

Artículo de divulgación

## Probióticos y gelación iónica: una alternativa para el bienestar intestinal en humanos

*Probiotics and ionic gelation: an alternative for gut wellness in humans*

Lorena Yarabi Arroyo Nevárez <sup>1</sup> , Luz Araceli Ochoa Martínez <sup>1</sup> , Silvia Marina González Herrera <sup>1</sup> , Rubén Francisco González Laredo <sup>1</sup> , Héctor Alejandro Luna Solís <sup>1</sup> , Gabriela Bermúdez Quiñones <sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Laboratorio Nacional CONAHCYT de Apoyo a la Evaluación de Productos Bióticos (LaNAEPBi), Unidad de Servicio. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Durango, Departamento de Ingenierías Química y Bioquímica, Felipe Pescador 1830 Ote., C.P. 34080, Durango, Dgo., México

\* Autor para correspondencia: [gbermudez@itdurango.edu.mx](mailto:gbermudez@itdurango.edu.mx)

### Recibido:

12/11/2024

### Aceptado:

2/09/2025

### Publicado:

13/10/2025

### RESUMEN

La encapsulación de probióticos, especialmente mediante gelación iónica, es clave para optimizar su efectividad y asegurar que lleguen al intestino delgado y colon, donde pueden mejorar la salud intestinal. Esta técnica protege a los probióticos de las condiciones adversas del sistema digestivo y facilita su liberación controlada en el intestino, maximizando su beneficio. Además, la gelación iónica es sencilla, económica y segura, lo cual permite su uso en la producción de alimentos y suplementos probióticos. Así, se potencia el impacto positivo de los probióticos, mejorando el equilibrio de la microbiota y contribuyendo a una mejor digestión.

**Palabras clave:** Encapsulación, Gelación iónica, Probióticos,

### ABSTRACT

Encapsulation of probiotics, especially through ionic gelation, is key to optimizing their effectiveness and ensuring they reach the small intestine and colon, where they can improve intestinal health. This technique protects probiotics from adverse conditions in the digestive system and facilitates their controlled release into the intestine, maximizing their benefit. In addition, ionic gelation is simple, inexpensive and safe, which allows its use in the production of probiotic foods and supplements. Thus, the positive impact of probiotics is enhanced, improving the balance of the microbiota and contributing to better digestion.

**Keywords:** Encapsulation, Ionic gelation, Probiotics.

## INTRODUCCIÓN

La salud intestinal desempeña un papel crucial en el bienestar general, y los probióticos se han convertido en aliados esenciales gracias a sus efectos positivos en la salud.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), los probióticos son microorganismos vivos que, al ser ingeridos en cantidades adecuadas como parte de la dieta, aportan beneficios a la salud del consumidor. Para que un producto sea considerado probiótico y tenga un efecto

terapéutico, se recomienda que contenga entre  $10^6$  y  $10^7$  UFC por gramo de probióticos viables, o un total de  $10^8$  a  $10^9$  UFC, con base en una ingesta diaria mínima de 100 gramos o 100 mililitros del alimento probiótico (Liao et al., 2021).

Entre sus funciones más destacadas se incluyen la producción de sustancias que inhiben patógenos, la degradación de toxinas, la modulación de la microbiota intestinal, la prevención de la adhesión de ciertas bacterias como las del género *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Así mismo, los probióticos fortalecen el sistema inmunológico, mejorando la respuesta del organismo ante agentes externos (Mingkang et al., 2024).

Estos microorganismos se pueden encontrar disponibles en diversas formas, como alimentos funcionales y suplementos alimenticios los cuales se administran por vía oral. La creciente preocupación por la salud y la calidad de vida ha impulsado exponencialmente la industria de los alimentos probióticos en las últimas décadas (Obradović et al., 2022).

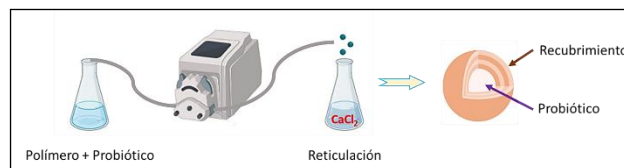
No obstante, la inclusión de probióticos en alimentos presenta varios desafíos, ya que deben sobrevivir en condiciones adversas (calor, presión osmótica, pH ácido, condiciones gastrointestinales, actividad de agua reducida, agotamiento de nutrientes) durante el procesamiento, almacenamiento, y tránsito a través del tracto gastrointestinal (Adilah et al., 2022). Para superar estos obstáculos, la encapsulación de probióticos ha surgido como una estrategia innovadora.

Las técnicas de encapsulación más comunes incluyen el secado por aspersión, la extrusión, la coacervación, la emulsión y la liofilización. Entre ellas, la gelación iónica destaca por su sencillez operativa (Ortiz-Romero et al., 2021). Esta técnica no solo crea una barrera protectora para los probióticos, sino que también ofrece biocompatibilidad y liberación controlada en el intestino, donde ejercen su acción benéfica.

El presente artículo se enfoca en divulgar información científica sobre la importancia y relevancia de la encapsulación de probióticos mediante gelación iónica, así como sus beneficios para la salud intestinal.

## ¿QUÉ ES LA GELACIÓN IÓNICA?

La gelación iónica es una técnica en la que se utiliza una interacción entre iones para formar una red de gel que puede encapsular diversos compuestos, como los probióticos. Este proceso es particularmente útil en aplicaciones alimentarias debido a su capacidad de proteger sustancias sensibles en condiciones adversas. Existen cinco tipos de mecanismos de gelificación iónica: gelificación interna, externa, inversa, interfacial e interrumpida (Alkhatib et al., 2022). La más común es la gelación iónica externa, que se emplea para producir cápsulas. Esta técnica requiere polímeros como materiales de recubrimiento, por ejemplo; proteínas, carbohidratos, lípidos, y materiales inorgánicos, además de una solución reticulante, usualmente iones de calcio (Figura 1). Cuando el polímero cargado negativamente (como el alginato de sodio) forma una red tridimensional al entrar en contacto con iones cargados positivamente (como  $\text{Ca}^{2+}$  del cloruro de calcio), se lleva a cabo la reticulación y en consecuencia la formación de cápsulas.



**Figura 1.** Técnica de gelación iónica.

La gelación iónica es popular porque es relativamente simple, económica y no requiere ningún equipo especial (Miranda-Linares et al., 2019), y, además, no utiliza disolventes orgánicos, altas temperaturas ( $>50^\circ\text{C}$ ) o agitación vigorosa, lo que la convierte en una técnica segura para los probióticos. Adicionalmente, permite un control sobre el tamaño de las cápsulas y la tasa de liberación de los microorganismos, logrando que lleguen en condiciones óptimas al intestino, donde cumplen su función.

## ¿POR QUÉ ENCAPSULAR PROBIÓTICOS?

Encapsular probióticos es esencial para protegerlos y maximizar sus beneficios en el organismo, ya que son sensibles al ambiente del tracto digestivo, especialmente al paso por el estómago, donde el ácido gástrico y las enzimas pueden destruirlos antes de que lleguen al intestino delgado o colon. La encapsulación de probióticos es una estrategia que busca mejorar su

viabilidad durante el procesamiento de alimentos y en el intestino (Guo et al., 2022).

Las cápsulas obtenidas mediante gelación iónica no solo ofrecen protección física para los probióticos, sino que también permiten una liberación controlada de los probióticos en el intestino delgado o colon; estas características son favorables, por lo que pueden considerarse como una alternativa de incorporación a los alimentos (Holkem et al., 2016). Cuando los probióticos lleguen viables a su destino, estos pueden colonizar el intestino y contribuir a la salud intestinal. Además, al encapsular los probióticos, es posible aumentar su estabilidad durante el almacenamiento, ya que las cápsulas los protegen de la humedad, el oxígeno y la temperatura. Así, los productos encapsulados ofrecen una manera más eficiente y confiable de entregar probióticos viables.

## **VENTAJAS DE LA GELACIÓN IÓNICA SOBRE OTROS MÉTODOS DE ENCAPSULACIÓN**

La gelación iónica presenta varias ventajas sobre otros métodos de encapsulación, como el secado por atomización o la microencapsulación química: primero, porque es una técnica que utiliza la temperatura ambiente, lo cual es crucial para mantener la viabilidad de los probióticos, que pueden ser sensibles al calor y, segundo, porque la gelación iónica se basa en polímeros naturales, lo que la hace más segura y compatible con aplicaciones alimentarias y farmacéuticas (Figura 2). Otra ventaja es que permite controlar el tamaño de las cápsulas, el cual tiene un diámetro menor de 2000 µm (Ortiz-Romero et al., 2021).

La red de gel que se forma mediante la gelación iónica puede ajustarse para liberar gradualmente los probióticos en el intestino, lo cual es ideal para optimizar su efecto. En comparación con otros métodos, la gelación iónica es también más económica y simple, ya que solo requiere la interacción entre los iones y los polímeros. Esta técnica se adapta a escalas industriales, lo que facilita su implementación en la producción de suplementos y alimentos funcionales con probióticos encapsulados.



**Figura 2.** Ventajas de la gelación iónica en la encapsulación de probióticos.

## **BENEFICIOS DE LOS PROBIÓTICOS ENCAPSULADOS PARA LA SALUD INTESTINAL**

Los probióticos encapsulados ofrecen múltiples beneficios para la salud intestinal, especialmente al utilizar técnicas como la gelación iónica, lo cual garantizan su viabilidad y eficacia. Al ser encapsulados, estos microorganismos llegan al intestino, donde pueden ejercer diversas funciones, tales como equilibrar la microbiota intestinal, mejorar la digestión y reforzar el sistema inmunológico. Además, estimulan las células epiteliales intestinales a secretar más mucina que sirve para protección y lubricación de las superficies epiteliales, disminuyen la inflamación, y pueden participar en la conexión entre diferentes ejes, como microbioma-intestino-cerebro, microbioma-intestino-hígado y microbioma-intestino-pulmón (Spacova et al., 2020). Ayudan al alivio del estreñimiento y de la intolerancia a la lactosa, mejoran el sueño y ayudan a prevenir infecciones virales (West et al., 2021). También fortalecen la barrera intestinal y modulan la respuesta inmune, además de contribuir a la producción de ácidos grasos de cadena corta que favorecen la integridad del epitelio intestinal y compiten con patógenos por nutrientes o sitios de adhesión, previniendo infecciones y trastornos digestivos como el síndrome de intestino irritable y la diarrea asociada a antibióticos (Mazziotta et al., 2023; Latif et al., 2023).

La encapsulación también permite crear formulaciones con dosis específicas de probióticos viables que se liberan

gradualmente en el tracto intestinal, lo que maximiza sus beneficios. Estas opciones pueden encontrarse en suplementos y alimentos funcionales, como yogures (Romero-Chapol et al., 2022), gomitas (Vigil-Cuate et al., 2024) y chocolates (Lasta et al., 2021), que se pueden consumir de forma cómoda y segura.

## CONCLUSIONES

El tracto gastrointestinal no solo participa en la digestión y absorción de nutrientes, sino que también desempeña un papel clave en la inmunidad y desintoxicación. Su correcto funcionamiento es esencial para la salud general, ya que está influenciado por la microbiota intestinal. La encapsulación de probióticos mediante gelación iónica es una estrategia innovadora que mejora su efectividad al protegerlos del entorno digestivo, permitiendo su liberación controlada en el intestino. Este método garantiza una mayor estabilidad y viabilidad de los probióticos, y favorece el equilibrio de la microbiota y la salud intestinal. Además, la gelación iónica es una técnica segura, económica y escalable a nivel industrial, lo que la hace ideal para su aplicación en suplementos y alimentos funcionales. Su implementación representa un avance en la optimización del uso de probióticos al ofrecer soluciones accesibles y eficaces que mejoran el bienestar digestivo y fortalecen el sistema inmune.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al TecNM / Instituto Tecnológico de Durango por el financiamiento otorgado al proyecto 20639.24-P. LYAN con CVU 1306534 agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada para estudios de Maestría.

## Literatura citada

Adilah, R. N., Chiu, S., Hu, S., Ballantyne, R., Happy, N., Cheng, A., & Liu, C. (2022). Improvement in the probiotic efficacy of *Bacillus subtilis* E20-stimulates growth and health status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* via encapsulation in alginate and coated with chitosan. *Fish & Shellfish Immunology*, 125, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.05.002>

Alkhatib, H., Doolaanea, A. A., Assadpour, E., Sabere, A. S. M., Mohamed, F., & Jafari, S. M. (2022). Optimizing the encapsulation of black seed oil into alginate beads by ionic gelation. *Journal Of Food Engineering*, 328, 111065. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111065>

Guo, Q., Li, S., Tang, J., Chang, S., Qiang, L., Du, G., Yue, T., & Yuan, Y. (2022). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* by spray drying: Protective effects during simulated food processing, gastrointestinal conditions, and in kefir. *International Journal of Biological Macromolecules*, 194, 539-545. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.096>

Holkem, A. T., Raddatz, G. C., Barin, J. S., Flores, É. M. M., Muller, E. I., Codevilla, C. F., Jacob-Lopes, E., Grosso, C. R. F., & De Menezes, C. R. (2016). Production of microcapsules containing *Bifidobacterium* BB-12 by emulsification/internal gelation. *LWT*, 76, 216-221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.013>

Lasta, E. L., da Silva Pereira Ronning, E., Dekker, R. F. H., & da Cunha, M. A. A. (2021). Encapsulation and dispersion of *Lactobacillus acidophilus* in a chocolate coating as a strategy for maintaining cell viability in cereal bars. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00077-0>

Latif, A., Shehzad, A., Niazi, S., Zahid, A., Ashraf, W., Iqbal, M. W., Rehman, A., Riaz, T., Aadil, R. M., Khan, I. M., Özogul, F., Rocha, J. M., Esatbeyoglu, T., & Korma, S. A. (2023). Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. *Frontiers In Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1216674>

Liao, Y., Hu, Y., Fu, N., Hu, J., Xiong, H., Chen, X. D., & Zhao, Q. (2021). Maillard conjugates of whey protein isolate-xylooligosaccharides for the microencapsulation of: *Lactobacillus rhamnosus*: Protective effects and stability during spray drying, storage and gastrointestinal digestion. *Food and Function*, 12(9), 4034-4045. <https://doi.org/10.1039/d0fo03439h>

Mazziotta, C., Tognon, M., Martini, F., Torreggiani, E., & Rotondo, J. C. (2023). Probiotics Mechanism of Action on Immune Cells and Beneficial Effects on Human Health. *Cells*, 12(1), 184. <https://doi.org/10.3390/cells12010184>



- Mingkang, L., Chen, J., Dharmasiddhi, I. P. W., Chen, S., Liu, Y., & Liu, H. (2024). Review of the Potential of Probiotics in Disease Treatment: Mechanisms, Engineering, and Applications. *Processes*, 12(2), 316. <https://doi.org/10.3390/pr12020316>
- Miranda-Linares, V., Quintanar-Guerrero, D., Del Real, A., & Zambrano-Zaragoza, M. (2019). Spray-drying method for the encapsulation of a functionalized ingredient in alginate-pectin nano- and microparticles loaded with distinct natural actives: Stability and antioxidant effect. *Food Hydrocolloids*, 101, 105560. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105560>
- Obradović, N., Volić, M., Nedović, V., Rakin, M., & Bugarski, B. (2022). Microencapsulation of probiotic starter culture in protein-carbohydrate carriers using spray and freeze-drying processes: Implementation in whey-based beverages. *Journal Of Food Engineering*, 321, 110948. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110948>
- Ortiz-Romero, N., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quñones, O. M., & Gallegos-Infante, J. A. (2021). Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica: una revisión sistemática. *TecnoLógicas*, 24(52), e1962. <https://doi.org/10.22430/22565337.1962>
- Romero-Chapol, O. O., Varela-Pérez, A., Castillo-Olmos, A. G., García, H. S., Singh, J., García-Ramírez, P. J., Viveros-Contreras, R., Figueroa-Hernández, C. Y., & Cano-Sarmiento, C. (2022). Encapsulation of *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG: Probiotic Survival, *In Vitro* Digestion and Viability in Apple Juice and Yogurt. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12042141>
- Spacova, I., Van Beeck, W., Seys, S., Devos, F., Vanoirbeek, J., Vanderleyden, J., Ceuppens, J., Petrova, M., & Lebeer, S. (2020). *Lactobacillus rhamnosus* probiotic prevents airway function deterioration and promotes gut microbiome resilience in a murine asthma model. *Gut Microbes*, 11(6), 1729-1744. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1766345>
- Vigil-Cuate, L. K., Avila-Reyes, S. V., Camacho-Díaz, B. H., Hernández-Sánchez, H., Osorio-Díaz, P., Jiménez-Aparicio, A. R., Robert, P., & Arenas-Ocampo, M. L. (2024). Effect of Agavins and Agave Syrup Use in the Formulation of a Synbiotic Gelatin Gummy with Microcapsules of *Saccharomyces Boulardii*. *Gels*, 10(5), 1-17. <https://doi.org/10.3390/gels10050299>
- West, N. P., Hughes, L., Ramsey, R., Zhang, P., Martoni, C. J., Leyer, G. J., Cripps, A. W., & Cox, A. J. (2021). Probiotics, Anticipation Stress, and the Acute Immune Response to Night Shift. *Frontiers In Immunology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.599547>

**Aviso legal/Nota del editor:** Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

