






El papel probiótico de *Lactobacillus acidophilus* y su aplicación en la industria alimentaria: una revisión de alcance y análisis cuantitativo

The probiotic role of *Lactobacillus acidophilus* and its application in the food industry: a scoping review and scientometric analysis

Susana Lara González^{1,2}  <https://orcid.org/0000-0002-3458-9023> slarag@uatx.mx

Verónica Rodríguez Soria¹  <https://orcid.org/0000-0002-4956-2480> veronica.rodriguez@upaep.mx

María José Alvarado López¹  <https://orcid.org/0000-0001-9821-4434> mariajose.alvarado@upaep.edu.mx

Luis Daniel Ortega Martínez¹  <https://orcid.org/0000-0003-4672-8809> luisdaniel.ortega@upaep.mx

Margarita Cervantes Rodríguez²  <https://orcid.org/0000-0002-2522-783X>  margarita.cervantes.r@uatx.mx

¹Facultad de Biotecnología, Decanato de Ciencias de la vida y la salud, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, 21 Sur 1103, Barrio Santiago. Puebla, Puebla, México, C.P. 72410.

²Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Av. Xicohténcatl Norte 466, Barrio de San Nicolás. San Pablo del Monte Tlaxcala, México, C.P. 90930.

RESUMEN

Actualmente, muchas enfermedades son atribuibles a la disfunción de la microbiota intestinal. Por lo que es deseable reforzar el consumo de alimentos funcionales que aporten un beneficio en la salud intestinal. Esta revisión exploratoria y cuantitativa tuvo por objetivo sintetizar la literatura actual sobre el metabolismo de *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*) y su papel como probiótico en la industria alimentaria. Se realizó una búsqueda sobre las rutas metabólicas. Las rutas revisadas fueron glucólisis, fermentación láctica, biosíntesis de ácidos grasos y fosfolípidos, biosíntesis de aminoácidos, catabolismo de aminoácidos, ruta de purinas y pirimidinas y metabolismo secundario (acidofilina, dextran, ácido acético, vitaminas del grupo B y aldehído). Los alimentos que la industria ofrece son yogurt, queso, jugo de naranja, snacks lácteos, pulpa de café, barra de cereal y salvado de arroz. Los beneficios que el microorganismo aporta a los alimentos es el mejoramiento de las características organolépticas, su vida útil, su valor funcional y nutricional de los alimentos. También permite crear un ecosistema microbiano saludable que potencia el crecimiento de bacterias benéficas que contribuye al bienestar intestinal del consumidor. Por lo que representa una pieza fundamental en la intersección entre ciencia, salud y tecnología alimentaria.

Palabras clave: crecimiento bacteriano; fermentación; metabolismo; nutrientes; probióticos.

ABSTRACT

Currently, many diseases are attributable to intestinal microbiota dysfunction. Therefore, it is desirable to strengthen the consumption of functional foods that benefit intestinal health. This scoping review and scientometric analysis aimed to synthesize the current literature on the metabolism of *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*) and its role as a probiotic in the food industry. A search was conducted on the metabolic pathways reviewed: glycolysis, lactic acid fermentation, fatty acid and phospholipid biosynthesis, amino acid biosynthesis, amino acid catabolism, the purine and pyrimidine pathway, and secondary metabolism (bacteriocine, dextran, acetic acid, B vitamins, and aldehyde). The foods offered by the industry include yogurt, cheese, orange juice, dairy snacks, coffee pulp, cereal bars, and rice bran. The benefits that microorganisms bring to food include improved organoleptic characteristics, shelf life, and functional and nutritional value. They also allow for the creation of a healthy microbial ecosystem that enhances the growth of beneficial bacteria, contributing to the consumer's intestinal well-being. Therefore, they represent a fundamental element at the intersection of science, health, and food technology.

Key words: bacterial growth; fermentation; metabolism; nutrients; probiotics.

INTRODUCCIÓN

Lactobacillus acidophilus (*L. acidophilus*) es una bacteria láctica que pertenece al grupo de los lactobacilos, es Gram-positiva, no formadora de esporas, anaerobia aerotolerante (microaerotolerante) y acidófila, lo que significa que puede sobrevivir en ambientes con bajo pH, como el estómago humano y productos fermentados (Shah et al., 2024).

Se considera probiótico por ser un microorganismo vivo que, al administrarse en cantidades adecuadas, **proporciona beneficios a la salud del huésped**, especialmente al sistema digestivo (Rau et al., 2024). Forma parte de la microbiota normal del tracto gastrointestinal, la vagina y la cavidad oral en humanos y animales (Gao et al., 2022). **Su tamaño** aproximado es de **0.6-0.9 μm de ancho y 1.5-6.0 μm de largo** (Goh et al., 2021). Sus estructuras celulares son **pared celular, membrana plasmática, cápsula extracelular, ADN y plásmidos** (Lebeer et al., 2008). Su **pared celular** está compuesta por **peptidoglicano**, lo que le otorga rigidez y resistencia. También contiene **ácidos teicoicos** y **lipoteicoicos**, que desempeñan un papel en la adhesión y respuesta inmune (Martínez et al., 2020). Tiene **membrana plasmática**, rica en **fosfolípidos** y proteínas de transporte que regulan la entrada y salida de nutrientes (Mendonça et al., 2023).

Algunas cepas contienen **cápsula extracelular** formada por **exopolisacáridos** que ayudan a la adhesión y protección contra condiciones adversas (Salas-Jara et al., 2016). El **ADN y plásmidos de *L. acidophilus* están** compuestos por ADN circular que pueden conferir ventajas metabólicas y resistencia a condiciones extremas (Campedelli et al., 2018). *L. acidophilus* se reproduce por fisión binaria, este proceso es continuo en un ambiente con suficiente fuente de nutrientes (Anjum et al., 2014). *L. acidophilus* es una bacteria con necesidades nutricionales específicas debido a su metabolismo fermentativo. Para su crecimiento óptimo, requiere fuentes de carbono, nitrógeno, vitaminas, minerales y condiciones ambientales adecuadas (Śliżewska y Chlebiczy-Wójcik, 2020).

Requiere azúcares fermentables (como principal fuente de energía), glucosa, lactosa, maltosa, fructosa y galactosa (Krausova et al., 2021), no puede sintetizar algunos aminoácidos esenciales por lo que requiere péptidos y aminoácidos libres, peptonas y extracto de levadura y caseína hidrolizada (importante en medios de cultivo lácteos) (Dysin et al., 2023). Requiere algunas vitaminas como riboflavina (B2), ácido fólico (B9), piridoxina (B6), niacina (B3), biotina y ácido pantoténico (en algunas cepas) (Krausova et al., 2021); y minerales como calcio, magnesio, fósforo, potasio y sodio, necesarios para funciones enzimáticas y estructurales, (Liu et al., 2024). Los factores que afectan su crecimiento son temperatura, pH, disponibilidad de nutrientes y condiciones ambientales (Terpou et al., 2019).

Su potencial probiótico deriva de las rutas metabólicas que desarrolla **mediante la producción de energía para su reproducción, mantenimiento y adaptación** en su entorno (Lu et al., 2022). Los probióticos se han convertido en un elemento clave para la innovación alimentaria, especialmente en la industria de los productos lácteos fermentados. El objetivo de este estudio es realizar una revisión de alcance del metabolismo de *L. acidophilus* y su aplicación probiótica en la industria alimentaria. Así como presentar un análisis cuantitativo de la evolución de la investigación en este campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión cuantitativa se hizo en cinco pasos: la selección de bases de datos y estrategia de búsqueda; la definición de criterios de inclusión y exclusión; proceso de selección y evaluación de estudios; extracción y síntesis de datos y el análisis de datos y presentación de resultados.

Se inició con una búsqueda exhaustiva de literatura científica en Scopus, la estrategia de búsqueda fue con las palabras clave: metabolismo, crecimiento bacteriano, nutrientes, *Lactobacillus acidophilus*, probiótico, e industria alimentaria, utilizando el operador booleano "AND" la cadena de búsqueda fue metabolism AND bacterial growth AND nutrients AND *Lactobacillus acidophilus* AND probiotic AND food industry.

Los criterios de inclusión fueron estudios que abordaron los temas metabolismo, crecimiento bacteriano, nutrientes, *Lactobacillus acidophilus*, probiótico, e industria alimentaria. Para las rutas metabólicas de *L. acidophilus* se consideraron los artículos que comprendieron los años del 2003 al 2023 (Tabla 1). Para la aplicación de *L. acidophilus* en la industria alimentaria se consideraron los artículos que comprendieron los años de 2021 a 2025 (Tabla 2). Se excluyeron artículos en idiomas distintos al inglés.

Posteriormente, los artículos seleccionados a través de la estrategia de búsqueda fueron evaluados en dos etapas. En la primera etapa, se revisaron los títulos y resúmenes para determinar su relevancia, asegurándose de que incluyeran términos clave como metabolismo, crecimiento bacteriano, nutrientes, *L. acidophilus*, probiótico e industria alimentaria. En la segunda etapa, se realizaron lecturas completas de los textos para evaluar su idoneidad y calidad metodológica.

Para la extracción y síntesis de la información de los artículos se identificaron y organizaron temáticamente, se diseñaron dos tablas. Para el análisis bibliométrico, se realizaron las figuras con el software R studio y bibliometrix (Derwis, 2020) y se asociaron las referencias (co-referenciación o bibliographic coupling) o co-ocurrencia (co-occurrence). En la búsqueda se encontraron 80 artículos de Scopus con las palabras claves "metabolism", "bacterial growth", "nutrients", "*L. acidophilus*", "probiotic", "food industry", de los últimos cinco años "2021-2025". Se descartaron 27 artículos ya que estos no tienen relación directa con las palabras claves de la búsqueda y 26 eran revisiones. Quedando un total de 53 artículos a los cuales se les realizó análisis cuantitativo, por VOSviewer.

RESULTADOS

Metabolismo y rutas metabólicas

Lactobacillus acidophilus presenta un metabolismo especializado en la fermentación de carbohidratos, en presencia o ausencia de oxígeno (Gänzle y Follador, 2012). La principal ruta es la glucólisis, teniendo como sustrato glucosa, maltosa, galactosa y lactosa y producto final ácido láctico y la liberación de ATP (Chandel, 2021; Gu et al., 2025); aunque también puede ser la fermentación láctica en condiciones microaerófilas como anaerobias (Madigan et al., 2018).

La ruta lipídica de *L. acidophilus* está relacionada principalmente con la biosíntesis de ácidos grasos y la formación de fosfolípidos de membrana (Zheng et al., 2015); ya que esta bacteria no utiliza lípidos como fuente principal de energía (no oxida ácidos grasos como lo haría una célula eucariota). En *L. acidophilus*, los lípidos son obtenidos por síntesis de *novo* a partir de carbohidratos, y su función

principal es estructural, particularmente, los fosfolípidos que produce son fosfatidiletanolamina, fosfatidilglicerol, cardiolipina para la constitución de la membrana citoplasmática. Estos lípidos son esenciales para mantener la fluidez y funcionalidad de la membrana y adaptarse a cambios de temperatura, pH y estrés osmótico. Algunas cepas pueden producir glucolípidos como parte de su capa superficial que ayuda a la adhesión a la mucosa intestinal y a su función probiótica (Gänzle y Ripari, 2016).

La **biosíntesis de aminoácidos** de *L. acidophilus* está limitada, en comparación con otros microorganismos, solo **puede sintetizar ciertos aminoácidos no esenciales (cisteína, serina y aspartato)** y parcialmente algunos esenciales (lisina, triptófano y fenilalanina) a partir de intermediarios centrales del metabolismo como lo mencionan Altermann et al., 2005. La ruta de **catabolismo de aminoácidos** es fundamental para su **supervivencia en ambientes ácidos**, mantener el **balance de nitrógeno** y como **fuentes de energía secundaria**, especialmente cuando los carbohidratos escasean. Aunque no tiene un ciclo de Krebs completo, *L. acidophilus* puede desaminar, descarboxilar y transformar aminoácidos para generar compuestos útiles (Chamberlain et al., 2022). *L. acidophilus* también **degrada y produce nucleótidos** como parte de su metabolismo básico, para sintetizar otros **ácidos nucleicos, obtención de energía, regulación celular y respuesta al entorno** (Lebeer et al., 2008).

La ruta metabólica de nucleótidos abarca tanto la biosíntesis de *novo* como las rutas de salvamento de purinas y pirimidinas. Dado que *L. acidophilus* tiene un genoma reducido, depende fuertemente de rutas de salvamento para obtener nucleótidos a partir de bases y nucleósidos del medio y en menor proporción de la biosíntesis *de novo* (Lebeer et al., 2008).

En la [Tabla 1](#) se describe la lista de metabolitos producidos por el microorganismo, bacteriocina (acidofilina), exopolisacárido (heteropolisacáridos), **ácido acético, ácido fórmico**, vitaminas del grupo B y aldehído. Es un **quimioorganótrofo heterótrofo**, especializado en ambientes ricos en nutrientes orgánicos como los productos lácteos o el intestino humano (Madigan et al., 2018).

Uso en la industria alimentaria

Existe una tendencia creciente del uso de *L. acidophilus* en la industria alimentaria a fin de transformar el alimento, mejorar la conservación, el valor nutricional y la funcionalidad. Los principales alimentos que se investigaron fueron: yogurt, harina de yacón, queso, piña (*Ananas comosus*), jugo de naranja, pulpa de barú, manzana (*Malus domestica*), snacks lácteos con bagazo de arándanos, bebida de soya, pulpa de café, queso de soya, yogurt enriquecido con fisetina, miel, leche de soya, oraka, alcachofa (*Cynara scolymus*), leche funcional, chocolate con probióticos, jugo de zapote, barra de cereal, salvado de arroz, jugo de frutas y probiótico comercial. Se muestra una amplia aplicación de *L. acidophilus* en la industria alimentaria ([Tabla 2](#)).

Análisis Cuantitativo

De los estudios registrados, los cinco países con mayor participación fueron China y Brasil (n=87, 21.1 %; cada uno); Irán (n=44, 10.6 %); India (n=18, 4.3 %); Italia (n=12, 2.9 %). Al comparar las ubicaciones por continente, Asia aportó el 49.15 % (n=203); Sudamérica el 22.03 % (n=91); América del norte y Europa el 9.4 % (n=39), respectivamente; África el 8.47 % (n=35) y Oceanía el 1.45 % (n=6) ([Fig. 1](#)).

Al comparar las ubicaciones según la clasificación de países por nivel de ingresos del Grupo Banco Mundial (año fiscal 2026), los países de ingresos altos representaron el 55.81 % (n = 19), seguidos de los países de ingresos medianos altos con el 29.41 % (n=10), los países de ingresos medianos bajos con el 14.71 % (n = 5).

ambientes sin oxígeno, como la **fermentación láctica** (Madigan et al., 2018). *L. acidophilus* produce **metabolitos secundarios** durante su crecimiento en condiciones específicas, aunque no son esenciales para el crecimiento básico, estos compuestos proporcionan **ventajas selectivas** en su nicho microbiano.

La **producción de metabolitos secundarios** no está **estrechamente relacionada con su crecimiento**, pero sigue una dinámica que varía según la fase de crecimiento y las condiciones ambientales que **favorecen la supervivencia, competitividad y funcionalidad del microorganismo**, especialmente en entornos complejos como el intestino o alimentos fermentados (LeBlanc et al., 2011; Cotter et al., 2013; Dailin et al., 2023). A partir de lo anterior, se ha trabajado su potencial uso en la industria de probióticos para mejorar la digestión, fortalecer el sistema inmunológico y tratar trastornos gastrointestinales como el síndrome de intestino irritable (SII) y diarrea (Remes-Troche et al., 2020; Liu et al., 2024).

A su vez, *L. acidophilus* puede tener efectos beneficiosos en el control del colesterol, la regulación de la glucosa y la prevención de la obesidad, lo que podría abrir nuevas aplicaciones en el tratamiento de enfermedades metabólicas (Gao et al., 2022; Salgado et al. 2023).

Se está investigando cómo *L. acidophilus* puede modular las respuestas inmunológicas, no solo en el intestino, sino también a nivel sistémico, con el potencial de contribuir a la prevención de enfermedades autoinmunes e inflamatorias (Gao et al., 2022). Se encuentra en aumento el uso de *L. acidophilus* en la producción de yogur, kéfir y otros productos lácteos fermentados (Liu et al., 2024).

Con la creciente demanda de productos saludables, se espera que el mercado de alimentos probióticos continúe en expansión, lo que ofrece un gran potencial para *L. acidophilus* (Shah et al., 2024), debido a que ha demostrado mejoras en el sabor y textura, mediante el uso de cepas específicas (Gao et al., 2022). Se está investigando el uso en la fermentación de productos no lácteos como la soya, el coco, los frutos y otros alimentos vegetales, lo que abre un nuevo campo de aplicaciones para el desarrollo de alimentos probióticos para dietas vegetarianas y veganas (Parra, 2010). Es importante destacar la importancia del uso de *L. acidophilus* en la medicina, sobre todo en el tratamiento de enfermedades digestivas crónicas como la colitis ulcerosa, la enfermedad de Crohn y la enfermedad celíaca, ya que restaura el equilibrio de la microbiota intestinal y reduce la inflamación (Aximujiang et al., 2022).

Las bacteriocinas producidas por *L. acidophilus* pueden ofrecer una alternativa natural a los antibióticos, que potencialmente ayudaría a combatir infecciones bacterianas resistentes a los medicamentos (Dempsey y Corr, 2022). Estas bacterias pueden también contribuir al tratamiento de infecciones vaginales o intestinales, como las causadas por *Clostridium difficile* (Goh et al., 2021).

El estudio de *L. acidophilus* muestra incremento en el interés de la comunidad científica, lo que facilita el intercambio de la información y recursos, permitiendo el avance de la investigación y su aplicación en áreas como la biotecnología, la medicina, la salud intestinal y la industria alimentaria debido a sus propiedades beneficiosas y sus aplicaciones (Gao et al., 2022).

Lactobacillus acidophilus tiene un papel fundamental tanto en la salud humana como en la innovación alimentaria. Su uso continuará creciendo con el desarrollo de alimentos funcionales personalizados, nuevas formulaciones probióticas y tecnologías que mejoren su viabilidad y eficacia (Shah et al., 2024; Sarita et al., 2025).

Lactobacillus acidophilus es una bacteria **homofermentativa cuyo metabolismo** es indispensable para lograr el crecimiento, reproducción, **mantenimiento y adaptación** en su entorno. Por último, *L. acidophilus* produce varios **metabolitos secundarios**, especialmente durante su crecimiento, estos compuestos no son esenciales para su crecimiento, pero cumplen funciones ecológicas importantes como inhibir patógenos, competir por recursos o modular el entorno. *L. acidophilus* beneficia a los alimentos que

se han desarrollado es en el mejoramiento de las características organolépticas (sabor, aroma y consistencia), su vida útil, su valor funcional y nutricional de los alimentos, también permite **crear un ecosistema microbiano saludable** que potencia el crecimiento de bacterias benéficas.

Esto contribuye al bienestar intestinal, mejora la eficacia de alimentos probióticos y es una herramienta poderosa en nutrición preventiva y terapéutica. Se puede concluir que *L. acidophilus* representa una pieza fundamental en la intersección entre ciencia, salud y tecnología alimentaria. Su capacidad probiótica no solo aporta beneficios individuales al consumidor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al posgrado en Biotecnología, de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla y al Dr. Ashuin Kammar-García por su asesoría en la metodología.

REFERENCIAS

- Abdelhamid, S. M., ...y Dairouty, R. K. (2021). Acidophilus labneh milk flavored with *Thymus vulgaris* and *Nigella sativa*: a new functional dairy product. *International Journal of Dairy Science*, 16(2), 48-57. <https://doi.org/10.3923/ijds.2021.48.57>
- Aimutis, W. R. (2014). Microflora of the intestine. Biology of *Lactobacillus acidophilus*. En B. A. Carl y M. L. Tortorello (Eds). *Encyclopedia of Food Microbiology* (pp 646-651). Academic Press.
- Altermann, E., ...y Klaenhamme, T. R. (2005). Complete genome sequence of the probiotic lactic acid bacterium *Lactobacillus acidophilus* NCFM. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(11), 3906-3912. <https://doi.org/10.1073/pnas.0409188102>
- Alves-Santos, A. M., ...y Naves, M. M. V. (2023). Chemical composition and prebiotic activity of baru (*Dipteryx alata* Vog.) pulp on probiotic strains and human colonic microbiota. *Food Research International*, 164, 112366. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112366>
- Anjum, N., ...y Momin, A. (2014). *Lactobacillus acidophilus*: characterization of the species and application in food production. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(9), 1241-1251. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.621169>
- Aximujiang, K., ...y Yunusi, K. (2022). *Lactobacillus acidophilus* and HKL suspension alleviates ulcerative colitis in rats by regulating gut microbiota, suppressing TLR9, and promoting metabolism. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 859628. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.859628>
- Barreto, C. M. P., ...y Torres, A. S. A. (2024). Probiotic potential and application of indigenous non-starter lactic acid bacteria in ripened short-aged cheese. *Current Microbiology*, 81, 202. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03729-2>
- Campedelli, I., ...y O'Toole, P. W. (2018). Genus-Wide assessment of antibiotic resistance in *Lactobacillus* spp. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(1), e01738-18. <https://doi.org/10.1128/AEM.01738-18>
- Carneiro, M. S., ...y Walter, E. H. M. (2022). Processing of soy beverages obtained from the grain, flour and powder extract and fermented by probiotics, *Food Science and Technology*, 42, e79322. <https://doi.org/10.1590/fst.79322>
- Chandel, N. S. (2021). Glycolysis. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(5), a040535. <https://doi.org/10.1101/CSHPERSPECT.A040535>
- Chamberlain, M. C., ...y Barrangou, R. (2022). Metabolomic analysis of *Lactobacillus acidophilus*, *L. gasseri*, *L. crispatus*, and *Lacticaseibacillus rhamnosus* strains in the presence of pomegranate extract. *Frontiers in Microbiology*, 13, 863228. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.863228>
- Cotter, P. D., Ross, R. P. y Hill, C. (2013). Bacteriocins – a viable alternative to antibiotics? *Nature Reviews Microbiology*, 11, 95-105. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2937>
- da Conceição, A. T. M., ...y Fagner, W. D. C. (2021). In vitro resistance of lactic acid bacteria carried in kefir appetizer enriched with agroindustrial by-products. *LWT*, 139, 110519. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110519>

- Dailin, D. J., ...y El Enshasy, H. A, H. (2023). A review on exopolysaccharide production by *Lactobacillus acidophilus* and their techno-functional applications in food and pharmaceutical industry. *Bioscience Research*, 20(1), 208-217.
- Davarzani, S., ...y Soltani, M. (2024). Investigating the antibacterial, antioxidant, and cholesterol-lowering properties of yogurt fortified with postbiotic of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactiplantibacillus plantarum* in the wistar rat model. *Journal of Food Protection*, 87(12), 100408. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100408>
- de Abreu R. P. J., ...y Cintra, E. D. (2022). Combined effects of yacon flour and probiotic yogurt on the metabolic parameters and inflammatory and insulin signaling proteins in high-fat-diet-induced obese mice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(15), 7293-7300. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12095>
- de Andrade, E. W. V., ...y Pedrini, M. R. S. (2022). Techno-functionality of fisetin-enriched yoghurt fermented with *Lactobacillus acidophilus* bio-capsules produced via osmoporation. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 2, 743-749. <https://doi.org/10.1007/s43393-022-00100-z>
- Dempsey, E. y Corr, S. C. (2022). *Lactobacillus* spp. for gastrointestinal health: current and future perspectives. *Frontiers in Immunology*, 13, 840245. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.840245>
- Derviş, H. (2020). Bibliometric analysis using Bibliometrix an R Package. *Journal of Scientometric Research*, 8(3), 156-160. <https://doi.org/10.5530/jscires.8.3.32>
- Dysin, A. P., ...y Kritchenkov, A. S. (2023). Biologically active supplements affecting producer microorganisms in food biotechnology: a review. *Molecules*, 28(3), 1413. <https://doi.org/10.3390/molecules28031413>
- Elgarhy, M. R., ...y Saber, W. I. A. (2023). Biochemical, microstructural, and probiotic bacterial patterns of innovative fresh cheese fortified with *Helianthus tuberosus* tubers. *Processes*, 11(10), 2854. <https://doi.org/10.3390/pr11102854>
- Ferronato, A. N., ...y Garavaglia, J. (2021). Development of a freeze-dried symbiotic obtained from rice bran. *Biotechnology Reports*, 30, e00636. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00636>
- Gänzle, M. G. y Follador, R. (2012). Metabolism of oligosaccharides and starch in lactobacilli: a review. *Frontiers in Microbiology*, 3, 340. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00340>
- Gänzle, M. G. y Ripari, V. (2016). Composition and function of sourdough microbiota: From ecological theory to bread quality. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.004>
- Gao, H., ...y Li, P. (2022). The Functional roles of *Lactobacillus acidophilus* in different physiological and pathological processes. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(10),1226-1233. <https://doi.org/10.4014/jmb.2205.05041>
- Geng, J., ...y Feng, X. (2022). The links between gut microbiota and obesity and obesity related diseases. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 147, 112678. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.112678>
- Gervasi, C., ...y Gervasi, T. (2022). From by-product to functional food: the survival of *L. casei shirota*, *L. casei immunitas* and *L. acidophilus johnsonii*, during spray drying in orange juice using a maltodextrin/pectin mixture as carrier. *Natural Products Research*, 36(24), 6393-6400. <https://doi.org/10.1080/14786419.2022.2032049>
- Goh, Y. J., Barrangou, R. y Klaenhammer, T. R. (2021). *In vivo* transcriptome of *Lactobacillus acidophilus* and colonization impact on murine host intestinal gene expression. *mBio*, 12(1), e03399-20. <https://doi.org/10.1128/mbio.03399-20>
- Goli Mehdi Abadi, M. E., ...y Oshaghi, M. (2023). Isolation and characterization of the lactobacillus strain from honey and its probiotic properties. *Iranian Journal of Microbiology*, 15(3), 439-447. <https://doi.org/10.18502/ijm.v15i3.12905>
- Gu, Q., ...y Zou, C. (2025). Effects and function of citric acid on fermentation quality and microbial community in sugarcane tops silage with high and low water-soluble carbohydrate content. *BMC Plant Biology*, 25(1), 99. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06063-2>

- Güney, D. y Güngörmüşler, M. (2021). Development and comparative evaluation of a novel fermented juice mixture with probiotic strains of lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 13(2), 495-505. <https://doi.org/10.1007/s12602-020-09710-2>
- Holgado, F., ...y Rupérez, P. (2021). *In vitro* fermentability of globe artichoke by-product by *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum*. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 26, 100286. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100286>
- Hossain, M. N., ...y Ajlouni, S. (2021). Impact of encapsulating probiotics with cocoa powder on the viability of probiotics during chocolate processing, storage, and *in vitro* gastrointestinal digestion. *Journal of Food Science*, 86(5), 1629-1641. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15695>
- Hurtado-Romero, A., ...y García-Cayuela, T. (2025). Frozen fermented dairy snacks with probiotics and blueberry bagasse: stability, bioactivity, and digestive viability. *Microorganisms*, 13(1), 86. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13010086>
- Ibrahim, A. A., Al-Shawi, S. G. y Al-Temimi, W. K. A. (2024). The antagonistic activity of the synbiotic containing *Lactobacillus acidophilus* and pineapple residue FOS against pathogenic bacteria. *Brazilian Journal of Biology*, 7(84), e258277. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.258277>
- Khochapong, W., ...y Punbusayakul, N. (2021). Effect of *in vitro* digestion on bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extract. *Food Chemistry*, 348, 129094. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129094>
- Krausova, G., ...y Kadlec, R. (2021). Identification of synbiotics conducive to probiotics adherence to intestinal mucosa using an *in vitro* Caco-2 and HT29-MTX cell model. *Processes*, 9(4), 569. <https://doi.org/10.3390/pr9040569>
- Lasta, E. L., ...y Alves, M. A. C. (2021). Encapsulation and dispersion of *Lactobacillus acidophilus* in a chocolate coating as a strategy for maintaining cell viability in cereal bars. *Scientific Reports*, 11, 20550. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00077-0>
- Lebeer, S., Vanderleyden, J. y De Keersmaecker, S. C. J. (2008). Genes and molecules of lactobacilli supporting probiotic action. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 72(4), 728-764. <https://doi.org/10.1128/membr.00017-08>
- LeBlanc, J. G., ...y Sesma, F. (2011). B-Group vitamin production by lactic acid bacteria - current knowledge and potential applications. *Journal of Applied Microbiology*, 111(6), 1297-1309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05157.x>
- Liu, Y., ...y Łopusiewicz, Ł. (2024). Health-promoting effects of *Lactobacillus acidophilus* and its technological applications in fermented food products and beverages. *Fermentation*, 10(8), 380. <https://doi.org/10.3390/fermentation10080380>
- Li, Y., Liu, H. (2024). Effects of fermentation with different probiotics on the quality, isoflavone content, and flavor of okara beverages. *Food Science and Nutrition*, 12(4), 2619-2633. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3944>
- Liong, M. T. y Shah, N. P. (2005). Optimization of cholesterol removal by probiotics in the presence of prebiotics by using a response surface method. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(4), 1745-1753. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.4.1745-1753.2005>
- Lu, Y., ...y Dai, Y. (2022). Characterization, high-density fermentation, and the production of a directed vat set starter of *Lactobacilli* used in the food industry: a review. *Foods*, 11(19), 3063. <https://doi.org/10.3390/foods11193063>
- Madigan, M. T., ...y Stahl, D. A. (2018). *Brock: Biología de los microorganismos*. Pearson.
- Martínez, B., ...y Chapot-Chartier, M. P. (2020). Cell wall homeostasis in lactic acid bacteria: threats and defences. *FEMS Microbiology Reviews*, 44(5), 538-564. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa021>
- Mashayekh, S., ...y Eshaghi, M. R. (2025). Evaluation of physicochemical, textural, and microbial characteristics of probiotic soy cheese during storage: Generation and isolation of bioactive peptides. *Food Science and Technology International*, 31(6), 516-528. <https://doi.org/10.1177/10820132231226257>
- Mendonça, A. A., ...y De Souza, R. B. (2023). Journey of the probiotic bacteria: survival of the fittest. *Microorganisms*, 11(1), 95. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010095>

- Naissinger da Silva, M., ...y Pereira Dos Santos R. (2021). *In vitro* test to evaluate survival in the gastrointestinal tract of commercial probiotics. *Current Research in Food Science*, 4, 320-325. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.04.006>
- Niamah, A. K., ...y Singh, S. (2023). Investigating the effect of addition of probiotic microorganisms (bacteria or yeast) to yoghurt on the viability and volatile aromatic profiles. *Food Measure*, 17, 5463-5473. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02056-7>
- Noori, S. M. A., ...y Siahpoosh, A. (2022). Antimicrobial and antioxidant properties of natural postbiotics derived from five lactic acid bacteria. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 18(1), e130785. <https://doi.org/10.5812/jjnpp-130785>
- Parra, R. A. H. (2010). Review lactic acid bacteria: functional role in the foods. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), 93-105.
- Rana, A., ...y Dhewa, T. (2024). Exploring prebiotic properties and its probiotic potential of new formulations of soy milk-derived beverages. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1404907. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1404907>
- Rau, S., ...y Limketkai, B. (2024). Prebiotics and probiotics for gastrointestinal disorders. *Nutrients*, 16(6), 778. <https://doi.org/10.3390/nu16060778>
- Remes-Troche, J. M., ...y Solana, R. O. (2020). *Lactobacillus acidophilus* LB: a useful pharmabiotic for the treatment of digestive disorders. *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, 13, 1756284820971201. <https://doi.org/10.1177/1756284820971201>
- Salas-Jara, M. J., ...y García A. (2016). Biofilm forming *Lactobacillus*: new challenges for the development of probiotics. *Microorganisms*, 4(3), 35. <https://doi.org/10.3390/microorganisms4030035>
- Salgaco, M. K., ...y Sivieri, K. (2023). Impact of *Lactobacillus acidophilus* – La5 on composition and metabolism of the intestinal microbiota of type 2 diabetics (T2D) and healthy individuals using a microbiome model. *Fermentation*, 9(8), 740. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080740>
- Sarita, B., ...y Kovaleva, E. G. (2025). A comprehensive review of probiotics and human health-current prospective and applications. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1487641. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1487641>
- Sarkar, A., ...y Alam, M. (2025). Fermentation of Sapodilla juice with *Lactobacillus acidophilus*: fermentation kinetics and evaluation of functional properties. *Journal of Food Science*, 90(3), e70135. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70135>
- Shah, A. B., ...y Al-Zharani, M. (2024). Probiotic significance of *Lactobacillus* strains: a comprehensive review on health impacts, research gaps, and future prospects. *Gut Microbes*, 16(1), 2431643. <https://doi.org/10.1080/19490976.2024.2431643>
- Ślizewska, K. y Chlebicz-Wójcik, A. (2020). Growth kinetics of probiotic *Lactobacillus* strains in the alternative, cost-efficient semi-solid fermentation medium. *Biology*, 9(12), 423. <https://doi.org/10.3390/biology9120423>
- Terpou, A., ...y Kopsahelis, N. (2019). Probiotics in food systems: significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value. *Nutrients*, 11(7), 1591. <https://doi.org/10.3390/nu11071591>
- Zhao, C. J., Schieber, A. y Gänzle, M. G., y (2016). Formation of taste-active amino acids, amino acid derivatives and peptides in food fermentations – A review. *Food Research International*, 89(1), 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.042>
- Zhao, R., ...y Liang, X. (2023). Apple polyphenol biotransformation using probiotics *in vitro* and dynamic simulated digestion by bionic rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(11), 5490-5499. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12625>
- Zheng, J., ...y Gänzle, M. G. (2015). A genomic view of lactobacilli and pediococci demonstrates that phylogeny matches ecology and physiology. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(20), 7233-7243. <https://doi.org/10.1128/AEM.02116-15>

Tabla 1. Rutas metabólicas de *L. acidophilus* / Table 1. Metabolic pathways of *L. acidophilus*.

Ruta	Sustrato	Intermediarios	Productos finales	Enzimas	Mecanismo de regulación
Glucólisis Chandel, 2021.	Glucosa Maltosa galactosa lactosa	Glucosa-6-fosfato (G6P) Fructosa-6-fosfato (F6P) Fructosa-1,6-bisfosfato (F1,6BP) Gliceraldehído-3-fosfato (G3P) Dihidroxiacetona fosfato (DHAP) 1,3-Bisfosfoglicerato (1,3-BPG) 3-Fosfoglicerato (3PG) 2-Fosfoglicerato (2PG) Fosfoenolpiruvato (PEP) Piruvato	Ácido láctico (principal, vía homofermentativa) 2 moléculas de ATP (netas) 2 moléculas de NADH (que se reoxidan durante la producción de lactato)	Hexoquinasa / Glucocinasa Fosfoglucosa isomerasa Fosfofructoquinasa (PFK) Aldolasa Triofosfato isomerasa Gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa (GAPDH) Fosfoglicerato quinasa. Fosfoglicerato mutasa Enolasa Piruvato quinasa Lactato deshidrogenasa (LDH) - Piruvato → Lactato	Fosfofructoquinasa (PFK): Principal punto de control. Regulada por niveles de ATP (inhibidor) y AMP (activador). No hay regulación por fructosa-2,6-bisfosfato como en células animales. Lactato deshidrogenasa (LDH): Su actividad depende del equilibrio NADH/NAD ⁺ . Alta actividad cuando hay exceso de NADH (ambiente anaerobio). Disponibilidad de glucosa y pH intracelular: La velocidad de glucólisis puede bajar si el pH intracelular se acidifica demasiado por acumulación de lactato. Represión por catabolito (CCR): La presencia de glucosa inhibe el uso de otros azúcares, mediado por proteínas reguladoras como CcpA.
Fermentación láctica Madigan, 2018; Gu, 2025.	Piruvato (producido al final de la glucólisis) NADH (producido durante la oxidación del gliceraldehído-3-fosfato)	No hay intermediarios metabólicos significativos entre el piruvato y el lactato .	Ácido láctico (lactato) (1 mol de glucosa → 2 mol de ácido láctico)	Lactato deshidrogenasa (LDH) Reacción: Piruvato + NADH + H ⁺ → Lactato + NAD ⁺	Redox (NADH/NAD⁺) La LDH se activa con alto NADH. Permite regenerar NAD ⁺ para la glucólisis pH intracelular El exceso de ácido láctico puede acidificar el citoplasma, lo que inhibe la actividad enzimática. Concentración de lactato Altos niveles de lactato extracelular pueden inhibir la excreción activa del mismo, frenando el flujo. Regulación a nivel génico (catabolito) La disponibilidad de glucosa reprime la expresión de otras rutas mediante regulación tipo Ccp A.
Biosíntesis de ácidos grasos y fosfolípidos Zhao et al., 2016; Zheng et al., 2015.	Acetil-CoA (proveniente del metabolismo de glucosa) Malonil-CoA (formado a partir de acetil-CoA y CO ₂) NADPH (como poder reductor)	Malonil-ACP (ácido malónico activado) β-Cetoacil-ACP β-Hidroxiacil-ACP Enoil-ACP Acil-ACP (alargamiento en ciclos de 2 carbonos)	Ácidos grasos de cadena media (predominantemente C14, C16 y C18) Fosfatidilglicerol, cardiolipina y otros fosfolípidos (para la membrana celular)	(Sistema tipo FAS II - complejo enzimático bacteriano) Acetil-CoA carboxilasa (ACC) Malonil-CoA-ACP transacilasa (FabD) β-Cetoacil-ACP sintasa (FabH, FabB, FabF) β-Cetoacil-ACP reductasa (FabG) β-Hidroxiacil-ACP deshidratasa (FabA/FabZ) Enoil-ACP reductasa (FabI) -	Acetil-CoA carboxilasa (ACC) Punto de control clave; regulada por disponibilidad de acetil-CoA y niveles energéticos (ATP/AMP). Disponibilidad de NADPH La ruta depende de NADPH (proviene de la ruta de las pentosas fosfato). Baja disponibilidad limita la síntesis. Control por demanda de membrana El crecimiento bacteriano o estrés (como cambio de temperatura o pH) puede inducir la síntesis de lípidos. Represión por producto La acumulación de ácidos grasos puede inhibir la actividad de algunas enzimas del complejo FAS II.

Continuación [Tabla 1.](#) /
continuation of [Table 1.](#)

<p>Biosíntesis de aminoácidos Aimutis, 2014.</p>	<p>Intermediarios de la glucólisis: Piruvato, 3-fosfoglicerato</p> <p>Intermediarios del ciclo del ácido cítrico truncado: α-cetoglutarato, oxaloacetato</p> <p>Amoniac (NH_3) y glutamato como donadores de grupo amino</p> <p>ATP, NADPH (reacciones reductivas)</p>	<p>fosfoserina Glutamato semialdehído Ornitina, urea (en catabolismo de arginina)</p>	<p>Amoniac (NH_3) Ácidos orgánicos (acético, propiónico, etc.) Poliaminas (putrescina, cadaverina) Compuestos aromáticos volátiles (derivados de tirosina, fenilalanina) Coenzimas y precursores de NAD^+</p>	<p>Glutamato deshidrogenasa Glutamina sintetasa Aspartato transaminasa Alanina transaminasa Fosfoglicerato deshidrogenasa, fosfoserina aminotransferasa Serina hidroximetiltransferasa Argininosuccinato sintetasa Glutamato semialdehído deshidrogenasa</p>	<p>Retroinhibición por producto. Ej. Glutamato inhibe su propia biosíntesis. Regulación por disponibilidad de nitrógeno. Algunos genes se activan con baja $[\text{NH}_4^+]$ o escasez de aminoácidos CodY (regulador de BCAA). Reprime genes biosintéticos cuando hay abundancia de aminoácidos esenciales (ej. isoleucina, leucina, valina).</p>
<p>Catabolismo de aminoácidos Chamberlain et al., 2022; Salgado et al., 2023.</p>	<p>Aminoácidos exógenos: α-cetoglutarato, piruvato, aspartato, tirosina, entre otros.</p> <p>Péptidos cortos importados a través de transportadores (Opp, DtpT)</p>	<p>α-Cetoácidos (α-cetoglutarato, piruvato, oxaloacetato) Ornitina, citrulina (ruta de arginina) Poliaminas (putrescina, cadaverina) Ácidos volátiles: ácido acético, ácido butírico NH_3 (regula el pH intracelular y extracelular)</p>	<p>Amoniac (NH_3), Aminas biogénicas, Ácidos orgánicos, CO_2</p>	<p>Arginina deiminasa (ADI) Ornitina transcarbamilasa Carbamato quinasa Glutamato descarboxilasa (GAD) Lisina descarboxilasa (LDC) Aminotransferasas Deshidrogenasas</p>	<p>Inducción por sustrato. La presencia de aminoácidos como arginina o glutamina induce la expresión de sus rutas catabólicas. Regulación por pH. Rutas como ADI o descarboxilación de lisina se activan en medio ácido (pH bajo) Balance redox (NAD^+/NADH). Algunas reacciones generan NADH; el equilibrio con NAD^+ afecta el flujo Sistemas reguladores globales (CodY). Reprime catabolismo cuando hay suficiente suministro de aminoácidos esenciales o energía Feedback por producto. Acumulación de NH_3 o poliaminas puede inhibir las enzimas que los producen</p>
<p>Vías y aminoácidos involucrados: -Desaminación (Glutamato, aspartato) -Descarboxilación (Arginina, lisina, glutamato)</p>					
<p>Ruta arginina-deiminasa (ADI) (Arginina)</p>					
<p>Transaminación + deshidrogenación (Leucina, isoleucina, fenilalanina, tirosina)</p>					
<p>Hidrólisis de glutamina (Glutamina \rightarrow Glutamato + NH)</p>					

Continuación **Tabla 1.** /
continuation of **Table 1**

<p>Rutas de purinas Nucleótidos Purinas (AMP, GMP) y pirimidinas (UMP, CMP, TMP). Lebeer et al., 2008.</p>	<p>Biosíntesis de novo: Ribosa-5-fosfato (de la vía de las pentosas), aminoácidos (glutamina, aspartato, glicina). Ruta de salvamento: Bases libres (adenina, guanina, uracilo, citosina), nucleósidos (adenosina, uridina, etc.), PRPP</p>	<p>PRPP (fosforribosil pirofosfato): punto de entrada común IMP (inosina monofosfato): precursor de AMP y GMP UMP (uridina monofosfato): precursor de pirimidinas Carbamoil fosfato y ácido orótico (en pirimidinas)</p>	<p>Nucleótidos de purina: AMP, GMP, ADP, GDP, ATP, GTP. Nucleótidos de pirimidina: UMP, CMP, TMP, UTP, CTP Nucleósidos y bases libres: como resultado de reciclaje o degradación Intermediarios energéticos y coenzimas: NAD⁺, FAD, CoA, SAM</p>	<p>PRPP sintetasa Adenina fosforribosiltransferasa (APRT) Hipoxantina-guanina fosforribosiltransferasa (HGPRT) Orotato fosforribosiltransferasa Carbamoil fosfato sintetasa Aspartato transcarbamoilasa Nucleósido kinasa Ribonucleótido reductasa</p>	<p>Retroinhibición por nucleótidos finales (ATP, CTP). Inhiben pasos iniciales (como PRPP sintetasa, carbamoil fosfato sintetasa). Represión por abundancia de nucleótidos. Genes biosintéticos reprimidos cuando hay nucleósidos disponibles Menor gasto energético. Aumenta expresión de transferasas (APRT, HGPRT, UPRT) NAD⁺/NADH y ATP influyen en conversión a dNTPs y actividad de nucleótido reductasa.</p>
<p>Ruta Metabolismo secundario Metabolito: Bacteriocina (acidofilina) Tipo de ruta: Biosintética peptídica (ribosomal) Cotter et al., 2013.</p>	<p>Sustrato Aminoácidos (para ensamblar la secuencia peptídica) Energía (ATP y GTP para la transcripción y traducción)</p>	<p>Intermediarios ARNm del gen bacteriocínico (ej. <i>acfA</i>, dependiendo de la cepa) Péptido precursor (pro-acidofilina): incluye un péptido líder N-terminal que luego se escinde</p>	<p>Productos finales Acidofilina activa (péptido antimicrobiano maduro)</p>	<p>Enzimas ARN polimerasa Ribosomas (síntesis del péptido precursor) Proteasa de transporte (escisión del líder) Enzimas de modificación postraducciona (metilación, formación de puentes disulfuro, etc)</p>	<p>Mecanismo de regulación Regulación por quorum sensing Regulación transcripcional por genes reguladores específicos del operón bacteriocínico (por ejemplo, <i>bcnR</i> o <i>agr</i> homólogos) Inducidas por estrés o presencia de bacterias competidoras</p>
<p>Metabolismo secundario Metabolito: Exopolisacarido (dextran) Dailin et al., 2023. Tipo de ruta: Vía del azúcar nucleótido (UDP-glucosa / dTDP-rhamnosa)</p>	<p>Glucosa, galactosa, otros monosacáridos</p>	<p>Glucosa-1-fosfato UDP-glucosa, dTDP-rhamnosa, UDP-galactosa</p>	<p>EPS (heteropolisacáridos; dextran)</p>	<p>Glucosa-1-fosfato uridililtransferasas Glicosiltransferasas Polimerasas de EPS</p>	<p>Regulación por disponibilidad de carbohidratos Regulación transcripcional (genes <i>epsA-E</i>) Aumentada en condiciones de estrés o durante formación de biofilms</p>

Continuación **Tabla 1.** /
 continuation **Table 1.**

<p>Metabolismo secundario Metabolito: Ácido acético, ácido fórmico. Liong y Shah, 2005. Tipo de ruta: Fermentación heteroláctica parcial o metabolismo de pentosas</p>	<p>Glucosa, xilosa, arabinosa</p>	<p>Ribulosa-5-fosfato (vía pentosas) Acetilfosfato, formiato</p>	<p>Ácido acético, ácido fórmico</p>	<p>Xilulosa-5-fosfato fosfocetolasa Acetato quinasa Formiato deshidrogenasa</p>	<p>Influenciada por la disponibilidad de oxígeno y tipo de azúcar Balance redox intracelular (NADH/NAD⁺)</p>
<p>Metabolismo secundario Metabolito: vitaminas del grupo B. LeBlanc et al., 2011. Tipo de ruta: Vías biosintéticas específicas</p>	<p>GTP ribulosa-5-fosfato serina p-aminobenzoato (PABA)</p>	<p>Lumazina (para riboflavina) Dihidropteroato (para ácido fólico)</p>	<p>Vitaminas del grupo B</p>	<p>Riboflavina sintasa Dihidropteroato sintasa Folato sintasa</p>	<p>Por disponibilidad de precursores y feedback negativo por acumulación del producto A menudo moduladas por factores ambientales como pH y limitación nutricional.</p>
<p>Metabolismo secundario Metabolito: Aldehído. Gänzle y Ripari, 2016. Tipo de ruta: Degradación de aminoácidos (Trp, Phe, Leu)</p>	<p>Aminoácidos aromáticos</p>	<p>Ácido fenilpirúvico, ácido indolacético</p>	<p>Aldehído</p>	<p>Aminotransferasas Descarboxilasas Deshidrogenasas</p>	<p>Inducidas en fermentaciones prolongadas o proteínas ricas Controladas por expresión de enzimas dependientes de cofactores (PLP, TPP)</p>

Tabla 2. Aplicación de *Lactobacillus acidophilus* en la industria alimentaria / Table 2. Application of *Lactobacillus acidophilus* in the food industry.

Alimento	Objetivo	Resultado de la aplicación	Referencia
Yogurt	Adición de microorganismos probióticos, mejora del sabor del yogurt.	Se realizaron cuatro tipos de cultivos para mejorar el sabor del yogurt, el recuento variable de bacterias probióticas fue de 8,1 (<i>Limosilactobacillus reuteri</i>), 9,3 (<i>L. acidophilus</i>) y 7,9 (<i>Bifidobacterium bifidum</i>) UFC/g. Se tiene que <i>L. acidophilus</i> mostró mayor contenido de UFC/g.	Niamah et al., 2023.
Harina de yacón	Evaluar los efectos sinérgicos del yogurt probiótico que contiene <i>Bifidobacterium animalis</i> y/o <i>L. acidophilus</i> y harina de yacón en los parámetros metabólicos y señalización de insulina en ratones con obesidad inducida por la dieta.	La combinación de harina de yacón y yogurt con las dos cepas de probióticos en las ratas favoreció la disminución del peso corporal, mejoró la glucemia y triglicéridos séricos. Se observó una disminución de los marcadores inflamatorios y una mejora en la señalización de insulina.	de Abreu et al., 2022.
Fibra (posbióticos)	Comparar las propiedades antibacterianas y antioxidantes de los postbióticos de cinco bacterias de ácido láctico: incluidas <i>Lactiplantibacillus fermentum</i> , <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> , <i>Lactiplantibacillus rhamnosus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> y <i>L. acidophilus</i> .	Los mejores resultados se registraron para <i>L. casei</i> en comparación con otras bacterias probióticas. Se recomendó que los postbióticos se apliquen como antioxidantes, antimicrobianos y conservantes en las industrias alimentaria y farmacéutica debido a sus efectos deseados y características naturales.	Noori et al., 2022.
Queso	Identificar las bacterias probióticas para la producción de queso fresco fortificado con DJATP (polvo de alcachofa deshidratada).	El queso fresco fortificado con DJATP mostró características bioquímicas superiores (aminoácidos, minerales, flavonoides, fenoles y antioxidantes), atributos funcionales, debido al patrón bacteriano de <i>L. acidophilus</i> .	Elgarhy et al., 2023.
Probiótico comercial	Evaluar la viabilidad a través de recuentos de las células probióticas de once muestras de probióticos comerciales, a través de la simulación gastrointestinal <i>in vitro</i> .	Dos muestras tenían la concentración inicial indicada en su etiquetado y cuatro muestras ofrecieron una concentración de 3 log UFC g ⁻¹ en la porción de fileón. Todas las muestras presentaron una reducción en la concentración durante la simulación gastrointestinal, que varió de 1 a 4 log UFC g ⁻¹ , la mayoría no cumplen con la oferta de un suplemento probiótico.	Naissinger et al. 2021.
Queso de corta maduración	Se analizaron las propiedades probióticas y tecnológicas de tres cepas de <i>Lactobacillus</i> aisladas de quesos tradicionales brasileños. Entre ellos <i>L. acidophilus</i> .	Pruebas <i>in vitro</i> demostraron que las tres cepas son seguras y poseen características probióticas. Presentaron actividad antimicrobiana contra bacterias patógenas, complementarias para mejorar la calidad y la funcionalidad de los quesos de corta maduración. Poseen altas propiedades de formación de biopelículas.	Barreto et al., 2024.
Piña (<i>Ananas comosus</i>)	Comparar la actividad antagonista de dos simbióticos, el primer simbiótico contenía <i>L. acidophilus</i> y el fructooligosacárido (FOS), el segundo simbiótico que contenía <i>L. acidophilus</i> y FOS estándar, contra bacterias patógenas (<i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> y <i>B. cereus</i>).	La actividad del fructooligosacárido (FOS) extraído del residuo de piña fue evidente en ambos modelos, al potenciar la actividad de las bacterias probióticas (<i>L. acidophilus</i>), las cuales desempeñaron un papel fundamental en la producción de ácidos y compuestos que inhibieron las bacterias patógenas.	Ibrahim et al., 2024.
Jugo de naranja	Producir polvo funcional de naranja suplementado con probióticos y prebióticos, mediante la implementación de nuevas tecnologías ecológicas y sostenibles, como el secado por aspersión.	Se mostró la supervivencia y eficiencia de la mezcla de maltodextrina/pectina como vehículo para el proceso de secado por aspersión y la viabilidad de los microorganismos (<i>Lactobacillus casei shirota</i> , <i>Lactobacillus casei immunitas</i> y <i>L. acidophilus johnsonii</i>) probados durante el almacenamiento.	Gervasi et al., 2022.
Pulpa de barú	Evaluar la composición química de la pulpa de barú y su actividad prebiótica en distintas cepas probióticas y la microbiota humana mediante ensayos <i>in vitro</i> .	La pulpa de barú estimuló el crecimiento y el metabolismo de los probióticos <i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> BB-12, <i>L. acidophilus</i> LA-05 y <i>Lactocaseibacillus casei</i> L-26. Además, indujo beneficios significativos en la microbiota humana, aumentando la abundancia de microorganismos benéficos. posee propiedades prebióticas potenciales que podrían explorarse en la formulación de nuevos alimentos saludables.	Alves-Santos et al., 2023.

Continuación Tabla 2. / continuation of Table 2.

Manzana (<i>Malus domestica</i>)	Investigar los efectos de la fermentación de <i>Lactobacillus rhamnosus</i> zrx01 (LR-zrx01), <i>L.acidophilus</i> zrx02 (LA-zrx02) y <i>Lactobacillus plantarum</i> zrx03 (LP-zrx03), así como la digestión dinámica simulada con ratas biónicas, sobre la biotransformación y el potencial antioxidante de los polifenoles de manzana.	El contenido de polifenoles de la pulpa de manzana fermentada con las tres cepas fue superior al de la pulpa no fermentada. La actividad antibacteriana de la pulpa de manzana mejoró tras la fermentación y el potencial antioxidante aumentó. Estos hallazgos sientan las bases para el desarrollo de bebidas alimenticias funcionales.	Zhao et al., 2023.
Snacks lácteos con bagazo de arándanos	Desarrollar nuevos refrigerios lácteos congelados fermentados con probióticos (<i>L. acidophilus</i> LA5; <i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> GG y <i>Streptococcus thermophilus</i> BIOTEC003) y contenido de 2% de bagazo de arándano.	La viabilidad probiótica se mantuvo alta (>8,5 log UFC/mL) después de la congelación y el almacenamiento a -20 °C durante 30 días. Tras la digestión simulada, los probióticos retuvieron >7,5 log UFC/mL, las formulaciones de bagazo de arándano mostraron un contenido fenólico mayor (7,62–8,74 mg/g de peso seco) y una mayor capacidad antioxidante. Estas formulaciones son un gran potencial para la incorporación de probióticos y aprovechamiento sostenible de subproductos de fruta en la industria alimentaria.	Hurtado-Romero et al., 2025.
Aperitivo de kéfir	Desarrollar un aperitivo tipo salado y evaluar sus características fisicoquímicas, sensoriales e instrumentales y la resistencia de las bacterias ácido lácticas (BAL) al tracto gastrointestinal (TGI) simulado <i>in vitro</i> .	Se prepararon cinco formulaciones seguras para el consumo. En la prueba <i>in vitro</i> de tracto gastrointestinal (TGI), a los 28 días, se obtuvieron > 8,5 log UFC/g de BAL, lo que promueve los beneficios para el consumidor. El uso de estos subproductos no presenta ningún impacto negativo y contribuirá a la reducción de la producción de productos nocivos para la industria alimentaria.	da Conceição et al., 2021.
Bebida de soya	Evaluar la idoneidad de un proceso de fermentación, mediante bacterias probióticas, de bases líquidas de soya obtenidas del grano, harina y extracto en polvo.	Las bacterias probióticas fueron <i>L. acidophilus</i> y <i>Bifidobacterium animalis</i> , mostraron potencial fermentativo y cumplieron con la legislación, que establece una concentración mínima de 8 log UFC por porción durante al menos 45 días de almacenamiento refrigerado a 8 °C. Las bebidas probióticas fermentadas a base de soya son una opción en la industria alimentaria.	Carneiro et al., 2022.
Pulpa de café	Evaluar el efecto de la digestión <i>in vitro</i> sobre compuestos bioactivos, actividades biológicas del extracto de pulpa de café (CPE) contra patógenos y un probiótico (<i>L. acidophilus</i> TISTR 1338).	Los compuestos bioactivos del CPE pueden degradarse durante la digestión <i>in vitro</i> , lo que conlleva la pérdida de sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Por lo tanto, el CPE podría ser un posible antimicrobiano natural para la industria alimentaria, sin afectar a los probióticos.	Khochapong et al., 2021.
Queso de soya	Determinar como el cultivo probiótico afectó las características fisicoquímicas, texturales y microbiológicas del queso de soya y la liberación de péptidos bioactivos durante la fermentación y el almacenamiento.	Las muestras presentaron un recuento probiótico superior a 10^7 UFC/g al final del almacenamiento. Se detectaron propiedades antibacterianas y antioxidantes en las fracciones peptídicas extraídas de las muestras. El queso producido se considera una fuente adecuada de péptidos potencialmente bioactivos que pueden utilizarse en la industria alimentaria.	Mashayekh et al., 2025.
Yogur enriquecido con fisetina	Producir yogur enriquecido con fisetina utilizando biocápsulas de <i>L. acidophilus</i> mediante osmoporación como cultivo iniciador	Este estudio demuestra que la osmoporación de fisetina con <i>L. acidophilus</i> es un bioproceso de encapsulación versátil que permite la administración de fitoactivos conservados a alimentos fermentados como el yogur. Esta estrategia tiene el potencial de extenderse a otras aplicaciones en la industria láctea utilizando bacterias lácticas como matriz de encapsulación y agente de fermentación.	de Andrade et al., 2022.
Miel	Aislar especies de <i>lactobacilos</i> de diferentes regiones melíferas y evaluar sus posibles propiedades probióticas.	Diversos factores, como las condiciones climáticas y la ubicación geográfica, pueden influir en la composición y la diversidad microbiana de la miel. La identificación y el aislamiento de posibles especies probióticas en la miel podrían ampliar significativamente su uso en las industrias alimentaria y farmacéutica, ofreciendo numerosos beneficios para la salud y posibles aplicaciones terapéuticas.	Goli Mehdi Abadi et al., 2023.

Continuación Tabla 2./continuation of Table 2.

Leche de soya	Explorar las propiedades prebióticas de nuevas formulaciones de bebidas derivadas de la leche de soya para ser fermentadas con cepas probióticas.	Se mostró que, a mayor tasa de crecimiento de microorganismos probióticos, menor crecimiento de patógenos. La leche de soya fermentada logró cumplir con el requerimiento mínimo de 10 ⁶ células probióticas viables/mL. La leche de soya reportó una potente actividad prebiótica, con la capacidad de promover el crecimiento de probióticos y aumentar el contenido de sustancias bioactivas.	Rana et al., 2024.
Okara	Preparar y evaluar una nueva bebida funcional probiótica, utilizando fermentación de probióticos simples y compuestos en okara. Cuatro formas diferentes de microorganismos de fermentación utilizados fueron <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i> , <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> , <i>L. acidophilus</i> y fermentación mixta.	Los resultados mostraron que diferentes esquemas de fermentación podrían mejorar las propiedades fisicoquímicas, la actividad antioxidante y la calidad sensorial de las bebidas de okara, estas bebidas pueden almacenarse a 4 °C durante 15 días, con una actividad probiótica superior a 10 ⁷ UFC/mL. Se obtuvo una bebida de okara probiótica rica en isoflavonas de soja y con buen sabor.	Li et al., 2024.
Alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>)	Evaluar el potencial prebiótico de los subproductos de la alcachofa mediante estudios de fermentabilidad <i>in vitro</i> con cultivos puros de <i>L. acidophilus</i> y <i>Bifidobacterium bifidum</i> .	La alcachofa favoreció el crecimiento de <i>L. acidophilus</i> y <i>Bifidobacterium bifidum</i> , lo que sugiere su potencial con efecto prebiótico. Esta capacidad bifidogénica se ha demostrado mediante el consumo de sustrato, el crecimiento bacteriano y la producción de ácidos grasos de cadena corta y ácido láctico.	Holgado et al., 2021.
Leche funcional	Preparar un nuevo producto lácteo funcional que contenía <i>T. vulgaris</i> y <i>N. sativa</i> como aceites y <i>L. acidophilus</i> como bacteria probiótica.	<i>T. vulgaris</i> y <i>N. sativa</i> mostraron actividad antimicrobiana contra algunas bacterias patógenas, moho y levadura. La incorporación de aceites en la leche acidófila extendió su vida útil a 30 días a 4 °C con buenas cualidades químicas, microbiológicas y sensoriales. Las actividades antimicrobianas, las propiedades saborizantes y los constituyentes de ácidos grasos aumentaron el potencial de la leche acidófila como un nuevo producto lácteo funcional, con sabor mejorado y mayor estabilidad de vida útil.	Abdelhamid et al., 2021.
Encapsulación de probióticos en chocolate	Crear dos formulaciones diferentes de cacao en polvo como encapsulantes alternativos junto con alginato de sodio (A ₁) y alginato de sodio y fructooligosacáridos (A ₂) y evaluar las viabilidades de probióticos encapsulados antes y después de agregarlos a los chocolates.	Las eficiencias de encapsulación más alta fueron para la formulación con <i>Lactobacillus casei</i> y <i>L. acidophilus</i> . Los probióticos encapsulados mantuvieron una viabilidad superior al nivel terapéutico recomendado (10 ⁷ UFC/g) durante 180 y 120 días de almacenamiento a 4 y 25 °C. Ambas formulaciones exhibieron significativamente (P < 0,05) alta capacidad de supervivencia de los probióticos (8,0 Logs UFC/g) durante la digestión gastrointestinal <i>in vitro</i> . El cacao en polvo y el alginato de sodio son material potencial de encapsulación de probióticos, y los chocolates podrían ser un excelente vehículo para probióticos.	Hossain et al., 2021.
Jugo de zapote (<i>Pouteria sapota</i>)	Evaluar la adaptabilidad e idoneidad de la cepa <i>L. acidophilus</i> , para la fermentación de jugo de zapote, monitoreando su efecto sobre las células viables durante las condiciones de almacenamiento, propiedades fitoquímicas y antioxidantes.	Después de una fermentación de 48 h, el recuento de células probióticas alcanzó 9,08 log UFC/mL con una acidez mejorada de 0,28 a 0,80 mg/L y una posterior disminución del pH del jugo de 5,21 a 3,84. La fermentación láctica también incrementó los niveles de fitoquímicos en el jugo, lo que se traduce en un aumento notable de su potencial antioxidante. La fermentación láctica puede ser un excelente método para mejorar la estabilidad del almacenamiento, las cualidades funcionales y sensoriales.	Sarkar et al., 2025.
Yogur posbiótico	Explorar los efectos antibacterianos, antioxidantes y reductores del colesterol, mediante el uso de <i>L. acidophilus</i> y <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> (LbP) en estudios <i>in vitro</i> y en ratas.	El yogur fortificado con posbióticos exhibió efectos antioxidantes y antibacterianos significativos. La capacidad antioxidante del yogur alcanzó un pico de 48,81% al día 14. Las ratas alimentadas con colesterol alto que recibieron yogur posbiótico experimentaron reducciones significativas en los niveles de colesterol total, triglicéridos y LDL. El yogur funcional con probióticos es una estrategia segura y eficaz para controlar los niveles de colesterol e inhibir los patógenos transmitidos por los alimentos.	Davarzani et al., 2024.

Continuación Tabla
2./ continuation of
Table 2.

Barra de cereal	Incorporar en harina de hoja de Pereskia y plátano encapsulación de un hidrogel de alginato de calcio reforzado con hidróxido de magnesio para proteger las células probióticas (con <i>L. acidophilus</i>) en condiciones gastrointestinales y prolongar su vida útil.	La encapsulación promovió la protección de las células probióticas en condiciones gástricas, permitiendo el mantenimiento de altos recuentos de células viables ($> 10 \log \text{ UFC}$) y protegió a las células probióticas tres veces más que a las células libres. Se observó un alto recuento de células probióticas tras el almacenamiento durante 120 días ($12,54 \log \text{ UFC}$), manteniendo una tasa de supervivencia probiótica $> 90 \%$ para promover beneficios a la salud.	Lasta et al., 2021.
Salvado de arroz	Evaluar el potencial de crecimiento de <i>L. acidophilus</i> y <i>L. plantarum</i> en salvado de arroz, un coproducto de la industria alimentaria, y desarrollar un simbiótico liofilizado.	El salvado de arroz mostró concentraciones significativas de compuestos fenólicos ($3,69 \pm 0,04 \text{ mg EAG/mL}$). Su actividad antioxidante fue significativa, según los métodos ABTS ($8,35 \pm 0,106 \mu\text{mol ET/mL}$) y DPPH ($24,71 \pm 7,90 \mu\text{mol ET/mL}$). La concentración de bacterias disminuyó al someterse al proceso de liofilización; sin embargo, se mantuvo en la concentración mínima requerida para que un producto se considere simbiótico.	Ferronato et al., 2021.
Jugo de frutas y verduras	Evaluar una mezcla de jugo fermentado con cepas probióticas de bacterias del ácido láctico y <i>bifidobacterias</i> y evaluar el sabor y aceptabilidad.	El número de células probióticas aumentó hasta $9,42 \log \text{ UFC/mL}$. En consecuencia, al final del almacenamiento, todas las cepas exhibieron una cantidad aceptable de viabilidad. En la evaluación sensorial el sabor y la aceptabilidad de la bebida por parte del consumidor mejoraron con la adición de un 30% de jugo de manzana.	Güney y Güngörmüşler, 2021.