

Máquinas biológicas que producen prebióticos (FOS)

Yadira Belmonte-Izquierdo¹, Mercedes G. López², Juan Carlos González-Hernández¹

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia. Michoacán, México.

² Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Unidad Irapuato. Guanajuato, México.

Contacto: juan.gh@morelia.tecnm.mx

Resumen. Los prebióticos son sustratos fermentables que estimulan el crecimiento y la actividad de microorganismos denominados probióticos. Los prebióticos generan beneficios a la salud, por lo que se están incorporando en un gran número de productos alimenticios y farmacéuticos, haciendo que su mercado incremente anualmente, por lo cual, se requiere de nuevas materias primas y métodos que permitan obtenerlos de manera eficiente. Actualmente, existen procesos naturales (extracción de plantas) y químicos a partir de los cuales se pueden obtener, sin embargo, microorganismos como: los hongos, las levaduras y las bacterias presentan una alternativa para generarlos, a través de pequeñas máquinas especializadas (enzimas) que usan como sustrato las materias disponibles en la naturaleza.

Palabras clave: fructooligosacáridos, fructosiltransferasas, inulinasas, prebióticos.

Introducción

Actualmente, se observa un incremento en el consumo de productos saludables, generando una mayor demanda de prebióticos, los cuales son utilizados como ingredientes en los alimentos funcionales (De la Rosa *et al.*, 2019; Gibson y Roberfroid, 1995) y farmacéuticos. La *Grand View Research Inc* estima que el mercado mundial de los prebióticos alcanzará los 7.11 mil millones para el 2024 (Grand View Research Inc., 2021). Un prebiótico es el alimento (sustrato) de los microorganismos probióticos (como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*). Existen diferentes prebióticos, tales como: galactooligosacáridos (GOS), isomaltooligosacáridos (IMO), xilooligosacáridos (XOS) y fructooligosacáridos (FOS); siendo los FOS

los de mayor demanda en el mercado. Los FOS son fructanos de cadena corta (Figura 1), formados por el azúcar denominada fructosa (Han *et al.*, 2020), con un grado de polimerización (GP) que va de las dos a las doce unidades (Mancilla-Margalli y López, 2006), es decir, son moléculas pequeñas.

Los FOS han adquirido gran relevancia, ya que, como prebióticos promueven beneficios en la salud de quien los consume, tal y como se muestra en Figura 2.

Es por ello, que es necesario buscar nuevos procesos para obtenerlos, que sean procesos rentables (Muñiz-Márquez *et al.*, 2016) y sustentables (De la Rosa *et al.*, 2019), por ejemplo, mediante el aprovechamiento de las máquinas biológicas especializadas (enzimas), producidas por los microorganismos.

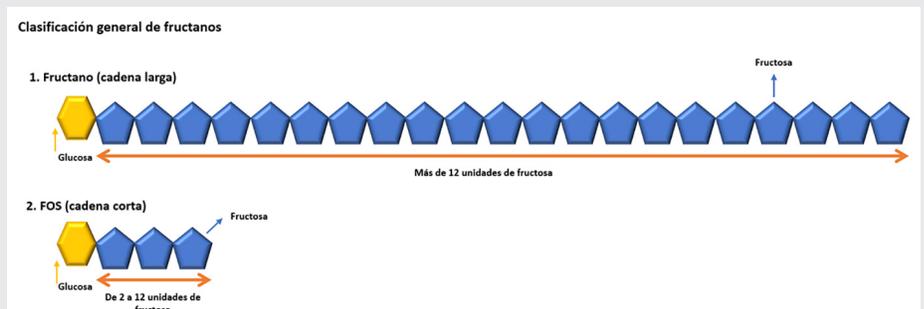


Figura 1. Clasificación de los fructanos (propiedad de los autores).

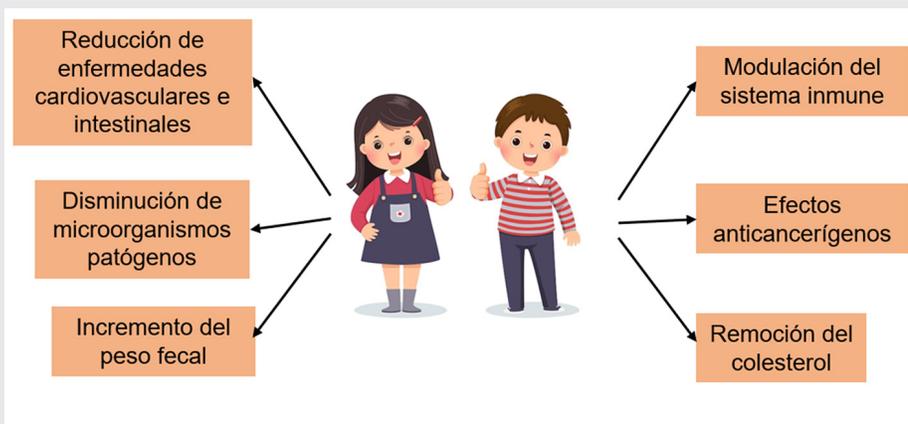


Figura 2. Beneficios a la salud promovidos por el consumo de prebióticos.

Desarrollo

Los FOS se encuentran en frutas y vegetales, sin embargo, su producción está limitada a periodos estacionales o se encuentran solo en pequeñas cantidades (Schorsch *et al.*, 2019), por ejemplo, en cebollas, plátanos y achicoria se reporta hasta 0.009 g de FOS/g de materia cruda (Picazo *et al.*, 2019), mientras que en el agave se han reportado los fructooligosacáridos ramificados (aFOS) (Huazano-García y López, 2018). La Tabla

1 muestra el contenido de FOS de algunas especies vegetales.

La obtención de FOS puede realizarse a partir de materias primas vegetales, ya que, el contenido de fructano es alto (Tabla 2), sin embargo, se requiere de enzimas específicas (máquinas biológicas especializadas), las cuales son producidas de manera natural por algunos microorganismos como los hongos, las levaduras y las bacterias.

Especie vegetal	% de FOS en gramos
Ajo	01-03
Alcachofa	<1
Alcachofa de Jerusalén	10-20
Achicoria (raíz)	05-10
Cebolla	2-6
Plátanos	0.3-0.6
Espárragos (raíz)	<0.1
Zanahoria	0.2-0.4

Tabla 1. Contenido de FOS en muestras frescas de frutas y vegetales (tomado de Yun, 1996).

Especie vegetal	Fructano (g de fructano por cada 100 g base seca)
Alcachofa de Jerusalén	89
Achicoria	79
Raíz de Dalia	59
Cebolla	48
Ajo	29
Espárragos	4

Tabla 2. Contenido de fructanos en muestras vegetales (tomado de Madrigal y Sangronis, 2007).

Estas máquinas biológicas productoras de FOS, son altamente específicas, y reciben el nombre de inulinasas y fructosiltransferasas (Arrizon *et al.*, 2012). La diferencia que existe entre ellas es el sustrato que utilizan para lograrlo, así como su mecanismo de acción (Figura 3). Las inulinasas se clasifican como: exoinulinasas y endoinulinasas. Las exoinulinasas (Figura 3A) remueven las unidades de fructosa del polímero de fructano (cadenas largas de unidades de fructosa), desde el inicio hasta el final de la cadena (linear o ramificada) (Trapala *et al.*, 2020), generando como producto principal la fructosa, mientras que las endoinulinasas (Figura 3B) rompen los enlaces internos de la molécula de fructano, originando como producto FOS (con un GP de 3 a 5 unidades de fructosa). Por otra parte, las fructosiltransferasas (Figura 3C) rompen la sacarosa (molécula pequeña, formada por fructosa y glucosa), con la finalidad de transferir la fructosa a otra molécula que actúe como aceptora (sacarosa o FOS), resultando en el crecimiento de la cadena. Los FOS producidos por fructosiltransferasas son aquellos que tienen un GP de 2 a 4 unidades de fructosa. Entonces, podemos decir, que mientras las inulinasas rompen el fructano (cadena larga) para formar FOS, las fructosiltransferasas unen moléculas pequeñas para formarlos.

Para la producción industrial de FOS se requiere la producción de la enzima y la transformación del sustrato en reactores bajo condiciones controladas (De la Rosa *et al.*, 2019).

La producción de FOS dependerá de las condiciones operacionales del reactor, tales como: temperatura, pH, agitación y oxígeno (Schorsch *et al.*, 2019), donde la fuente de carbono, nitrógeno y micronutrientes son determinantes para la producción de la enzima.

Conclusiones y perspectivas del grupo de trabajo

Las inulinasas y las fructosiltransferasas son máquinas biológicas, producidas naturalmente por diversos microorganismos, las cuales tienen un gran potencial en la industria biotecnológica y alimentaria, ya que, además de participar en la obtención de prebióticos, participan en la producción de jarabes y edulcorantes dietéticos; además existe una amplia área del

conocimiento por descubrir respecto a sus fuentes y condiciones de obtención. En el grupo de trabajo se están estudiando microorganismos (levaduras)

aislados del aguamiel de diferentes regiones mezcaleras del estado de Michoacán, para la producción de FOS, utilizando el jugo de agave como sustrato.

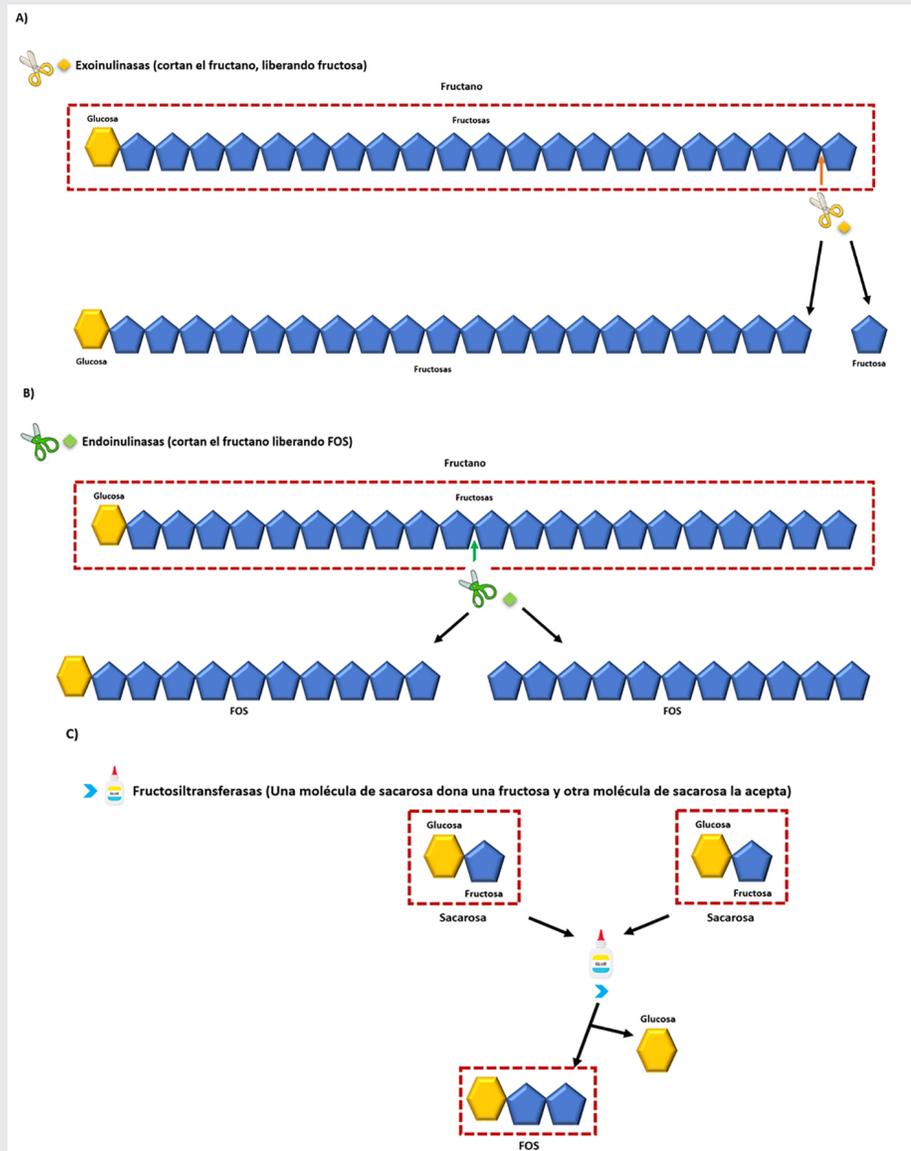


Figura 3. Enzimas que producen FOS y sus diferencias: A) Exoinulinasas, B) Endoinulinasas y C) Fructosiltransferasas (propiedad de los autores).

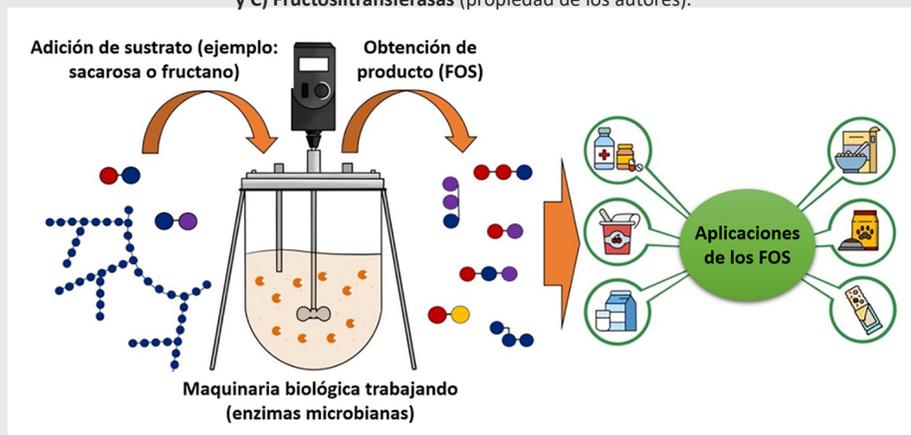


Figura 4. Producción industrial de FOS (tomado y modificado de Vera et al., 2021).

Referencias

Arrizon, J., Morel, S., Gschaedler, A., & Monsan, P. (2012). Fructanase and fructosyltransferase activity of non-*Saccharomyces* yeasts isolated from fermenting musts of Mezcal. *Bioresource Technology*, 110: 560-565. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.01.112>.

De la Rosa, O., Múñiz-Marquez, D. B., Contreras-Esquivel, J. C., Wong-Paz, J. E., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2020). Improving the fructooligosaccharides production by solid-state fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 27: 101704. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101704>.

Gibson, G. R. & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 125(6): 1401-1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>.

Grand View Research Inc. (2021). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/prebiotics-market>.

Han, S., Ye, T., Leng, S., Pan, L., Zeng, W., Chen, G., & Liang, Z. (2020). Purification and biochemical characteristics of a novel fructosyltransferase with a high FOS transfructosylation activity from *Aspergillus oryzae* S719. *Protein Expression and Purification*, 167: 105549. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2019.105549>.

Huazano-García, A. & López, M. G. (2018). Enzymatic hydrolysis of agavins to generate branched fructooligosaccharides (aFOS). *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 184:25-34. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2526-0>.

Madrigal, L., & Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 57(4): 387-396.

Mancilla-Margalli, N. A., & López, M. G. (2006). Water-soluble carbohydrates and fructan structure patterns from Agave and *Dasyliirion* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20): 7832-7839.

Muñiz-Márquez, D. B., Contreras, J. C., Rodríguez, R., Mussatto, S. I., Teixeira, J. A., & Aguilar, C. N. (2016). Enhancement of fructosyltransferase and fructooligosaccharides production by *A. oryzae* DIA-MF in solid-state fermentation using aguamiel as culture medium. *Bioresource Technology*, 213: 276-282. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.022>.

Picazo, B., Flores-Gallegos, A. C., Ilna, A., Rodríguez-Jasso, R. M., & Aguilar, C. N. (2019). Production of an enzymatic extract from *Aspergillus oryzae* DIA-MF to improve the fructooligosaccharides profile of aguamiel. *Frontiers in Nutrition*, 6: 15. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00015>.

Schorsch, J., Castro, C. C., Couto, L. D., Nobre, C., & Kinnaert, M. (2019). Optimal control for fermentative production of fructo-oligosaccharides in fed-batch bioreactor. *Journal of Process Control*, 78: 124-138. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2019.03.004>.

Trapala, J., Bustos-Jaimes, I., Manzanares, P., Bárzana, E., & Montiel, C. (2020). Purification and characterization of an inulinase produced by a *Kluyveromyces marxianus* strain isolated from blue agave bagasse. *Protein Expression and Purification*, 176: 105718. DOI: 10.1016/j.pep.2020.105718

Yun, J. W. (1996). Fructooligosaccharides—occurrence, preparation, and application. *Enzyme and microbial technology*, 19(2): 107-117. [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(95\)00188-3](https://doi.org/10.1016/0141-0229(95)00188-3).