

A collage of numerous corn cobs, each displaying a unique and vibrant pattern of colors. The colors include bright yellow, deep red, dark purple/black, and white. The cobs are arranged in a dense, overlapping manner, creating a rich, textured background. The top portion of the image is partially obscured by a semi-transparent banner containing the title.

Concientifica

Un subproducto agroalimentario con valor agregado

Sistemas de membranas para tratar el subproducto del maíz

El maíz (*Zea mays*) es una planta gramínea originaria de Mesoamérica (Figura 1), que produce los granos para elaborar gran cantidad de alimentos como tortillas, tamales, tostadas, harina, totopos, etc. [1]. En México es el cereal más producido, con una estimación de 27.4 millones de toneladas al año, de acuerdo con el último reporte (2020) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [2].

Existe una diversidad de razas de maíz, que se distinguen a partir de sus características fenotípicas (forma de la mazorca), tipo de grano y región. En América Latina se han reportado 220 razas, mientras que en México existen 64 razas, de las cuales 59 se consideran nativas [3]. El grano de maíz tiene un valor cultural en México, inclusive hay quienes consideran que es patrimonio cultural porque da identidad a la población mexicana [4]. Además, tiene valor nutricional debido a su composición química alta en carbohidratos (66-76%), proteínas (5-14%) y fibras (0.8-3%) [5].

El proceso más empleado para transformar el maíz es la nixtamalización (cocimiento con cal), debido a que mejora las características nutricionales (gelifica el almidón e hidroliza las fibras) y sensoriales del grano (sabor, color y textura), y permite la producción de masa para elaborar los alimentos. Para la elaboración de productos únicamente se emplea el grano cocido (nixtamal), sin embargo, de este procesamiento se genera un residuo alcalino (nejayote). El nejayote es el agua de cocimiento subproducto de la nixtamalización



Figura 1. Planta de maíz.

Elsa Díaz-Montes¹

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto s/n, Barrio La Laguna Ticomán, Ciudad de México 07340, México.

*Autor para la correspondencia: elsadimor123@gmail.com

del maíz, cuyo contenido químico deriva de las características del grano, la cantidad de cal, la temperatura y el tiempo de cocción [1].

El interés que se tiene hacia el maíz va más allá de la producción de alimentos comerciales, la investigación también se ha enfocado en estudios con el nejayote. El residuo se ha empleado como abono agrícola [6] y sustrato para el crecimiento de hongos [7] y bacterias probióticas [8]. Otro particular interés en el nejayote se centra en la reducción de sus contaminantes, por ejemplo, se ha propuesto el empleo de polímeros (quitosano y alginato) para encapsular sus sólidos y reducir la materia orgánica [9]. No obstante, también se han implementado tecnologías relativamente nuevas para el tratamiento del residuo, las tecnologías con membranas.

Una membrana es una barrera selectiva semipermeable que emplea fuerza motriz para separar una corriente de alimentación líquida (extracto) en dos diferentes, retenido y permeado. La fracción retenida contiene los componentes que no lograron atravesar la barrera por poseer tamaños más grandes que el poro de esta, mientras que, la fracción permeada contiene los componentes disueltos en agua que lograron pasar la membrana [1].

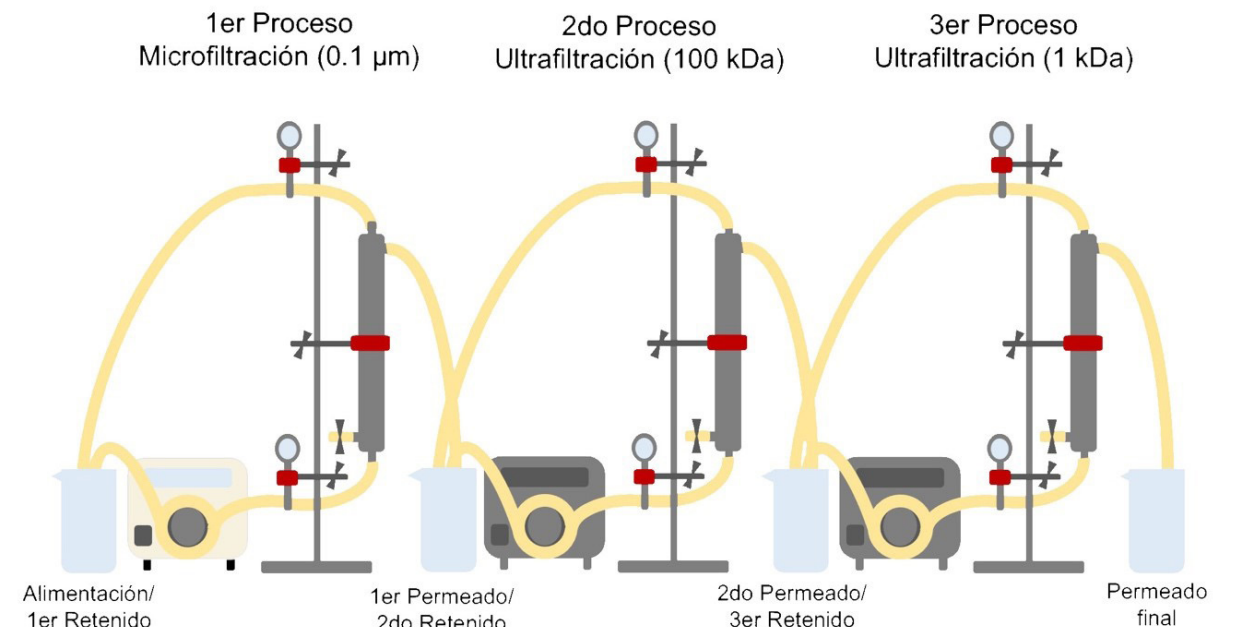


Figura 2. Sistema de membranas implementado para el fraccionamiento de nejayote.

Dependiendo del tamaño del poro, las membranas se clasifican en microfiltración (MF: 100-10,000 nm), ultrafiltración (UF: 2-100 nm) y nanofiltración (NF: 0.5-2 nm). Cuando varias membranas se acoplan para trabajar en conjunto, se denominan sistemas de membranas [1,10].

Los sistemas de membranas ofrecen ventajas de proceso, operativas, económicas y ambientales. Las ventajas de proceso están relacionadas con la funcionalidad, debido a que pueden retener componentes de diferentes tamaños, se consideran como métodos de purificación y los rendimientos de recuperación de componentes son altos. Las ventajas operativas se relacionan con el uso, la fácil operación y mantenimiento mínimo de los sistemas de membranas, que cualquier persona con una capacitación puede realizar. Las ventajas económicas de emplear estas tecnologías radican en que su adquisición (membranas, bombas y mangueras) implica una inversión inicial pero no emplean consumibles, disolventes, ni largos tiempos de procesos, en comparación con otros métodos de tratamiento o extracción (solventes, descargas eléctricas, ultrasonidos o cromatografías). Mientras que, las principales ventajas ambientales de este bioproceso tienen que ver con la reducción de materiales y la no generación de más residuos [1].

En México, aún no se aplican los sistemas de membranas para el tratamiento de residuos a nivel

industrial, sin embargo, hay patentes que acoplan estas tecnologías a tratamientos químicos y enzimáticos para tratar al nejayote [11], e investigaciones a nivel planta piloto que reportan procesos con membranas para fraccionar el residuo. Por ejemplo, en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional (UPIBI-IPN) se implementó un sistema por lote con tres membranas: una membrana de MF (0.1 µm) y dos membranas de UF (100 y 1 kDa, respectivamente); en el cual, la fracción permeada del primer proceso (MF) fue la alimentación del segundo proceso (UF 100) y el permeado del segundo proceso fue la alimentación del tercer proceso (Figura 2) [10].

El sistema se empleó para fraccionar tres tipos de nejayote proveniente de maíz blanco (Mushito de Michoacán), maíz rojo (Elote occidental) y maíz morado (Elotero de Sinaloa). Los resultados del estudio indicaron que la membrana de MF retuvo el 60% de los carbohidratos iniciales, y las membranas de UF hasta el 96% de carbohidratos que habían logrado atravesar la primera membrana. Por otro lado, se identificaron polifenoles totales que no fueron retenidos por la membrana de MF y se lograron concentrar en la fracción permeada del último proceso de UF [10]. El tratamiento del nejayote mediante el sistema triple de membranas permitió obtener una fracción inicial con alto contenido de carbohidratos y

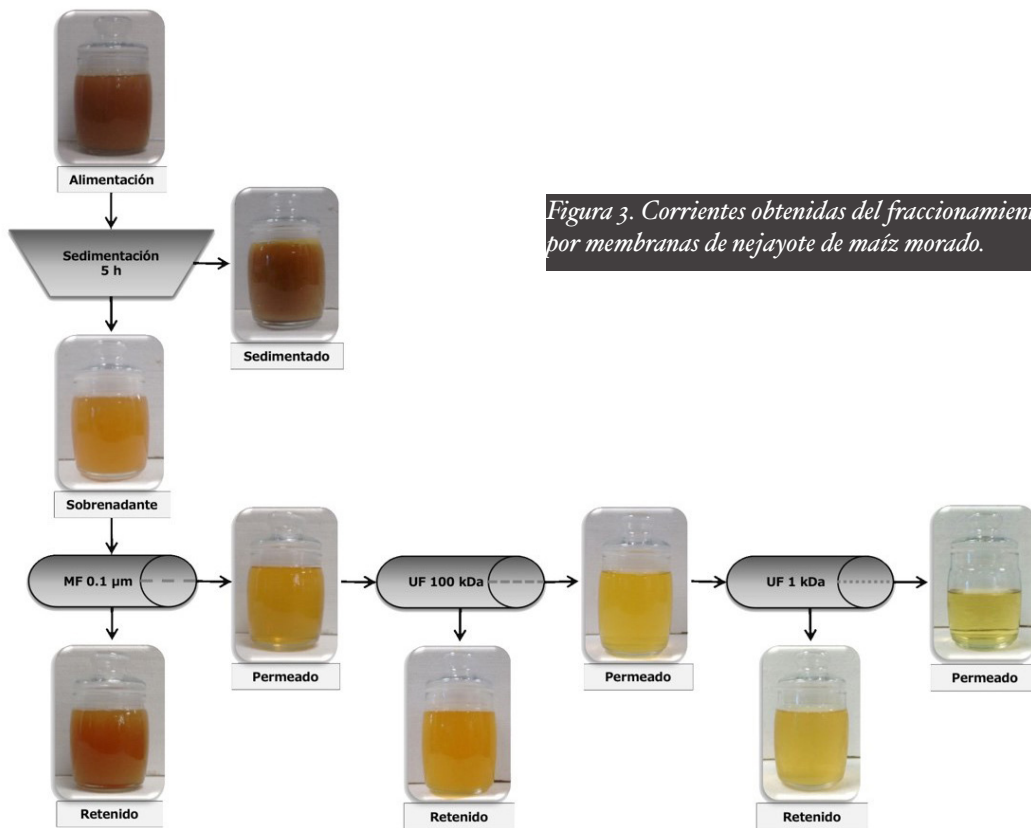



Figura 3. Corrientes obtenidas del fraccionamiento por membranas de nejayote de maíz morado.

una fracción final con importante actividad antioxidante (Figura 3); las cuales, pueden ser purificadas para obtener componentes libres como glucosa, fructosa y ácidos orgánicos con un potencial uso como aditivos alimentarios, lo que generaría un valor agregado en el extracto. Por otro lado, al ser un residuo producido en cantidades industriales en México, el tratamiento con membranas permitió la reducción de materia orgánica y minerales como el calcio, resultando en una alternativa positiva para el medio ambiente [10].

Los sistemas de membranas han permitido obtener componentes de valor agregado a partir del residuo agroindustrial del procesamiento del maíz, no obstante, este bioproceso puede escalarse a cualquier otro residuo o subproducto para tratarlo y disminuir su efecto nocivo a la salud y al medio ambiente. 

Referencias

[1] Díaz-Montes, E., Castro-Muñoz, R., & Yáñez-Fernández, J. (2016). An overview of nejayote, a nixtamalization by product. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(2), 41-60. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.03.002>

[2] FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Cultivos y productos de ganadería. Consultado el 4 de diciembre de 2022 de <https://www.fao.org/faostat/es/#home>

[3] CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). Razas de maíz de México. *Diversidad*

natural y cultura. Consultado el 4 de diciembre de 2022 de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>

[4] Barros, C. (2011). El maíz, nuestro patrimonio. *Diario De Campo*, (6), 12-15. Consultado el 4 de diciembre de 2022 de <https://mexicana.cultura.gob.mx/es/repositorio/x2acnp2f9p-5>

[5] FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1992). Maize in human nutrition: Gross chemical composition. Consultado el 4 de diciembre de 2022 de <https://www.fao.org/3/t0395e/T0395E03.htm>

[6] Tellez-Pérez, V., López-Aragón, A. & Zayas-Pérez, M.T. (2018). Lodos residuales de nejayote como sustratos para la germinación de semillas de maíz azul criollo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 395-404. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.03>

[7] Díaz-Montes, E., Rodríguez-Romero, V.M. & Arzola-Rodríguez, S.I. (2022). Effect of Primary By-Product (Nejayote) of the Nixtamalization on Fungal Growth. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01932-5>

[8] Ramírez-Romero, G., Reyez-Velazquez, M. & Cruz-Guerrero, A. (2013). Estudio del nejayote como medio de crecimiento de probióticos y producción de bacteriocinas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 463-471.

[9] Vacio-Muro, K.J., Lozano-Álvarez, J.A., Sánchez-González, M.N., Chávez Vela, N.A., Torres-Ramírez, E. & Jáuregui-Rincón, J. (2021). Remoción de contaminantes del nejayote con alginato y quitosano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 497-515. <https://doi.org/10.20937/rica.53185>

[10] Díaz-Montes, E., Barragán-Huerta, B.E. & Yáñez-Fernández, J. (2020). Identification and Evaluation of Antioxidant Activity of Hydroxycinnamic Acids Extracted by Ultrafiltration from Three Varieties of Mexican Maize. *Waste Biomass Valor* 11, 1799-1808. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0420-9>

[11] Asaff Torres, A.J. & Reyes Vidal, M.Y. (2014). Un método y un sistema para el tratamiento integral de aguas residuales de una industria del maíz (Patente de México, WO201411999A2). PCT - The International Patent System - WIPO. <https://patents.google.com/patent/WO201411999A2/es#patentCitations>