

**Artículo de divulgación científica**<https://doi.org/10.61767/mjte.004.1.1725>

González-Torres et al., 2025

Recibido: 25-01-2025

Revisado: 17-02-2025

Aceptado: 07-03-2025

Publicado: 01-04-2025

# Producción de levano microbiano y usos potenciales

## Microbial levan production and potential uses

Mariana González-Torres<sup>1</sup>, Francisco Hernández-Rosas<sup>1</sup>, Josafhat Salinas-Ruiz<sup>1</sup>, José Andrés Herrera Corredor<sup>1</sup>, Neith A. Pacheco-López<sup>2</sup> y Ricardo Hernández Martínez<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Federal Km 348, Congregación Manuel León, Municipio Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C.P. 94946.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste, Mérida, México, C.P. 97302.

<sup>3</sup> SECIHTI-Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Federal Km 348, Congregación Manuel León, Municipio Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C.P. 94946

\*Correspondencia: [odracerhema@gmail.com](mailto:odracerhema@gmail.com)

### Resumen

Los fructooligosacáridos (FOS) son carbohidratos no digeribles compuestos principalmente por cadenas de fructosa. Entre los FOS más importantes se encuentra el levano. Este biopolímero puede ser sintetizado por algunas plantas y microorganismos como bacterias y levaduras. La producción de levano por vía microbiana y por vía enzimática ha mostrado ser estrategias prometedoras para mejorar la eficiencia y la producción a gran escala. El levano tiene alta demanda en industrias como la alimentaria, la farmacéutica y la cosmética debido a sus propiedades fisicoquímicas que permiten utilizarlo como emulsificante, antioxidante, espesante, estabilizador y como prebiótico.

**Palabras clave:** Biopolímeros, microorganismos, biotecnología.

### Abstract

Fructooligosaccharides (FOS) are non-digestible carbohydrates composed mainly of fructose chains. Among the most important FOS is levan. This biopolymer can be synthesized by some plants and microorganisms such as bacteria and yeasts. The production of levan by microbial and enzymatic means has shown to be a promising strategy to improve efficiency and large-scale production. Levan is in high demand in industries such as food, pharmaceutical, and cosmetics due to its physicochemical properties that allow it to be used as an emulsifier, antioxidant, thickener, stabilizer, and as prebiotic.

**Keywords:** Biopolymers, microorganisms, biotechnology.



## Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

### 1. Introducción

El levano es un fructoligosacárido (FOS) que los microorganismos utilizan como protección de la célula contra la desecación. Asimismo, sirve de apoyo en la adhesión a superficies y como componente de biopelículas que contribuyen a la virulencia y como un reservorio extracelular de nutrientes que puede ser utilizado como fuente de energía por las bacterias en condiciones de inanición (Franken *et al.*, 2013). Por ejemplo, la bacteria *Gluconacetobacter diazotrophicus* produce el levano como una barrera de difusión de oxígeno creando condiciones microaeróbicas para la fijación de nitrógeno (Öner *et al.*, 2016).

Químicamente, levano es un biopolímero conformado por unidades de fructosa con una unidad terminal de glucosa conectadas mediante enlaces glucosídicos  $\beta$ -(2,1) y  $\beta$ -(2,6) en sus ramificaciones (Wang *et al.*, 2022). Es importante conocer algunas características del levano como el grado de polimerización, la estabilidad térmica y el peso molecular, para determinar el posible campo de aplicación (Mehta *et al.*, 2024).

Se ha reportado que el peso molecular del levano microbiano oscila entre 2 y 100 MDa (Wang *et al.*, 2022) y varía dependiendo de su origen, fuente de producción y de las condiciones de reacción (Pei *et al.*, 2020). El levano es considerado de alto peso molecular si es superior a los 500 kDa (Ahmad *et al.*, 2022). Asimismo, se ha reportado que a medida que aumenta el peso molecular del levano se confiere una alta viscosidad a las soluciones acuosas, por lo que dependiendo de la bacteria utilizada y las condiciones de cultivo el grado de polimerización del levano puede variar entre 5000 y 50,000 (Öner *et al.*, 2016)

Un aspecto relevante es que los biopolímeros microbianos son ampliamente aceptados debido a su facilidad de producción, diseño y aplicación en procesos industriales (Nambiar *et al.*, 2023). Este tipo de biopolímeros han atraído la atención debido a que diversos estudios han demostrado propiedades benéficas para la salud humana cuando son ingeridos (Bahroudi *et al.*, 2020). Por

ejemplo, son utilizados como edulcorantes debido a su bajo valor calórico con un nivel de dulzor entre 0.4 y 0.6 veces superior al de la sacarosa, esto los posiciona como una alternativa viable a la sacarosa en una amplia gama de productos alimenticios. Además, se ha reportado que mejoran la absorción de minerales como calcio y magnesio y promueven la reducción de colesterol y triglicéridos en el plasma sanguíneo (Bhadra *et al.*, 2022). La diversidad de usos de este tipo de biopolímeros los hace económicamente relevantes.

Se estima que la industria de los FOS genera un valor de 7.11 mil millones de dólares (Belmonte-Izquierdo *et al.*, 2023), lo que resalta su potencial como una alternativa viable para su aplicación en diversas industrias, como la alimentaria, farmacéutica y cosmética (Figura 1) (de la Rosa *et al.*, 2019).

### 2. Aplicaciones del levano

#### 2.1. Industria alimentaria

Debido a sus características funcionales y su bajo valor calórico, el levano es considerado como un prebiótico de gran importancia en la industria alimentaria (Chen *et al.*, 2023). El levano actúa como un sustrato que favorece el crecimiento de bacterias benéficas en el tracto digestivo, promoviendo un equilibrio saludable en el microbiota intestinal (Liu *et al.*, 2020). La estabilidad del levano durante la digestión le permite llegar al colon, donde es fermentado por las bacterias intestinales permitiendo la producción de ácidos grasos de cadena corta que son importantes para la salud intestinal (Xu *et al.*, 2023). En un estudio realizado por Xu y colaboradores (2022), se utilizó una levansacarasa recombinante de *Bacillus velezensis* para producir levano. Los resultados obtenidos demostraron un aumento en la capacidad de retención de agua en un yogur fermentado, por lo que concluyeron que podría usarse como aditivo en la industria alimentaria.

#### 2.2. Industria biomédica

El levano ha generado un gran interés en aplicaciones biomédicas debido a sus



## Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

propiedades biodegradables y biocompatibles. Las investigaciones actuales destacan su uso potencial en formulaciones y sistemas de liberación de fármacos y en tratamientos antimicrobianos, lo que sugiere un futuro prometedor para su aplicación en el área médica. En la industria biomédica, el levano ha sido reportado como antiinflamatorio, antioxidante y vehículo para transportar fármacos (González-Garcinuño *et al.*, 2018). El levano se comercializa como adhesivo a base de agua por Montana Biotech SE Inc., debido a su biocompatibilidad y facilidad de eliminación puede ser utilizado en aplicaciones biomédicas como apósitos para heridas y cintas médicas, (Mummaleti *et al.*, 2024).

### 2.3. Industria cosmética

El levano tiene la capacidad de retener agua, lo que mejora la hidratación de la piel y forma una

barrera que protege contra la pérdida de humedad, por lo que es considerado un humectante la industria cosmética. Actualmente existe en el mercado productos que contienen levano entre sus formulaciones. Por ejemplo, en el producto para cuidado de la piel Instant lifting eye contour de la marca Bella Aura™ el levano actúa como hidratante de la piel, mejora la regeneración y estimula la producción de colágeno, que promete como resultado una piel más firme y resistente. Asimismo, el suero iluminador con vitamina C al 20% y ácido hialurónico de la marca Goop Beauty, incluye al levano entre sus ingredientes, es un producto que se enfoca en mejorar el aspecto de la piel proporcionando firmeza e hidratación y busca dejar la piel con un aspecto radiante, luminoso y saludable.

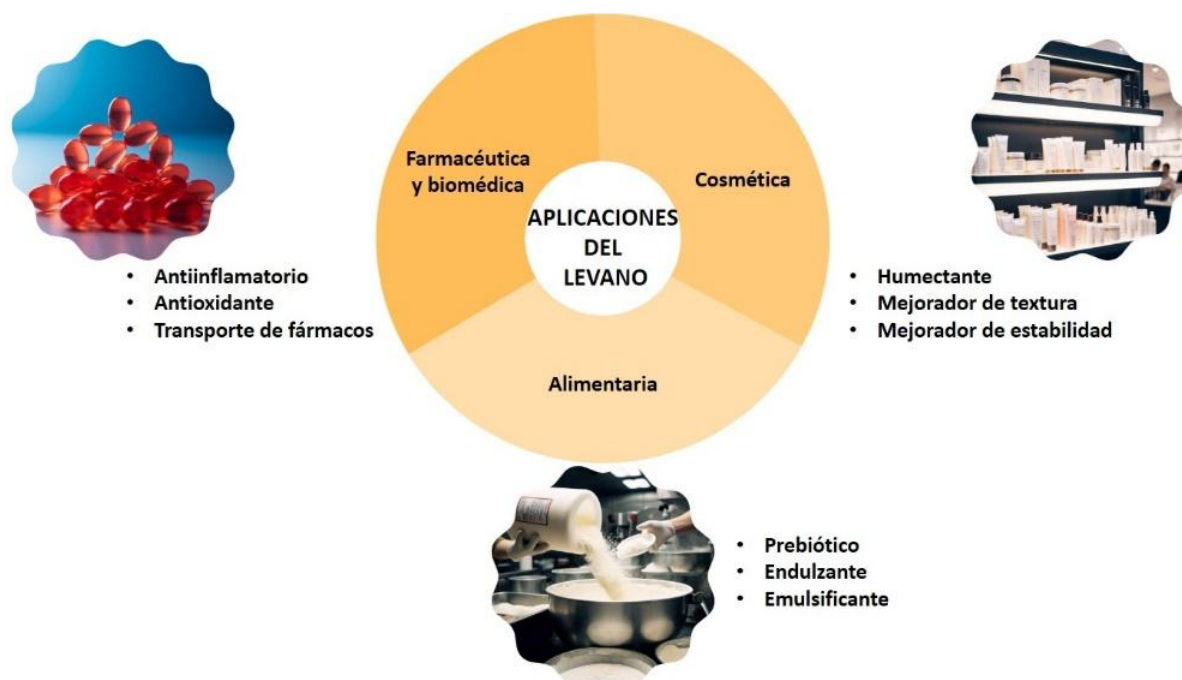


Figura 1. Aplicaciones del levano.



## Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

### 3. ¿Cómo se produce el levano microbiano?

El levano es producido por diversos microorganismos como bacterias gram positivas *Bacillus subtilis* y *Microbacterium laevaniformans* (Bae et al., 2008; Chidambaram et al., 2019), gram negativas *Zymomonas mobilis*, *Rahnella aquatilis* y *Pseudomona fluorescens* (de Siqueira et al., 2023; Korany et al., 2021) y levaduras como *Suhomyces kilbournensis* y *Pichia pastoris* (González-Torres et al., 2024; Ávila-Fernández et al., 2023).

Es importante resaltar que, los métodos y condiciones de producción pueden influir significativamente en las características del levano. El levano se puede producir utilizando células microbianas intactas por fermentación o sintetizarlo con enzimas nativas o recombinantes (Vega-Vidaurre et al., 2022; Ko et al., 2019). En el caso de la producción por vía microbiana existen diversos factores que influyen en el proceso de producción del levano como el tamaño del inóculo, el tiempo de fermentación, el pH inicial, temperatura y la fuente de carbono y nitrógeno (Srikanth et al., 2015). Otro factor importante que puede impactar sobre el rendimiento de levano es la composición química de los medios de fermentación como las fuentes de fosfatos, la tasa de agitación y el contenido de oxígeno (Korany et al., 2021).

Existen diferentes procesos para la producción de levano, como fermentación sumergida (FS), por lotes y por lotes alimentados (Mummaleti et al., 2024). De manera general, en la fermentación sumergida (FS) por lotes el protagonista es el microorganismo que se va a encargar de convertir las fuentes de carbono en otros bioproductos como los FOS (Esmeralda-Guzmán et al., 2024). En palabras simples, la FS por lotes se podría comparar con la elaboración del pan, donde mezclas la masa con una levadura y la dejas fermentar. En ese tiempo, la levadura usa el azúcar de la masa para liberar dióxido de carbono, haciendo que el pan se esponje. Esto es similar a una fermentación por lotes porque no le

agregas más azúcar o levadura a la masa preparada (Gujarathi et al., 2023).

Por otra parte, la FS por lotes alimentados puede compararse con una pecera. Imagina que tienes un pez y le pones todo un bote de comida de golpe, el pez podría enfermarse, desperdiciarla o morir. En cambio, si le das porciones pequeñas a lo largo del día el pez estará más saludable y aprovechará mejor la comida. En la FS por lotes alimentados se hace lo mismo, pero con microorganismos (Mahmoodi y Nassireslami, 2021). Ambos métodos son simples y tienen la ventaja de que las variables del proceso de producción pueden ser optimizadas para obtener rendimientos más altos.

Entre las ventajas que ofrecen estos sistemas se encuentra la capacidad para mejorar el rendimiento del producto, optimizar las condiciones de fermentación como la temperatura, pH, fuentes de carbono y nitrógeno y la valorización de sustratos como coproductos agroindustriales, entre ellos el bagazo, aguamiel, cáscaras de frutas, salvado de trigo y la melaza (Ramesh et al., 2022). Entre las desventajas se encuentran los costos producción altos, alto requerimiento energético y gran espacio requerido dependiendo del tamaño del biorreactor utilizado (López-Gómez y Venus, 2021).

Durante la fermentación los microorganismos expresan una enzima extracelular llamada levansacarasa (LS), la cual es responsable de la síntesis del levano a partir de sacarosa. En algunos casos el levano puede producirse solo con el uso de la enzima (Phengnoi et al., 2022). En términos simples, la enzima levansacarasa (LS), es una proteína que podría compararse con un pelador de fruta. Imagina que quieres cocinar un pay de manzana y necesitas las manzanas sin piel. Entonces tienes el pelador de fruta (levansacarasa), este utensilio se ajusta a la forma de la fruta (sustrato) y quita la piel de forma eficiente dejando solo la parte de la manzana que necesitas para elaborar el pay (Ávila-Fernández et al., 2023).



## Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

Para conocer un poco más, como se muestra en la Figura 2, la LS se sintetiza en el citoplasma y se acumula en el espacio periplásmico tomando su estructura final antes de ser secretada al medio externo (González-Garcinuño *et al.*, 2018). Sin embargo, la producción por vía enzimática a gran escala se ha visto limitada debido a problemas en los procesos de purificación y producción en masa (Öner *et al.*, 2016). Otro reto es el secado del producto, ya que los métodos utilizados en laboratorio, como el secado al vacío o la

liofilización no son fácilmente adaptables para escalas mayores (Zhang *et al.*, 2021). Es importante resaltar que la aplicación del levano no solo está influenciada por la estrategia de producción (microbiana o enzimática), sino que por el ajuste de las variables del sistema de producción como el pH, temperatura y nutrientes de los cuales dependerá la síntesis y características propiedades fisicoquímicas y biológicas del levano.

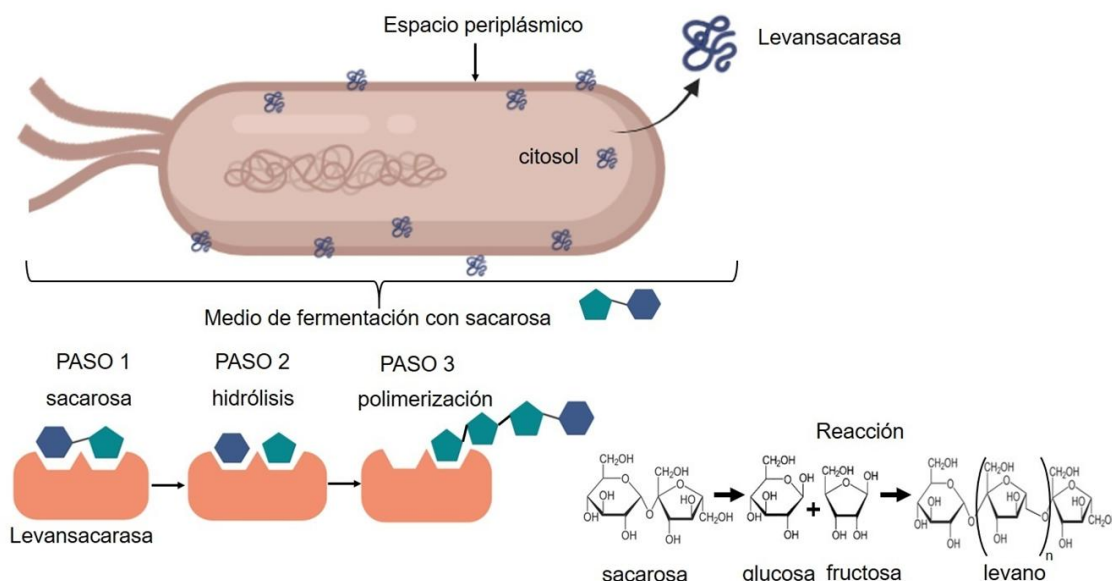


Figura 2. Mecanismo de acción de levansacarasa.

### 4. Conclusión

El levano es un fructooligosacárido que presenta un gran potencial para futuras investigaciones y aplicaciones industriales emergentes. El levano se perfila como una opción atractiva debido a sus características antioxidantes, estabilizantes, humectantes, prebióticas, entre otras, lo cual puede permitir su aplicación en campos de la industria biomédica, alimentaria, farmacéutica y cosmética. Por lo que es necesario el desarrollo

de un proceso sostenible para su producción a gran escala, no obstante, es fundamental superar desafíos técnicos, económicos y de investigación científica en la síntesis, producción y purificación.

### Declaraciones y afirmaciones

**Fondos:** Los autores declaran que no recibieron financiamiento para este trabajo.



## Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

**Conflicto de interés:** Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

**Aprobación de ética:** No aplica.

**Disponibilidad de los datos:** Contactar a los autores en caso de requerir las bases de datos de esta investigación.

**Contribución de los autores:** Contribuciones de los autores: Conceptualización, R.H.-M. y N.A.P.-L.; curación de datos, J.S.-R.; análisis formal, R.H.-M.; investigación, M.G.-T.; metodología, M.G.-T.; administración del proyecto, F.H.-R.; recursos, R.H.-M.; software, N.A.P.-L.; supervisión, R.H.-M.; validación, J.S.-R. y J.A.H.-C.; visualización, J.A.H.-C. y F.H.-R.; redacción: preparación del borrador original, M.G.-T. y R.H.-M.; redacción: revisión y edición, R.H.-M.; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

### Referencias

1. Ávila-Fernández, Á., Montiel, S., Rodríguez-Alegría, M. E., Caspeta, L., & López Munguía, A. (2023). Simultaneous enzyme production, Levan-type FOS synthesis and sugar by-products elimination using a recombinant *Pichia pastoris* strain expressing a levansucrase-endolevanase fusion enzyme. *Microbial Cell Factories*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12934-022-02009-7>
2. Ahmad, W., Nasir, A., Sattar, F., Ashfaq, I., Chen, M. H., Hayat, A., Rehman, M. ur, Zhao, S., Khaliq, S., Ghauri, M. A., & Anwar, M. A. (2022). Production of bimodal molecular weight levan by a *Lactobacillus reuteri* isolate from fish gut. *Folia Microbiologica*, 67(1), 21–31. <https://doi.org/10.1007/s12223-021-00913-w>
3. Bae, I. Y., Oh, I. K., Lee, S., Yoo, S. H., & Lee, H. G. (2008). Rheological characterization of levan polysaccharides from *Microbacterium laevaniformans*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 42(1), 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2007.08.006>
4. Bahroudi, S., Shabanpour, B., Combie, J., Shabani, A., & Salimi, M. (2020). Levan exerts health benefit effect through alteration in bifidobacteria population. *Iranian Biomedical Journal*, 24(1), 54–59. <https://doi.org/10.29252/ibj.24.1.54>
5. Bhadra, S., Chettri, D., & Verma, A. K. (2022). Microbes in fructooligosaccharides production. *Bioresource Technology Reports*, 20, 101159. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101159>
6. Belmonte-Izquierdo, Y., Salomé-Abarca, L. F., González-Hernández, J. C., & López, M. G. (2023). Fructooligosaccharides (FOS) Production by Microorganisms with Fructosyltransferase Activity. *Fermentation*, 9(11), 1–30. <https://doi.org/10.3390/fermentation9110968>
7. Chen, W., Tan, D., Yang, Z., Tang, J., Bai, W., & Tian, L. (2023). Fermentation patterns of prebiotics fructooligosaccharides-SCFA esters inoculated with fecal microbiota from ulcerative colitis patients. *Food and Chemical Toxicology*, 180(August), 114009. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.114009>
8. Chidambaram, J. S. C. A., Veerapandian, B., Sarwareddy, K. K., Mani, K. P., Shanmugam, S. R., & Venkatachalam, P. (2019). Studies on solvent precipitation of levan synthesized using *Bacillus subtilis* MTCC 441. *Heliyon*, 5(9), e02414. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02414>
9. de la Rosa, O., Flores-Gallegos, A. C., Muñiz-Marquez, D., Nobre, C., Contreras-Esquivel, J. C., & Aguilar, C. N. (2019). Fructooligosaccharides production from agro-wastes as alternative low-cost source.





## Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

- Trends in Food Science & Technology, 91, 139-146.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.013>
10. de Siqueira, E.C.; Öner, E.T. Co-production of levan with other high-value bioproducts: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* 2023, 235, 123800.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123800>
  11. Esmeralda-Guzmán, M., Juan, J. B. F., Aguilar, C. N., Juan, A. A. V., & Sepúlveda, L. (2024). Parameters That Influence the Fermentation Submerged Process: Bioprocess Development in Biotechnology. *Bioresources and Bioprocess in Biotechnology for a Sustainable Future*, 179-200.
  12. Franken, J., Brandt, B. A., Tai, S. L., & Bauer, F. F. (2013). Biosynthesis of levan, a bacterial extracellular polysaccharide, in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *PLoS one*, 8(10), e77499.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077499>
  13. González-Garcinuño, Á., Tabernero, A., Domínguez, Á., Galán, M. A., & Martín del Valle, E. M. (2018). Levan and levansucrases: Polymer, enzyme, micro-organisms and biomedical applications. *Biocatalysis and Biotransformation*, 36(3), 233-244.  
<https://doi.org/10.1080/10242422.2017.1314467>
  14. González-Torres, M., Hernández-Rosas, F., Pacheco, N., Salinas-Ruiz, J., Herrera-Corredor, J. A., & Hernández-Martínez, R. (2024). Levan Production by *Suhomyces kilbournensis* Using Sugarcane Molasses as a Carbon Source in Submerged Fermentation. *Molecules*, 29(5), 1-12.  
<https://doi.org/10.3390/molecules29051105>
  15. Gujarathi, A. M., Patel, S. P., & Siyabi, B. Al. (2023). Insight into evolutionary optimization approach of batch and fed-batch fermenters for lactic acid production. *Digital Chemical Engineering*, 8(February), 100105.  
<https://doi.org/10.1016/j.dche.2023.100105>
  16. Ko, H., Bae, J. H., Sung, B. H., Kim, M. J., Kim, C. H., Oh, B. R., & Sohn, J. H. (2019). Efficient production of levan using a recombinant yeast *Saccharomyces cerevisiae* hypersecreting a bacterial levansucrase. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 46(11), 1611-1620.  
<https://doi.org/10.1007/s10295-019-02206-1>
  17. Korany, S. M., El-Hendawy, H. H., Sonbol, H., & Hamada, M. A. (2021). Partial characterization of levan polymer from *Pseudomonas fluorescens* with significant cytotoxic and antioxidant activity. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(11), 6679-6689.  
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.008>
  18. Liu, C., Kolida, S., Charalampopoulos, D., & Rastall, R. A. (2020). An evaluation of the prebiotic potential of microbial levans from *Erwinia* sp. 10119. *Journal of Functional Foods*, 64(August 2019).  
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103668>
  19. López-Gómez, J. P., & Venus, J. (2021). Potential role of sequential solid-state and submerged-liquid fermentations in a circular bioeconomy. *Fermentation*, 7(2).  
<https://doi.org/10.3390/fermentation7020076>
  20. Mahmoodi, M., & Nassireslami, E. (2022). Control algorithms and strategies of feeding for fed-batch fermentation of *Escherichia coli*: a review of 40 years of experience. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 52(7), 823-834.



## Artículo de divulgación científica

González-Torres et al., 2025

21. Mehta, K., Shukla, A., & Saraf, M. (2024). Production Kinetics and Structural Characterization of Levan Derived from *Bacillus megaterium* KM3 Using Pretreated Cane Molasses. *Journal of Polymers and the Environment*, 32(4), 1602–1618. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-03054-y>
22. Mummaleti, G., Sarma, C., Yarrakula, S., Urla, R., & Gazula, H. (2024). Production, properties and applications of levan polysaccharide. *Food and Humanity*, 3(July), 100369. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100369>
23. Nambiar, K., P, S. K., Devaraj, D., & Sevanan, M. (2024). Development of biopolymers from microbes and their environmental applications. *Physical Sciences Reviews*, 9(4), 1903-1929.
24. Öner, E. T., Hernández, L., & Combie, J. (2016). Review of Levan polysaccharide: From a century of past experiences to future prospects. *Biotechnology Advances*, 34(5), 827–844. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.05.002>
25. Pei, F., Ma, Y., Chen, X., & Liu, H. (2020). Purification and structural characterization and antioxidant activity of levan from *Bacillus megaterium* PFY-147. *International Journal of Biological Macromolecules*, 161, 1181–1188. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.140>
26. Phengnoi, P., Thakham, N., Rachphiom, T., Teerakulkittipong, N., Lirio, G. A., & Jangiam, W. (2022). Characterization of levansucrase produced by novel *Bacillus siamensis* and optimization of culture condition for levan biosynthesis. *Heliyon*, 8(12), e12137. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12137>
27. Ramesh, C., Prasastha, V. R., Venkatachalam, M., & Dufossé, L. (2022). Natural Substrates and Culture Conditions to Produce Pigments from Potential Microbes in Submerged Fermentation. *Fermentation*, 8(9), 1–23. <https://doi.org/10.3390/fermentation809060>
28. Srikanth, R., Siddartha, G., Sundhar Reddy, C. H. S. S., Harish, B. S., Janaki Ramaiah, M., & Uppuluri, K. B. (2015). Antioxidant and anti-inflammatory levan produced from *Acetobacter xylinum* NCIM2526 and its statistical optimization. *Carbohydrate Polymers*, 123, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.079>
29. Vega-Vidaurri, J.A.; Hernández-Rosas, F.; Ríos-Corripio, M.A.; Loeza-Corte, J.M.; Rojas-López, M.; Hernández-Martínez, R. Coproduction of polyhydroxyalkanoates and exopolysaccharide by submerged fermentation using autochthonous bacterial strains. *Chem. Pap.* 2022, 76, 2419–2429. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-02046-3>
30. Wang, J., Xu, X., Zhao, F., Yin, N., Zhou, Z., & Han, Y. (2022). Biosynthesis and Structural Characterization of Levan by a Recombinant Levansucrase from *Bacillus subtilis* ZW019. *Waste and Biomass Valorization*, 13(11), 4599–4609. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01814-w>
31. Xu, M., Pan, L., Zhou, Z., & Han, Y. (2022). Structural characterization of levan synthesized by a recombinant levansucrase and its application as yogurt stabilizers. *Carbohydrate Polymers*, 291(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119519>





## **Artículo de divulgación científica**

**González-Torres et al., 2025**

32. Xu, M., Pan, L., Wang, B., Zou, X., Zhang, A., Zhou, Z., & Han, Y. (2023). Simulated digestion and fecal fermentation behaviors of levan and its impacts on the gut microbiota. *Journal of agricultural and food chemistry*, 71(3), 1531-1546.
  
33. Zhang, X., Liang, Y., Yang, H., Yang, H., Chen, S., Huang, F., Hou, Y., & Huang, R. (2021). A novel fusion levansucrase improves thermostability of polymerization and production of high molecular weight levan. *Lwt*, 150(June), 111951. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111951>