser empleados como sustrato para diferentes procesos biotecnológicos, por ejemplo, para la producción de bioetanol de segunda generación. Gracias a las características de novedad, inventiva y potencial de aplicación industrial de los procesos que se han desarrollado, se han solicitado las patentes correspondientes [10].

El desarrollo de tecnología para el tratamiento del nejayote por este grupo de trabajo tiene un enfoque holístico que propone la creación de una cadena de valor de los efluentes del nixtamal, donde el agua es considerada uno de los productos de dicha cadena. A través de los procesos desarrollados es posible también recuperar o purificar otros componentes, como compuestos fenólicos y carbohidratos fermentables, que son los principales causantes de las elevadas demandas químicas o bioquímicas del nejayote. Esos productos pueden ser comercializados o empleados en la producción de biocombustibles. Así estos efluentes, calificados usualmente como muy contaminantes, se puede considerar como materia prima para la obtención de compuestos de alto valor útiles para la industria cosmética, alimenticia y farmacéutica o para el desarrollo de procesos biotecnológicos [9] [10].

Metodología

Pretratamiento y separación de los sólidos suspendidos

El nejayote se obtuvo de una tortillería local y se procesó en lotes de 120 litros en una marmita. Se ajustó el pH a 7 con H_2SO_4 para realizar una hidrólisis enzimática utilizando $150 \mu\text{l/L}$ de amilasa por 15 minutos a 70°C . Después se agregó una arcilla tipo esmectita como floculante y se dejó sedimentar para obtener la pasta de nejayote.

Ultrafiltración

Se clarificó el sobrenadante por un filtro de 1 micra de polipropileno para después procesar el nejayote en un sistema de filtración tangencial con una membrana de polietersulfona de 5kDa a una presión constante de 100 psia, un flujo de entrada de 2 L/min y con recirculación de la corriente de rechazo. Se obtuvieron dos fracciones en este proceso: el rechazo de la membrana de 5kDa y el permeado.

Ósmosis inversa (OI)

Posteriormente el permeado de la membrana de 5kDa fue procesado en una membrana de ósmosis inversa de poliamida aromática a una presión constante de 50 psia y un flujo de alimentación de 2.4 L/min con recirculación de la corriente de rechazo. De igual manera se obtuvieron dos fracciones: agua en la corriente de permeado y el rechazo de OI (permeado de la membrana de 5kDa concentrado por OI).

Técnicas analíticas

La pasta de nejayote obtenida se caracterizó por el método de Foster [11] para determinar su contenido de carbohidratos y a las fracciones de la filtración se le determinaron sólidos totales por peso seco, arabinosidos por precipitación con etanol [12] y azúcares reductores con la técnica de Miller [13].

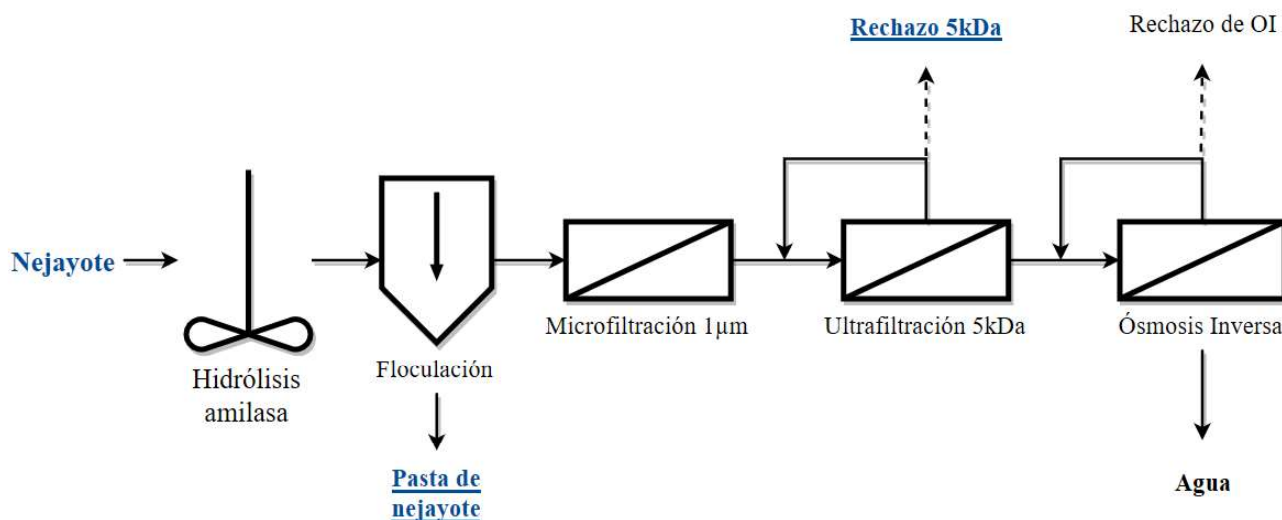


Figura 1. Proceso para el tratamiento del nejayote y obtención de carbohidratos.

Resultados

Pretratamiento y separación de los sólidos suspendidos

El proceso de neutralización e hidrólisis enzimática de los gránulos de almidón y floculación se realizó por triplicado en lotes de 120 L. La pasta de nejayote obtenida en la floculación fue prensada para eliminar el exceso de agua, obteniendo 4.5 Kg de pasta con un 78% de humedad (figura 2B). La caracterización de la pasta mostró un contenido de 56% de polisacáridos (almidón, celulosa y hemicelulosa) en base seca, siendo el restante principalmente lignina (figura 3).



Figura 2. Fracciones de nejayote del proceso. A) Nejayote inicial, B) Pasta de nejayote, C) Rechazo de la membrana de 5kDa.

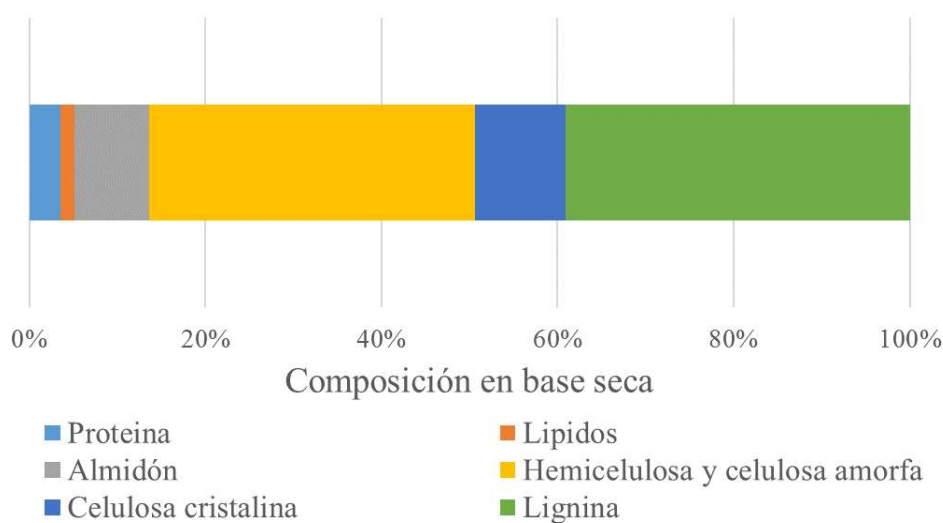


Figura 3. Caracterización de la pasta de nejayote por el método de Foster.

Ultrafiltración

Para asegurar que el nejayote a filtrar quede libre de sólidos en suspensión, la fracción soluble del nejayote fue filtrada a través de membranas de $1\mu\text{m}$ antes de llevarlos a ultrafiltración. De 50 L de nejayote clarificado que se procesaron por el sistema de filtración en la membrana de 5kDa, se obtuvieron en promedio 22 L de la fracción de rechazo que contenía los carbohidratos concentrados, principalmente arabinosilanos (figura 4).

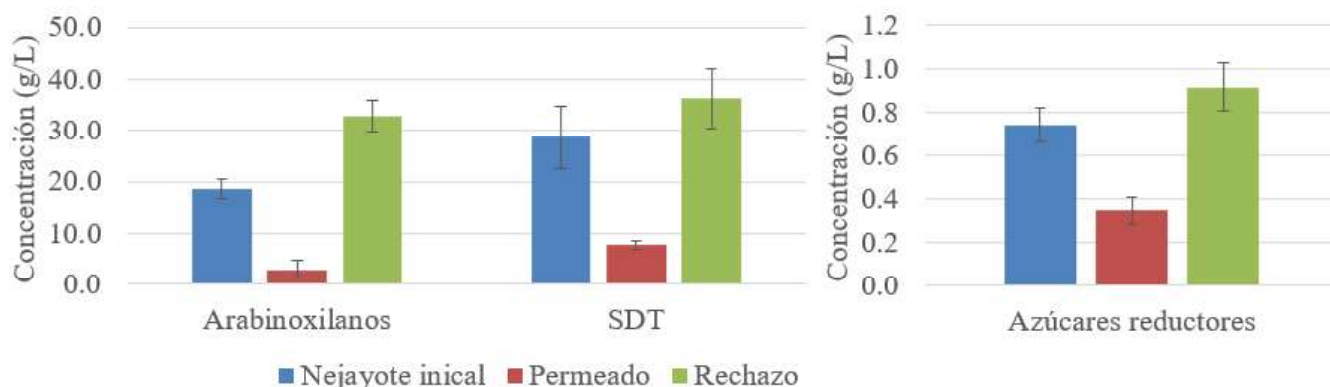


Figura 4. Caracterización de las fracciones de nejayote (Nejayote inicial, Permeado concentrado por OI y Rechazo de la membrana de 5kDa).

Considerando el volumen inicial (50 L) y el volumen del rechazo (22 L), con este proceso se recuperó en la fracción de rechazo el 77% de arabinosilanos presentes en el nejayote inicial, del mismo modo que se recuperan gran parte de los azúcares reductores en el rechazo. Estos resultados concuerdan con lo que se reporta la patente de Asaff [10].

Ósmosis inversa

En cuanto a la filtración por ósmosis inversa del permeado de la membrana de 5kDa, se logró recuperar un 16% del volumen de nejayote inicial como agua. La fracción residual (Permeado concentrado por OI) restante presenta considerablemente una menor cantidad de sólidos totales (figura 4), reduciendo su carga contaminante, además de que es posible su utilización para la obtención de otros productos de interés industrial como los compuestos fenólicos.

Conclusiones

La implementación de un proceso integral de filtración por membranas como el evaluado en este trabajo, permite el tratamiento efectivo de un efluente altamente contaminante mediante la separación y concentración de sus fracciones ricas en carbohidratos que pueden ser empleadas como materia prima para distintos bioprocesos como la obtención de bioetanol. Además de que en el proceso es posible reducir la carga contaminante de la fracción permeada resultante, cabe destacar que se puede recuperar un porcentaje de agua del efluente en la filtración por ósmosis inversa.

Referencias

1. Gupta, A. & Verma, J. P. "Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review", *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol. 41, p. 550–567, 2015.
2. Sánchez, Ó. J. & Cardona, C. A. "Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas", *Interciencia*, Vol. 30, p. 671–678, 2005.
3. Aimaretti, N. et al. "Revalorización de descartes agroindustriales para la obtención de bioetanol", *Invenio*, Vol. 15, No. 28, p. 141-157, 2012.
4. Acero Godinez, M. G. "Uso Del Cerdo Como Modelo Biológico Para Evaluar a Calidad De La Tortilla Por Dos Procesos De Nixtamalización Y La Fortificación Con Vitaminas Y Pasta De Soya", *Universidad de Colima*, 2000.

5. Niño-Medina, G. et al. "Maize processing waste water arabinoxylans: Gelling capability and cross-linking content", *Food Chem.* Vol. 115, p. 1286–1290, 2009.
6. Valderrama-Bravo, C. et al. "Changes in chemical, viscoelastic, and textural properties of nixtamalized dough with nejayote", *LWT - Food Sci. Technol.*, Vol. 61, p. 496–502, 2015.
7. Asaff, A. "Transformando riesgos en oportunidades: del nejayote a la vainillina", *Ciencia, Tecnología e Innovación Para el Desarrollo de México*, No. 60, 2010.
8. Domínguez Espinosa, R. & Pacho Carrillo, D. "Efluentes de la industrialización del maíz: ¿contaminante o recurso valioso?", *Rev. la Univ. Autónoma Yucatán*, p. 54–63, 2003.
9. Reyes Vidal, M. Y., Aceves Diez, A., Martínez Silva, A. & Asaff, A. "Investigación, desarrollo tecnológico e innovación para el cuidado y reúso del agua", *Estudios Sociales*, Vol. 20, p. 199–216, 2012.
10. Asaff, A. "Un método y un sistema para el tratamiento integral de aguas residuales de una industria del maíz", *Patente Mexicana*, Mx/2013/002096 p. 1–46, 2014.
11. Foster, C. E., Martin, T. M. & Pauly, M. "Comprehensive compositional analysis of plant cell walls (lignocellulosic biomass) part II: Carbohydrates", *Journal of visualized experiments*, No. 37, p. 1–4, 2010.
12. Carvajal-Millan, E., Landillon, V. & Doublier, J. "Arabinoxylan Gels: Impact of the Feruloylation Degree on Their Structure and Properties", *Biomacromolecules*, Vol. 6, No. 1, p. 309–317, 2005.
13. Miller, G. L. "Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar", *Analytical Chemistry*, Vol. 31, No. 3, p. 426–428, 1959.