

El Xilitol, un edulcorante de alto valor agregado en la industria obtenido a partir de residuos lignocelulósicos

RESUMEN: El Xilitol ($C_5H_{12}O_5$) es un polialcohol de cinco carbonos con alto poder edulcorante y bajo valor calórico, utilizado en las industrias alimentaria y farmacéutica por sus propiedades anticariogénicas y su adecuada tolerancia en pacientes diabéticos. Su producción comercial se realiza por hidrogenación química de xilosa, un proceso costoso que ha impulsado la búsqueda de alternativas biotecnológicas a partir de residuos lignocelulósicos. En este trabajo se aislaron, seleccionaron y caracterizaron levaduras productoras de Xilitol a partir de diversas fuentes biológicas. Se obtuvieron 69 cepas capaces de crecer en medios con xilosa como fuente de carbono, de las cuales 14 mostraron capacidad de producir Xilitol. Las mayores concentraciones y productividades se obtuvieron en cepas provenientes de corteza de árbol de ciruela (*Spondias purpurea*), destacando CC2 y CC5 con hasta 11.8 g/L y productividades cercanas a 0.16 g/Lh. Cepas de cáscara de coco (*Astrocaryum mexicanum*), alcanzaron hasta 9 g/L con productividades de hasta 0.124 g/Lh, mientras que las de ciruela roja produjeron entre 1.5 y 3.0 g/L. Los aislados de bagazo y jugo de caña mostraron producciones menores (entre 1-2.4 g/L). Los resultados demuestran el potencial de las levaduras autóctonas para la producción biotecnológica de Xilitol, contribuyendo al aprovechamiento de residuos lignocelulósicos y al desarrollo de bioprocesos sustentables y de valor agregado.

PALABRAS CLAVE: Aislamiento, Selección, Xilitol, Levaduras, Edulcorante.



Colaboración

Tyana Betsaida Aguilar Pastelín; María Guadalupe Aguilar Uscanga; María Inés Infanzón Rodríguez; Daniel Arturo Zavala Ortiz; Javier Gómez Rodríguez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz

Fecha de recepción: 18 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación: 04 de marzo de 2026

Autor de Correspondencia: Javier Gómez Rodríguez

ABSTRACT: Xylitol ($C_5H_{12}O_5$) is a five-carbon polyalcohol with high sweetening power and low caloric value, used in the food and pharmaceutical industries for its anticariogenic properties and good tolerability in diabetic patients. Its commercial production is carried out by the chemical hydrogenation of xylose, a costly process that has driven the search for biotechnological alternatives using lignocellulosic waste. In this work, Xylitol-producing yeasts were isolated, selected, and characterized from various biological sources. Sixty-nine strains capable of growing in media with xylose as a carbon source were obtained, of which 14 showed the capacity to produce Xylitol. The highest concentrations and productivities were obtained in strains derived from plum tree bark (*Spondias purpurea*), notably CC2 and CC5, with concentrations up to 11.8 g/L and productivities close to 0.16 g/Lh. Strains from coconut husk (*Astrocaryum mexicanum*) reached yields of up to 9 g/L with productivities of up to 0.124 g/Lh, while those from red plum produced between 1.5 and 3.0 g/L. Isolates from bagasse and sugarcane juice showed lower yields (between 1-2.4 g/L). These results demonstrate the potential of indigenous yeasts for the biotechnological production of Xylitol, contributing to the utilization of lignocellulosic waste and the development of sustainable, value-added bioprocesses.

KEYWORDS: Isolation, Selection, Xylitol, Yeasts, Sweetener.

INTRODUCCIÓN

El Xilitol, también conocido como azúcar de abedul es un polialcohol de cinco carbonos presente en pequeñas cantidades en ciertas frutas y vegetales tales como: la ciruela, fresas, calabaza, y algas, entre otros; recientemente ha ganado re-

conocimiento debido a su versatilidad en la industria alimentaria y farmacéutica, debido a que se utiliza como edulcorante y se encuentra en productos como pasta de dientes, enjuagues bucales, pasteles, dulces y chicles sin azúcar [1, 2]. El Xilitol tiene el mismo poder edulcorante que la sacarosa, pero con un valor de energía (calorífico) de solo 2.4 kcal/g, comparado con 4 kcal/g que contiene la sacarosa [3].

Así también, se emplea en productos farmacéuticos, cosméticos y en aplicaciones industriales y técnicas [4]. Se ha reportado que el Xilitol tiene propiedades anticariogénicas y que es un producto que no produce caries ya que los microorganismos presentes en la boca no pueden metabolizarlo [5]. Además, se recomienda a pacientes diabéticos ya que puede ser metabolizado (absorción directa, principalmente en el hígado, y metabolismo indirecto por bacterias intestinales) en ausencia de la insulina, causando un ligero incremento en los niveles de glucosa e insulina en la sangre en comparación con los cambios causados por la glucosa o sacarosa. Otra propiedad interesante que tiene el Xilitol es que no reacciona con los aminoácidos, es decir no participa en las reacciones de Maillard, permitiendo su utilización para nutrición parenteral [6].

Actualmente la producción comercial del Xilitol se lleva a cabo mediante la hidrogenación usando D-xilosa como materia prima y con catalizadores químicos, alta temperaturas y presión, siendo éste un proceso costoso, el cual impacta directamente con el precio en el mercado del Xilitol (entre \$500 y \$3000 pesos M.N. de acuerdo al grado de pureza) [7]. Una alternativa al proceso químico, es el proceso biológico, el cual usa residuos lignocelulósicos que contienen el sustrato (xilosa), que se puede convertir a Xilitol bajo la acción de levaduras principalmente [8]. Las levaduras son los microorganismos más utilizados para este fin, debido a su capacidad de fermentar sustratos ricos en pentosas y hexosas y a su reconocida eficiencia como productores de Xilitol. Pueden aislarse a partir de diversas fuentes biológicas, como residuos agrícolas, subproductos industriales y materiales vegetales, lo que ofrece una amplia diversidad genética y metabólica [9]. Los principales géneros de levaduras reportadas como productoras de Xilitol son: *Candida*, *Kluyveromyces*, *Pichia* y *Pachysolen* [10].

Diversos estudios han demostrado que materiales vegetales como cortezas, frutas, residuos de caña y subproductos lignocelulósicos constituyen reservorios naturales de levaduras capaces de metabolizar pentosas y producir Xilitol. Estos sustratos contienen azúcares disponibles y fracciones hemicelulósicas que favorecen la selección de microorganismos con rutas metabólicas adaptadas a la xilosa. Por ello, la elección de bagazo y jugo de caña, ciruela, corteza de árbol y cáscara de coco en este estudio se sus-

tenta en su disponibilidad regional, su composición rica en carbohidratos y la evidencia previa de aislamientos exitosos de levaduras con potencial biotecnológico en matrices vegetales similares.

Kusumawati et al. [11] aislaron seis cepas capaces de consumir xilosa, de las cuales tres produjeron entre 5 y 6 g/L a las 72 h de la fermentación. Estas cepas fueron identificadas como *Pichia kudriavzevii* SL1(1), *Pichia kudriavzevii* R5 y *Candida xylopsi* SL6, capaces de crecer en hidrolizados de residuos de troncos de palma aceitera. Por su parte, Delfin-Ruiz et al. [12] evaluaron la producción de Xilitol por la levadura *Candida tropicalis* IEC 5-ITV empleando xilosa proveniente del hidrolizado ácido de bagazo de caña obteniendo 5.5 g/L al final de la fermentación. Pant et al. [13] reportaron la producción de Xilitol utilizando la levadura *Candida sojae* JCM 1644 alcanzando un rendimiento de 0.62 g/g.

En este contexto, el aislamiento, selección y caracterización de cepas de levaduras productoras de Xilitol a partir de diversas fuentes biológicas, como bagazo de caña, jugo de caña, ciruela, corteza de árbol y cáscara de coco, ofrecen nuevas oportunidades para mejorar el rendimiento y la productividad del proceso. El uso de microorganismos autóctonos puede incrementar la eficiencia de los procesos biotecnológicos, debido a su adaptación a las condiciones climáticas y a las materias primas de la región [14].

Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo aislar, seleccionar y caracterizar cepas de levaduras a partir de diversas fuentes de materias tales como residuos lignocelulósicos, frutas y jugos de caña de azúcar, las cuales sean capaces de metabolizar la xilosa sintética y la presente en el hidrolizado ácido proveniente de la hemicelulosa de los residuos lignocelulósicos (bagazo de caña de azúcar). Esto con el fin de lograr obtener un proceso eficiente para la producción de Xilitol por vía biotecnológica, beneficiando al sector agroalimentario y el rescate del campo mexicano, mediante el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos para la producción de un producto de alto valor agregado como es el Xilitol.

MATERIAL Y MÉTODOS

Aislamiento de levaduras

Las fuentes biológicas utilizadas para el aislamiento de levaduras fueron residuos y materiales vegetales obtenidos de zonas agrícolas del estado de Veracruz, México: bagazo de caña de azúcar quemado y sin quemar, jugo de caña, jugo de ciruela roja, cáscara de coco y corteza de árbol. Estos materiales se seleccionaron por su origen vegetal, su contenido de azúcares solubles y polisacáridos estructurales, así como por su exposición ambiental, condiciones que favorecen la presencia de microbiota nativa asociada, incluyendo levaduras fermentativas.

Las muestras sólidas (bagazo, cáscara de coco y corteza de árbol) se recolectaron frescas, se colocaron en recipientes estériles y se transportaron al laboratorio para su procesamiento dentro de las primeras 24 h. Previo al aislamiento, se sometieron a un pretratamiento físico consistente en reducción de tamaño y homogeneización manual. Posteriormente, se pesó 1 g de muestra y se suspendió directamente en el medio de enriquecimiento. En el caso de las muestras líquidas (jugo de caña y jugo de ciruela), se homogenizaron y se tomaron alícuotas de 1 mL para inoculación directa. No se aplicaron tratamientos químicos ni térmicos previos, con el fin de conservar la microbiota nativa presente en cada sustrato.

El aislamiento de las levaduras se realizó con base en la metodología reportada por Diaz-Nava [15], empleando xilosa como fuente de carbono. Se utilizó un medio de cultivo con la siguiente composición (g/L): xilosa 30, KH_2PO_4 5.0, $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{O}$, extracto de levadura 1.0 y Urea 3.0. El pH se ajustó a 5.5 y el medio se esterilizó durante 15 minutos a 121 °C. Se inocularon 1 g o 1 mL de cada muestra en matraces con 50 mL de medio y se incubaron durante 36 h, 30 °C y 250 rpm. Para ello se tomaron 1 mL o 1 g de las materias primas seleccionadas: 1) corteza de árbol, 2) ciruela roja, 3) cascara de coco, 4) bagazo de caña de azúcar quemado, 5) jugo de caña de azúcar y 6) bagazo de caña de azúcar sin quemar. Este volumen fue adicionado a los matraces que contenían 50 mL de medio de cultivo. Posteriormente se incubaron por 36 horas a 30 °C y 250 rpm.

Para la obtención del cultivo puro, se prepararon 5 diluciones con agua destilada estéril (10-1, 10-2, 10-3, 10-4, 10-5), y se adicionó 1 mL de cada dilución en cajas Petri conteniendo: agar 20 g/L, xilosa 20 g/L y extracto de levadura 10 g/L. Se incubaron las cajas Petri por 2-3 días a 30 °C. Posteriormente las colonias crecidas se seleccionaron y sembraron en cajas Petri nuevamente, para separar cada microorganismo y así obtener los cultivos puros, los cuales se incubaron durante dos a tres días, a 30 °C.

Selección primaria

Para la selección primaria, se realizó una cinética para cada una de las colonias obtenida durante 72 h, en la cual se utilizó un medio de activación con componentes de xilosa 30 g/L, KH_2PO_4 5.0 g/L, $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{O}$ 0.4 g/L, Extracto de levadura 1.0 g/L y Urea 3.0 g/L; esta se utilizó para identificar qué cepas sintetizan el Xilitol [15].

Para la producción de Xilitol, se prepararon los medios de activación y se añadieron 30 mL a matraces de 50 mL; posteriormente se esterizaron en la autoclave durante 15 min a 121 °C. Una vez enfriados, se inocularon con 3 azadas de las cepas aisladas

y se incubaron durante 72 h a 30 °C y 250 rpm. Se tomaron muestras diarias durante 4 días, cada 24 h, en Eppendorf y se prepararon para su análisis por HPLC para cuantificar la producción de Xilitol.

Determinación analítica

Las muestras obtenidas previamente fueron centrifugadas, y el sobrenadante fue analizado para medir la concentración de Xilitol y de xilosa, por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), usando una columna Aminex HPX-87H Biorad, con una fase móvil con una solución de H_2SO_4 al 0.5 % (v/v), con un flujo de 0.6 mL/min, durante 30 minutos, usando un horno con una columna a 50 °C y un detector de índice de refracción (RID) marca Shimadzu, se realizó la curva de calibración previamente con Xilitol marca Sigma, como estándar a concentraciones de 1 a 50 g/L.

RESULTADOS

Aislamiento y selección: De las diferentes fuentes que fueron recolectadas como muestras de campos agrícolas donde se consideraba la presencia de levaduras se consideraron las siguientes: 1) corteza de árbol, 2) ciruela roja, 3) cascara de coco, 4) bagazo de caña de azúcar quemado, 5) jugo de caña de azúcar y 6) bagazo de caña de azúcar sin quemar, La Figura 1 muestra las diferentes fuentes vegetales inoculadas en el medio de cultivo líquido.



Figura 1. Muestras vegetales inoculadas en el medio líquido conteniendo xilosa como fuente de carbono.

Fuente: Elaboración propia.

Se aislaron 69 cepas en total, considerando todas las diferentes fuentes de aislamiento. De acuerdo a la fuente se lograron aislar 6 cepas de ciruela roja (CRC), 11 de cáscara de coco (CoC), 9 de bagazo de caña sin quemar (BSQC), 14 de jugo de caña quemado (JQC), 20 de jugo de caña sin quemar (JSQC), y 9 de corteza de árbol (CC).

La primera selección consistió en realizar una primera fermentación en medio sintético, al término de 72 h se tomó muestras y aquellas cepas capaces de producir Xilitol fueron seleccionadas, en la (Figura

ra 2) se muestran algunas cepas capaces de producir Xilitol.

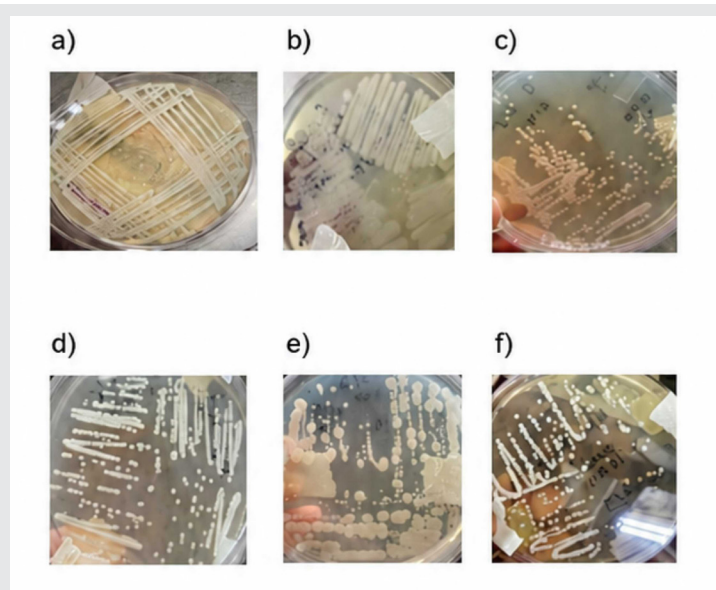


Figura 2. Cepas aisladas en medio solido de agar usando xilosa como fuente de carbono provenientes de: 1) Corteza de árbol (CC), 2) Ciruela roja (CRC), 3) Cascara de coco (CoC), 4) Bagazo de caña de azúcar quemado (BQC), 5) Jugo de caña de azúcar sin quemar (JSQC), 6) Bagazo de caña de azúcar sin quemar (BSQC).

Fuente: Elaboración propia.

De las 69 cepas aisladas, se seleccionaron 14 que demostraron una buena producción y productividad de Xilitol (Tabla 1).

Las cepas aisladas de ciruela roja (CRC1, CRC2) alcanzaron a producir de 1.54 hasta 2.99 g/L de Xilitol a las 24 h (CRC2), mientras que las cepas provenientes de coco (CoC5, CoC 6 y CoC 7) alcanzaron la mayor producción de Xilitol obteniendo hasta 9.48 g/L a las 72 h (CoC6). Las cepas provenientes de la corteza de árbol (CC1.1, CC2, CC4, CC5, CC6) alcanzaron la mayor producción de Xilitol en comparación de todas las demás (ciruela, coco, bagazo quemado y sin quemar, jugo quemado y sin quemar, ciruela amarilla) obteniendo 11.89 g/L de Xilitol a las 72 h con la cepa CC2.

Para bagazo quemado (BQC3.1), bagazo sin quemar (BSQC1), jugo quemado (JQC 1.4) y jugo sin quemar (JSQC1) las concentraciones fueron muy similares entre ellas, tomando valores entre 0.6 y 2.1 g/L mostrando presencia de Xilitol entre las 48 y 72 h.

Trichez et al. [16] aislaron de residuos de madera dos cepas de levaduras JA1 y JA9 capaces de metabolizar la xilosa y producir Xilitol, alcanzando productividades cercanas a 0.2 g/Lh. Junyapate et al. [17] reportaron una nueva cepa productora de Xilitol del género Yamadazyma (Tabla 2), sin embargo, la productividad reportada para esta cepa fue baja (0.019 g/Lh).

Tabla 1. Cepas aisladas y seleccionadas con potencial en la producción de Xilitol.

Clave de la cepa	Sustrato fuente	Xilitol (g/L)	Qp (g/Lh)
CRC1	Ciruela roja	1.54	0.021
CRC2	Ciruela roja	2.99	0.125
CoC5	Coco	8.9	0.124
CoC6	Coco	6.19	0.085
CoC7	Coco	3.35	0.046
CC 1.1	Corteza de árbol	7.4	0.102
CC2	Corteza de árbol	11.8	0.164
CC4	Corteza de árbol	7.08	0.098
CC5	Corteza de árbol	11.39	0.160
CC6	Corteza de árbol	6.19	0.085
BQC 3.1	Bagazo de caña quemado	2.36	0.05
BSQC1	Bagazo de caña sin quemar	2.43	0.05
JQC 1.4	Jugo de caña quemado	2.19	0.045
JSQC1	Jugo de caña sin quemar	1.13	0.023

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Comparación de levaduras aisladas para la producción de Xilitol.

Cepa o microorganismo	Sustrato fuente	Qp (g/Lh)	Referencia
<i>Spathaspora sp. JA1</i>	Madera en descomposición	0.20	Trichez et al. [16]
<i>Meyerozyma caribbica JA9</i>	Madera en descomposición	0.10	Trichez et al. [16]
<i>Yamadazyma ubonensis</i>	Corteza de árbol	0.019	Junyapate et al. [17]
CC2	Corteza de árbol	0.164	Este trabajo
CC5	Corteza de árbol	0.160	Este trabajo

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3, se muestra la cinética de producción de Xilitol por la levadura aislada de la corteza de ciruela CC2. A las 72 h se alcanzó a obtener 11.8 g/L de Xilitol, con un rendimiento Yp/s de 0.48 g/g, una eficiencia del 52.7 % y una productividad Qp de 0.16 g/L.h.

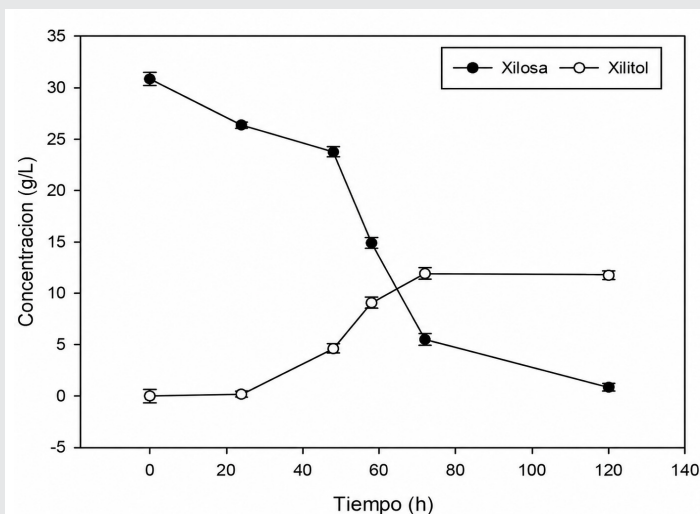


Figura 3. Cinética de producción de Xilitol de la levadura aislada de la corteza de ciruela CC2.

Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones de producción y composición del medio de cultivo de las cepas reportadas no han sido optimizadas, por lo tanto, estas cepas muestran un gran potencial para aplicarse en la producción de Xilitol por vía biotecnológica optimizando el proceso para su aplicación en el aprovechamiento de la xilosa proveniente de residuos lignocelulósicos.

CONCLUSIONES

De las 69 cepas aisladas de residuos lignocelulósicos, 14 de estas son capaces de producir Xilitol entre las 24 y 72 h, siendo dos cepas provenientes de la corteza de árbol (CC2 y CC5) las que alcanzaron la mayor concentración de Xilitol y productividad, en un medio suplementado con xilosa sin optimizar su composición y condiciones fisicoquímicas de fermentación. Por lo que estas cepas muestran un potencial favorable para su aplicación en el proceso biotecnológico de producción de Xilitol, usando xilosa proveniente de los residuos lignocelulósicos, apoyando al sector agroalimentario y el campo mexicano.

AGRADECIMIENTOS

Al COVEICYDET por el apoyo financiero otorgado al proyecto "Producción de bioetanol bajo un concepto de biorrefinería # CP 1111 1611/2023, así como por la beca asignada a la estudiante de Licenciatura en Ingeniería Bioquímica Tyana Betsaida Aguilar Pastelin.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Kumar, K., Singh, E., Shrivastava, S. (2022). Microbial xylitol production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(3), 971-979.

[2] Awuchi, C. G., and Echeta, K. C. (2019). Current developments in sugar alcohols: Chemistry, nutrition, and health concerns of sorbitol, xylitol,

glycerol, arabitol, inositol, maltitol, and lactitol. *Int J Adv Acad Res*, 5(11), 1-33.

[3] Dwivedi, R. S. (2022). Saccharide Sweet (SS) Principles, Classification and Structural and Functional Details of SS Sweeteners and Plants. In *Alternative Sweet and Supersweet Principles: Natural Sweeteners and Plants* (pp. 113-223). Singapore: Springer Nature Singapore.

[4] Infanzón-Rodríguez, M.I. (2013). Producción de Xilitol en Cultivo por Lote Alimentado a partir de Hidrolizado de Bagazo de Sorgo Dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) con *Candida tropicalis* IEC5-ITV. Tesis maestría. Unidad de investigación y desarrollo en alimentos, Veracruz, Ver.

[5] Kang, T. Z., et al. (2016). Fermentative production of xylitol: A first Trial on xylose bifurcation. *Indian Journal of science and Technology* 9.

[6] Silva, T. P., de Assis, G. C., Santana, N. B., de Carvalho Tavares, I. M., Santos, P. H., Salay, L. C., Franco, M. (2023). Conversion of lignocellulosic biomass to xylitol and its applications. In *Valorization of Biomass to Bioproducts* (pp. 1-26). Elsevier.

[7] Arcaño, Y. D., García, O. D. V., Mandelli, D., Carvalho, W. A., Pontes, L. A. M. (2020). Xylitol: A review on the progress and challenges of its production by chemical route. *Catalysis Today*, 344, 2-14.

[8] Jain, V., and Ghosh, S. (2023). Biotransformation of lignocellulosic biomass to xylitol: an overview. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(11), 9643-9661.

[9] Queiroz, S. D. S., Jofre, F. M., Bianchini, I. D. A., Boaes, T. D. S., Bordini, F. W., Chandel, A. K., Felipe, M. D. G. D. A. (2023). Current advances in *Candida tropicalis*: Yeast overview and biotechnological applications. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 70(6), 2069-2087.

[10] Serpa, J. D. F., dos Santos, F. D., Soares, C. E. A., Pessela, B. C., and Rocha, M. V. P. (2025). Sustainable Bioconversion of Cashew Apple Bagasse Hemicellulosic Hydrolysate into Xylose Reductase and Xylitol by *Candida tropicalis* ATCC 750: Impact of Aeration and Fluid Dynamics. *Applied Microbiology*, 5(3), 75.

[11] Kusumawati, N., Sumarlan, S. H., Zubaidah, E., Wardani, A. K. (2023). Isolation of xylose-utilizing yeasts from oil palm waste for xylitol and ethanol production. *Bioresources and Bioprocessing*, 10(1), 71.

[12] Delfín-Ruíz, M. E., Aguilar-Uscanga, M. G., Gómez-Rodríguez, J. (2023). Xylitol Production by *Candida tropicalis* IEC5-ITV using sugarcane bagasse acid pretreated. *Sugar Tech*, 25(5), 1231-1240.

[13] Pant, S., Prakash, A., Kuila, A. (2022). Integrated production of ethanol and xylitol from *Brassica juncea* using *Candida sojae* JCM 1644. *Bioresource Technology*, 351, 126903.

[14] Díaz Nava, Libia Elena. (2014). Aislamiento y selección de levaduras para la producción de etanol durante la fermentación espontánea de jugo de sorgo dulce.

[15] Díaz Nava, Libia Elena. (2018). Caracterización metabólica y cinética de la levadura autóctona *Pichia kudriavzevii* ITV-S42.

[16] Trichez, D., Steindorff, A. S., Soares, C. E., Formighieri, E. F., Almeida, J. R. (2019). Physiological and comparative genomic analysis of new isolated yeasts *Spathaspora* sp. JA1 and *Meyerozyma caribbica* JA9 reveal insights into xylitol production. *FEMS yeast research*, 19(4), foz034.

[17] Junyapate, K., Jindamorakot, S., Limtong, S. (2014). *Yamadazyma ubonensis* fa, sp. nov., a novel xylitol-producing yeast species isolated in Thailand. *Antonie*

