

Artículo de divulgación

Probióticos encapsulados por gelación iónica: Aliados blindados

Probiotics encapsulated by ionic gelation: Armored Allies

Manuel Antonio Morales Contreras ¹, Silvia Marina González Herrera ¹, Gabriela Bermúdez Quiñones ^{1,*}, Héctor Alejandro Luna Solís , Luz Araceli Ochoa Martínez , José Albero Gallegos Infante 

¹ 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

Recibido:

30/06/2026

Aceptado:

12/09/2026

Publicado:

21/09/2026

RESUMEN

La encapsulación por gelificación iónica es una técnica que protege y preserva diversos microorganismos de interés, incluidos los probióticos. Su función consiste en formar una barrera que ayuda a mantener su viabilidad durante el procesamiento de los alimentos y frente a las condiciones adversas del sistema digestivo, favoreciendo así su llegada al intestino delgado y al colon, donde pueden ejercer efectos beneficiosos para el consumidor. Además, se trata de un método económico, sencillo y seguro, lo que lo hace atractivo para la industria alimentaria en el desarrollo de alimentos funcionales. Su aplicación puede contribuir a fomentar el consumo de probióticos, favorecer el equilibrio de la microbiota intestinal y mejorar la digestión.

Palabras clave: Encapsulación, probióticos, gelación iónica, alginato de sodio

ABSTRACT

Ionic gelation encapsulation is a technique that protects and preserves various microorganisms of interest, including probiotics. Its function is to form a barrier that helps keep them viable during food processing and under the adverse conditions of the digestive system, favoring their arrival in the small intestine and colon, where they can exert beneficial effects on the consumer. In addition, it is an economical, simple, and safe method, making it attractive for the food industry in the development of functional foods. Its application may help promote probiotic consumption, support the balance of the intestinal microbiota, and contribute to better digestion.

Keywords: Encapsulation, probiotics, ionic gelation, sodium alginate

INTRODUCCIÓN

Los probióticos son microorganismos que cuando se ingieren en cantidades adecuadas tienen beneficios sobre la salud intestinal de la persona que los consume (Hill et al., 2014), comúnmente una dosis de entre 10^8 a 10^{11} UFC. Además, pueden ser una alternativa en el tratamiento y la prevención de enfermedades gastrointestinales (Hill et al., 2014; Zeng et al., 2025). Entre los beneficios resalta el fortalecimiento al sistema inmunológico, contribución a la salud del corazón y el buen funcionamiento del organismo, reduciendo los niveles de colesterol y haciendo que el cuerpo utilice de mejor manera la glucosa (Sarita et al., 2024). Y aunque esta idea puede parecer moderna, tiene sus orígenes en 1907, cuando el científico ruso Élie Metchnikoff observó que en los campesinos búlgaros que bebían yogurt envejecían más saludablemente (Mackowiak, 2013). Él propuso que ciertas bacterias presentes en alimentos fermentados eran capaces de colonizar el intestino y dejar a un lado a las dañinas. Hoy, más de un siglo después, la ciencia moderna comprobó lo que este científico intuía y se ha descubierto que los probióticos influyen en varias funciones, incluso en la comunicación entre el intestino y el cerebro (Kelly et al., 2015; Mörtl et al., 2020).

Entonces... ¿por qué son tan importantes? El tracto gastrointestinal humano contiene una comunidad diversa de microorganismos, conocida como microbiota intestinal, estimada en cientos de millones de bacterias, que en la mucosa intestinal (superficie de 250 a 400 m²), formando un ecosistema microbiano (Aureli et al., 2011; Kelly et al., 2015). Cuando existe un equilibrio en la composición y función de la microbiota intestinal, se presenta un estado de eubiosis, el cual es asociado con una condición fisiológica saludable. En cambio, cuando este equilibrio es alterado, ya sea por cambios en la composición o función de la microbiota intestinal, puede dar lugar a un estado de disbiosis, la cual se asocia con alteraciones gastrointestinales, procesos inflamatorios y, posibles efectos en el estado de ánimo y otros aspectos de la salud mental (Kelly et al., 2015; Latif et al., 2023; Petrariu et al., 2024).

En este sentido, los probióticos pueden actuar como aliados vivos de la microbiota intestinal. Entre sus principales mecanismos se encuentran la competencia con microorganismos potencialmente dañinos por nutrientes y sitios de adhesión, la producción de sustancias antimicrobianas y la modulación de las defensas del organismo. Además, pueden contribuir al funcionamiento adecuado del sistema digestivo (López-Yerena et al., 2024; Petrariu et al., 2024). Esto es relevante porque la microbiota intestinal participa en el aprovechamiento de ciertos componentes de los alimentos que las enzimas humanas no pueden degradar por completo, como algunos carbohidratos y fibras. Su fermentación genera compuestos que pueden ser utilizados por el organismo y contribuir al equilibrio del ambiente intestinal (López-Yerena et al., 2024; Petrariu et al., 2024b), ya que, si no existieran estos microorganismos, se producirían complicaciones digestivas, debido a que el cuerpo no puede digerir ciertos nutrientes (Facioni et al., 2020; Stavropoulou and Bezirtzoglou, 2020). Y si bien, como se ha visto, los probióticos poseen diversos beneficios cuando se consumen, para que estos beneficios se logren, depende un factor crítico: que las bacterias ingeridas sobrevivan a las condiciones hostiles y lleguen en cantidad suficiente al intestino. Sin embargo, el 60 % de las bacterias ingeridas mueren a mitad del trayecto, reduciendo drásticamente su impacto en la salud (Asgari et al., 2020).

Por esta razón, en los últimos años se han propuesto investigaciones dedicadas al diseño de sistemas de encapsulación, utilizando polímeros de origen natural como alginato, entre otros materiales que pueden actuar como una barrera inteligente.

EL GRAN RETO: SOBREVIVIR AL VIAJE DIGESTIVO

Para que los probióticos puedan tener efectos benéficos en la salud humana, deben consumirse por vía oral y llegar al intestino para su posterior colonización. Sin embargo, durante su procesamiento, almacenamiento y

tránsito por el sistema digestivo, estos microorganismos se enfrentan a diversas condiciones adversas que pueden comprometer su supervivencia, (Mendonça et al., 2023; Farahmand et al., 2024), como se resume en la Figura 1. Una de ellas es la acidez del estómago, que ofrece un ambiente agresivo para los probióticos, eliminando estos microorganismos antes de que puedan llegar al intestino (Starovoitova et al., 2022; Bustos et al., 2025). Además, las sales biliares y enzimas digestivas pueden dañar a las células probióticas, lo que afecta su supervivencia (Sridhar et al., 2022; Bustos et al., 2025). A esto se le suman otros factores que pueden dañar y comprometer la supervivencia de estos microorganismos durante su procesamiento o almacenamiento como las altas temperaturas o la presencia de oxígeno y humedad (Kieps and Dembczyński, 2022; Sibanda et al., 2024; Farahmand et al., 2024).



Figura 1. Principales factores que pueden comprometer la viabilidad de los microorganismos probióticos durante su procesamiento, almacenamiento y tránsito por el sistema gastrointestinal. Fuente: elaboración propia.

ENCAPSULACIÓN POR GELACIÓN IÓNICA

La encapsulación es una técnica empleada para proteger y preservar la integridad de los microorganismos probióticos durante su procesamiento, almacenamiento o cuando es consumido, además de favorecer su incorporación a diversos alimentos. Existen diversas técnicas de encapsulación como la extrusión, emulsificación, secado por aspersión, electrospinning o

gelación iónica (Rezagholidade-shirvan et al., 2024; Shanuke et al., 2025).

La gelación iónica es una técnica basada en interacciones iónicas entre un polímero y un polianión de bajo peso molecular, los cuales al mezclarse generan un gel dentro de una sustancia activa, provocando que la sustancia a encapsular quede contenida en el polisacárido, y su liberación se produzca a través de cambios en el mismo gel. Las cápsulas por lo general se elaboran a partir de alginato, y su formación es debido al proceso de reticulación, en el que los grupos carboxilato (COO⁻) del polímero interactúan con cationes multivalentes, siendo el más utilizado los iones calcio (Ca⁺²), sin embargo, no es la única opción, ya que se pueden utilizar iones de bario (Ba⁺²) o estroncio (Sr⁺²).

Durante el procesamiento de las cápsulas, se realiza una mezcla entre el material encapsulante y el compuesto de interés, la cual, mediante extrusión, pasa por una boquilla donde se generan pequeñas gotas y se depositan en una solución de cloruro de calcio (CaCl₂).

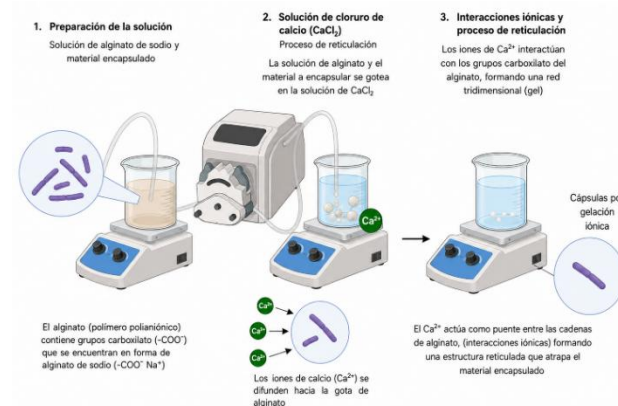


Figura 2. Proceso de encapsulación por gelación iónica. Fuente: elaboración propia.

CÁPSULAS INTELIGENTES PARA ALIMENTOS FUNCIONALES

Las cápsulas con probióticos generadas por gelación iónica utilizando alginato, ha permitido que este tipo de microorganismos puedan ser añadidos a diversos

alimentos sin alterar de forma significativa su sabor, olor, textura o aspecto visual (Tolve et al., 2016; Tan, Ang and Loo, 2023).

Algunos ejemplos de alimentos adicionados con cápsulas son: yogures, jugos de frutas o en bebidas carbonatadas y cerveza, helados y postres congelados, quesos (ej. Queso cheddar, queso cottage), en productos de panificación como pan, bollos o en barras nutricionales (de Souza Simões et al., 2017; Afzaal et al., 2020; Farahmand et al., 2024; Saeed et al., 2024; Zadeike et al., 2024)

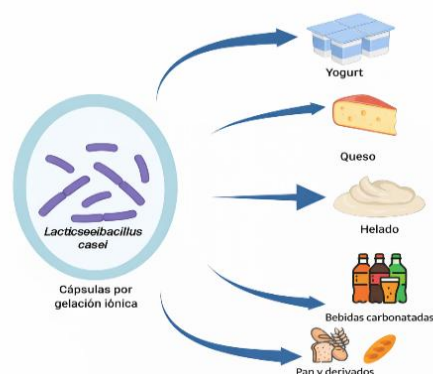


Figura 3. Incorporación de cápsulas a diversos alimentos. Fuente: elaboración propia.

Esta técnica presenta algunas ventajas, como que es un método simple y económico, el cual, al no requerir altas temperaturas, ni uso de solventes o agitación vigorosa, se evita la degradación del compuesto de interés o en el caso de los probióticos, se preserva su viabilidad ante las condiciones químicas y físicas que enfrentan habitualmente quedando cubierto y protegido de agentes externos (Ortiz-Romero et al., 2021; (Mosquera Vivas, Ayala Aponte and Serna Cock, 2023).

El uso de diversos de biopolímeros compatibles y biodegradables permite crea una barrera física que contribuye a la protección y pervivencia de las bacterias durante su tránsito por el tracto gastrointestinal, lo que facilita su liberación controlada en el intestino. Además, cuando las cápsulas son elaboradas con alginato de sodio (biopolímero más utilizado) el calcio ocasiona una gelificación instantánea en las cadenas poliméricas, es decir, la estructura de “caja de huevo”, la cual es una red

tridimensional que atrapa a los probióticos como si fueran los huevos dentro de una caja (Baral et al., 2021; Ortiz-Romero et al., 2021). Además, el alginato además de otorgar ciertas propiedades a las cápsulas, sus propiedades le facilitan el poder mezclarse con otros polímeros de origen natural, como quitosano, pectina o las agavinas, que son carbohidratos producidos por la planta de agave y que al añadirse como material de encapsulación, no solo actúan como barrera protectora ante pH ácidos, o sales biliares, sino que esto le confiere a las cápsulas una resistencia notable, al mismo tiempo que mantiene un tamaño de poro pequeño, lo que contribuye a la encapsulación de las bacterias dentro de la matriz, hasta que esta barrera se degrade en el ambiente intestinal (Baral et al., 2021).

Otro aspecto a considerar en la gelación iónica, es que al ser un método físico basado en interacciones iónicas, no se requiere el uso de recirculantes tóxicos, lo que reduce el riesgo de residuos nocivos (Baral et al., 2021; Valero-Cases et al., 2025), y si se compara con otros métodos de encapsulación como secado por aspersión o liofilización, esta técnica se puede realizar en condiciones más amigables (temperatura ambiente, medios compatibles con los probióticos, etc.)(Chavarri, Maranon and Carmen, 2012; Rafael, Fredy and Arnulfo, 2017; Baral et al., 2021). Por último, esta técnica hace posible la selección de materiales poliméricos de origen natural, los cuales no solo aseguran la estabilidad y funcionalidad del probiótico, sino que también asegura la inocuidad de estos para su posterior aplicación en alimentos (Gómez-Gaete et al., 2024).

DESAFÍOS PARA LLEVAR ESTA TECNOLOGÍA A LA MESA

A pesar de las ventajas que posee la técnica de encapsulación por gelación iónica y la versatilidad que tienen las cápsulas para ser agregadas a varios productos alimenticios, esta tecnología enfrenta algunas limitantes importantes antes de que puedan llegar la mesa del consumidor.

La primera limitante a considerar es el control del tamaño y la forma de la cápsula, con el método clásico de goteo las cápsulas suelen tener un tamaño > 1 mm, lo cual facilita su percepción en bebidas claras, yogures o helados, por lo que aún se debe trabajar en técnicas como microfluídica o flicking, las cuales ayuden a obtener cápsulas más pequeñas y uniformes, sin perder cualidades como eficiencia y mucho menos hacer costoso el proceso (Ortiz-Romero *et al.*, 2021; Torabi-Rahvar *et al.*, 2025).

La segunda es asegurar que los probióticos se liberen en el sitio correcto, es decir, en el colon, y no antes, ya que si el material de pared se rompe en el estómago, provocaría que las bacterias fueran destruidas por los ácidos, y por el contrario, si es demasiado resistente, provocaría que las cápsulas atravesasen todo el tracto digestivo pero sin liberar su contenido (probióticos) y ocasionado que fueran expulsadas sin haber aportado algún beneficio; por este motivo, es fundamental seleccionar aquellos materiales sensibles al pH, y la concentración adecuada del polímero o material (Baral *et al.*, 2021; Gharibzahedi and Smith, 2021; Valero-Cases *et al.*, 2025)

El tercer desafío implica el preservar la calidad sensorial del alimento, ya que, aunque el alginato no tiene color ni sabor, cuando las cápsulas se añaden a un alimento, podrían provocar cambios en la textura color o turbidez, es por ello que, durante su desarrollo, se requieren realizar pruebas sensoriales con panelistas entrenados antes de llegar al consumidor (Ortiz-Romero *et al.*, 2021; Tan, Ang and Loo, 2023; Gómez-Gaete *et al.*, 2024; Zadeike *et al.*, 2024).

El cuarto reto y más importante es comprobar mediante estudios, que los probióticos encapsulados realmente generan un beneficio en la salud del consumidor. Comenzando con los estudios *in vitro*, mediante protocolos estandarizados como INFOGEST, permiten evaluar la sobrevivencia de los probióticos a las condiciones del sistema gastrointestinal y cómo se liberan durante la digestión, posteriormente se realizan estudios en modelos animales que ayudan a explorar sus

posibles efectos biológicos. Y finalmente, se llega a los ensayos clínicos en personas para determinar con seguridad si estos efectos se traducen realmente en beneficios para la salud. Para ello, pueden evaluarse aspectos como los síntomas gastrointestinales, los marcadores de inflamación y de respuesta inmunitaria, los cambios en la composición de la microbiota intestinal y otros parámetros relacionados con el beneficio esperado. Las variables analizadas dependerán tanto de la cepa probiótica como de las características de la población estudiada. Sin embargo, los ensayos clínicos que evalúan específicamente probióticos encapsulados aún son escasos (Baral *et al.*, 2021; Ortiz-Romero *et al.*, 2021; Torabi-Rahvar *et al.*, 2025; Valero-Cases *et al.*, 2025).

CONCLUSIONES

La encapsulación por gelación iónica es una técnica de gran utilidad para la preservación y protección de microorganismos probióticos cuando son consumidos, procesados o almacenados, esto debido a su versatilidad en el uso de una gran variedad de polímeros como el alginato o agavinas y su bajo costo, además que, a diferencia de otras técnicas, no requiere condiciones extremas de procesamiento o el uso de solventes. Y si bien, puede tener algunas limitantes para incorporar las cápsulas resultantes en alimentos, se sigue posicionando como una alternativa para promover la formulación de compuestos funcionales, que contribuyan al desarrollo de alimentos que además de nutrir, tengan impacto en la salud del consumidor.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Durango y al Laboratorio Nacional CONAHCYT de Apoyo a la Evaluación de Productos Bióticos (LaNAEPBi) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo. Del mismo modo, se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento otorgado.

Literatura citada

Afzaal, M. *et al.* (2020) “Encapsulation of *Bifidobacterium bifidum* by internal gelation method



- to access the viability in cheddar cheese and under simulated gastrointestinal conditions,” *Food Science & Nutrition*, 8(6), pp. 2739–2747. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1562>.
- Asgari, S. *et al.* (2020) “Polymeric carriers for enhanced delivery of probiotics,” *Advanced Drug Delivery Reviews*, 161–162, pp. 1–21. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2020.07.014>.
- Aureli, P. *et al.* (2011) “Probiotics and health: An evidence-based review,” *Pharmacological Research*, 63(5), pp. 366–376. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2011.02.006>.
- Baral, K.C. *et al.* (2021) “Advancements in the Pharmaceutical Applications of Probiotics: Dosage Forms and Formulation Technology,” *International Journal of Nanomedicine*, Volume 16, pp. 7535–7556. Available at: <https://doi.org/10.2147/IJN.S337427>.
- Bustos, A.Y. *et al.* (2025) “Recent Advances in the Understanding of Stress Resistance Mechanisms in Probiotics: Relevance for the Design of Functional Food Systems,” *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. Springer, pp. 138–158. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10273-9>.
- Chavarri, M., Maranon, I. and Carmen, M. (2012) “Encapsulation Technology to Protect Probiotic Bacteria,” *Probiotics*. InTech. Available at: <https://doi.org/10.5772/50046>.
- Facioni, M.S. *et al.* (2020) “Nutritional management of lactose intolerance: the importance of diet and food labelling,” *Journal of Translational Medicine*, 18(1), p. 260. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12967-020-02429-2>.
- Farahmand, A. *et al.* (2024) “Double protection of probiotics in alginate hydrogel through emulsification incorporated with freeze drying and coaxial wet-electrospraying: Survivability and targeted delivery,” *LWT*, 204. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116459>.
- Gharibzadeh, S.M.T. and Smith, B. (2021) “Legume proteins are smart carriers to encapsulate hydrophilic and hydrophobic bioactive compounds and probiotic bacteria: A review,” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), pp. 1250–1279. Available at: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12699>.
- Gómez-Gaete, C. *et al.* (2024) “Revolutionizing fruit juice: exploring encapsulation techniques for bioactive compounds and their impact on nutrition, flavour and shelf life,” *Food Production, Processing and Nutrition*. BioMed Central Ltd. Available at: <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00190-9>.
- Hill, C. *et al.* (2014) “Expert consensus document: The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic,” *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 11(8), pp. 506–514. Available at: <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>.
- Kelly, J.R. *et al.* (2015) “Breaking down the barriers: the gut microbiome, intestinal permeability and stress-related psychiatric disorders,” *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 9. Available at: <https://doi.org/10.3389/fncel.2015.00392>.
- Kieps, J. and Dembczyński, R. (2022) “Current Trends in the Production of Probiotic Formulations,” *Foods*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods11152330>.
- Latif, A. *et al.* (2023) “Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries,” *Frontiers in Microbiology*, 14. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1216674>.
- López-Yerena, A. *et al.* (2024) “Probiotics: A Potential Strategy for Preventing and Managing Cardiovascular Disease,” *Nutrients*, 17(1), p. 52. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu17010052>.
- Mackowiak, P.A. (2013) “Recycling Metchnikoff: Probiotics, the Intestinal Microbiome and the Quest for Long Life,” *Frontiers in Public Health*, 1. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2013.00052>.
- Mendonça, A.A. *et al.* (2023) “Journey of the Probiotic Bacteria: Survival of the Fittest,” *Microorganisms*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010095>.
- Mörkl, S. *et al.* (2020) “Probiotics and the Microbiota-Gut-Brain Axis: Focus on Psychiatry,” *Current*

- Nutrition Reports*, 9(3), pp. 171–182. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13668-020-00313-5>.
- Mosquera Vivas, E., Ayala Aponte, A. and Serna Cock, L. (2023) “Importancia de la encapsulación de probióticos: gelificación iónica y coacervación compleja como técnicas prometedoras para uso alimentario,” *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 22(1), pp. 105–123. Available at: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v22.n1.2024.2223>.
- Ortiz-Romero, N. *et al.* (2021) “Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica: una revisión sistemática,” *Tecnológicas*, 24(52), p. e1962. Available at: <https://doi.org/10.22430/22565337.1962>.
- Petrariu, O.-A. *et al.* (2024a) “Role of probiotics in managing various human diseases, from oral pathology to cancer and gastrointestinal diseases,” *Frontiers in Microbiology*, 14. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1296447>.
- Rafael, E.G.-C., Fredy, C.-C. and Arnulfo, T.-D. (2017) “Protection of *Lactobacillus acidophilus* under in vitro gastrointestinal conditions employing binary microcapsules containing inulin,” *African Journal of Biotechnology*, 16(3), pp. 132–138. Available at: <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15700>.
- Rezagholizade-shirvan, A. *et al.* (2024) “Bioactive compound encapsulation: Characteristics, applications in food systems, and implications for human health,” *Food Chemistry: X*. Elsevier Ltd. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101953>.
- Saeed, M. *et al.* (2024) “Viability of Free and Alginate–Carrageenan Gum Coated *Lactobacillus acidophilus* and *Lactocaseibacillus casei* in Functional Cottage Cheese,” *ACS Omega*, 9(12), pp. 13840–13851. Available at: <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c08588>.
- dos Santos, A.P., Zambianchi, J.K. and Benegra, M. (2025) “*Lactobacillus helveticus* Encapsulated by Ionic Gelation with Sodium Alginate: A Controlled Release Study in Peanut Butter,” *ACS Food Science & Technology*, 5(5), pp. 1894–1901. Available at: <https://doi.org/10.1021/acsfscitech.5c00063>.
- Sarita, B. *et al.* (2024) “A comprehensive review of probiotics and human health-current prospective and applications,” *Frontiers in Microbiology*. Frontiers Media SA. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1487641>.
- Sebastián Domingo, J.J. (2017) “Revisión del papel de los probióticos en la patología gastrointestinal del adulto,” *Gastroenterología y Hepatología*, 40(6), pp. 417–429. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gastrohep.2016.12.003>.
- Shanuke, D.S. *et al.* (2025) “Co-Encapsulation of Probiotics and Prebiotics: Techniques and Applications in Food Fortification,” *Food Science and Nutrition*. John Wiley and Sons Inc. Available at: <https://doi.org/10.1002/fsn3.70426>.
- Sibanda, T. *et al.* (2024) “*Bifidobacterium* species viability in dairy-based probiotic foods: challenges and innovative approaches for accurate viability determination and monitoring of probiotic functionality,” *Frontiers in Microbiology*. Frontiers Media SA. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1327010>.
- de Souza Simões, L. *et al.* (2017) “Micro- and nano bio-based delivery systems for food applications: In vitro behavior,” *Advances in Colloid and Interface Science*, 243, pp. 23–45. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.02.010>.
- Sridhar, K. *et al.* (2022) *Natural sources and encapsulating materials for probiotics delivery systems: Recent applications and challenges in functional food development*.
- Starovoitova, S.O. *et al.* (2022) “MODERN ASPECTS OF PROBIOTIC MICROORGANISMS’ MICROENCAPSULATION,” *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, NAS of Ukraine, pp. 72–85. Available at: <https://doi.org/10.15407/microbiolj84.05.072>.
- Stavropoulou, E. and Bezirtzoglou, E. (2020) “Probiotics in Medicine: A Long Debate,” *Frontiers in Immunology*, 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.02192>.
- Tan, L.L., Ang, K.L. and Loo, S.C.J. (2023) “Alginate encapsulation improves probiotics survival in

carbonated sodas and beers,” *PLOS ONE*, 18(3), p. e0283745. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283745>.

Tolve, R. *et al.* (2016) “Encapsulation of health-promoting ingredients: applications in foodstuffs,” *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 67(8), pp. 888–918. Available at: <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1205552>.

Torabi-Rahvar, P. *et al.* (2025) “Efficient production of cell-encapsulated microgels using flicking technique,” *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 108, p. 106921. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2025.106921>.

Valero-Cases, E. *et al.* (2025) “Design of Multi-Component Beads (Alginate/Xanthan/Glycerol): Influence of Polymer Concentration on *Lactobacillus acidophilus* Viability and Release in Complex Food Systems,” *Food and Bioprocess Technology*, 18(12), pp. 10406–10418. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11947-025-04026-x>.

Zadeike, D. *et al.* (2024) “Exploring Calcium Alginate-Based Gels for Encapsulation of *Lactocaseibacillus paracasei* to Enhance Stability in Functional Breadmaking,” *Gels*, 10(10), p. 641. Available at: <https://doi.org/10.3390/gels10100641>.

Zeng, Q. *et al.* (2025) “Probiotics and gastrointestinal disorders: an umbrella meta-analysis of therapeutic efficacy,” *European Journal of Medical Research*, 30(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s40001-025-02788-w>.

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.

