



## Los prebióticos y su efecto en el crecimiento de *Lactobacillus*: Una revisión actualizada

Prebiotics and their effect on *Lactobacillus* growth: An updated review

Patricia Elizabeth Torres-Plasencia<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento académico de Química Biológica y Fisiología Animal. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

Patricia Elizabeth Torres-Plasencia:  <https://orcid.org/0000-0001-6840-8713>

**Artículo Original**

Recibido: 15 de julio de 2024

Aceptado: 25 de octubre de 2024

### Resumen

El objetivo de esta revisión fue analizar críticamente la evidencia reciente sobre el efecto de los prebióticos en el crecimiento de bacterias del género *Lactobacillus*, considerando estudios in vitro, en modelos animales y en humanos. Se realizó una revisión sistemática de literatura en bases de datos como PubMed, Scopus y ScienceDirect. La evidencia indica que los prebióticos favorecen selectivamente el crecimiento y actividad metabólica de *Lactobacillus*, promoviendo la producción de metabolitos bioactivos, como ácidos grasos de cadena corta y bacteriocinas, con efectos antimicrobianos, inmunomoduladores y antiinflamatorios. Asimismo, su uso en formulaciones simbióticas potencia beneficios metabólicos e inmunológicos en el hospedero. No obstante, la variabilidad interindividual en la respuesta a los prebióticos resalta la necesidad de estrategias nutricionales personalizadas. En conclusión, los prebióticos constituyen moduladores clave de la microbiota intestinal con implicancias relevantes para la salud humana.

**Palabras clave:** *Lactobacillus*, prebióticos, microbiota intestinal, simbióticos, salud humana.

### Abstract

This review aimed to critically analyze recent evidence on the effects of prebiotics on the growth of bacteria from the genus *Lactobacillus*, including in vitro, animal, and human studies. A systematic literature review was conducted using databases such as PubMed, Scopus, and ScienceDirect. Evidence shows that prebiotics selectively stimulate the growth and metabolic activity of *Lactobacillus*, enhancing the production of bioactive metabolites such as short-chain fatty acids and bacteriocins, which exhibit antimicrobial, immunomodulatory, and anti-inflammatory effects. Moreover, their use in synbiotic formulations enhances metabolic and immune benefits in the host. However, interindividual variability in response to prebiotics highlights the need for personalized nutritional strategies. In conclusion, prebiotics are key modulators of gut microbiota with significant implications for human health.

**Keywords:** *Lactobacillus*, prebiotics, gut microbiota, synbiotics, human health.

\*Autor para correspondencia: E. mail: [ptorres@unitru.edu.pe](mailto:ptorres@unitru.edu.pe)

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2024.44.02.14>

Citar como:

Torres-Plasencia, P. (2024). Los prebióticos y su efecto en el crecimiento de *Lactobacillus*: Una revisión actualizada. *REBIOL*, 44(2), 106-122.



## 1. Introducción

Desde la perspectiva nutricional y funcional, la modulación dirigida de la microbiota intestinal se ha consolidado como una estrategia prometedora para promover la salud del hospedero. En este contexto, los prebióticos, probióticos y simbióticos han adquirido una relevancia creciente debido a su capacidad para influir sobre la estructura y actividad metabólica de las comunidades microbianas intestinales. De acuerdo con las definiciones científicas actualmente más aceptadas, los prebióticos son sustratos no digeribles que son utilizados selectivamente por microorganismos del hospedero, confiriendo un beneficio para la salud (Gibson et al., 2017). Esta definición los distingue claramente de los probióticos, entendidos como microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, ejercen efectos beneficiosos sobre la salud del hospedero (Roy & Dhaneshwar, 2023), y de los simbióticos, que comprenden combinaciones de microorganismos vivos y sustratos utilizados selectivamente por dichos microorganismos, con el propósito de generar un beneficio fisiológico adicional en el hospedero (Swanson et al., 2020).

En los últimos años, los prebióticos han despertado un notable interés científico debido a su capacidad para modular de manera selectiva la microbiota intestinal, especialmente mediante el estímulo del crecimiento y la actividad metabólica de microorganismos considerados beneficiosos, entre ellos especies del grupo tradicionalmente reconocido como *Lactobacillus*. Diversos compuestos, como la inulina, los fructooligosacáridos (FOS), los galactooligosacáridos (GOS) y los xilooligosacáridos (XOS), han sido ampliamente estudiados como fuentes de carbono no digerible capaces de favorecer selectivamente la proliferación de estos microorganismos. Asimismo, su fermentación conduce a la producción de metabolitos bioactivos, particularmente ácidos grasos de cadena corta, que cumplen funciones esenciales en la homeostasis intestinal, la integridad epitelial y la regulación inmunometabólica del hospedero (Yoo et al., 2024; You et al., 2022). En este sentido, los prebióticos no solo actúan como moduladores composicionales de la microbiota, sino también como promotores de respuestas funcionales con implicancias fisiológicas relevantes.

El género *Lactobacillus* ha sido históricamente reconocido como uno de los componentes más importantes de la microbiota asociada a la salud y, por ello, ha constituido uno de los principales blancos de la

modulación prebiótica (Böger et al., 2019; Grootaert et al., 2009; Karakan et al., 2021; Leschonski et al., 2024). No obstante, el conocimiento en torno a su interacción con los prebióticos continúa en expansión y ha cobrado una nueva dimensión a partir de la reciente reestructuración taxonómica del género, la cual ha redefinido de manera sustancial la clasificación de numerosas especies previamente agrupadas bajo *Lactobacillus* (Zheng et al., 2020). Esta actualización taxonómica tiene implicancias directas en la interpretación comparativa de la evidencia científica, en la precisión terminológica y en la contextualización de los hallazgos experimentales y clínicos. En este marco, la presente revisión tuvo como objetivo analizar críticamente la evidencia reciente sobre el efecto de los prebióticos en el crecimiento de *Lactobacillus*, considerando estudios *in vitro* y *in vivo* en modelos animales y en humanos, así como discutir las principales limitaciones, perspectivas y desafíos asociados con su aplicación.

## 2. Tópicos de revisión

### Prebióticos: definición, clasificación, fuentes

#### Definición

El término prebiótico, usado por primera vez en 1995, se definía como un ingrediente alimentario no digerible, que estimula selectivamente el crecimiento y/o la actividad de una o un número limitado de bacterias en el colon, mejorando así la salud del hospedero (Bevilacqua et al., 2024; Davani-Davari et al., 2019). Esta definición ha sido objeto de diversos debates y discusiones como consecuencia de la búsqueda de un enunciado que abarque los diversos aspectos relacionados con el término prebiótico, por ejemplo, su estructura y composición, microorganismos involucrados en su metabolismo, efectos beneficiosos en el hombre o los animales (La Fata et al., 2017).

En la preocupación por tener una definición más acertada, que abarque y se ajuste a las necesidades y objetivos que hoy en día demanda el uso y aplicación de los prebióticos, La Asociación Científica Internacional de Probióticos y Prebióticos (ISAPP), propuso una definición, aún vigente, en la que se detalla que, un prebiótico, es un sustrato utilizado selectivamente por los

microorganismos del hospedero, confiriendo un beneficio para su salud (Gibson et al., 2017), con esta definición, el término sustrato es más amplio e, incluye a cualquier sustancia que pueda ser utilizada por los microorganismos que se ubican no solo a nivel intestinal, sino también, en la piel y las mucosas (Martín & Langella, 2019).

Así mismo, la Asociación Global de Prebióticos, desde un punto de vista industrial, define a los prebióticos, como un compuesto o ingrediente que la microbiota utiliza para producir un beneficio para la salud o el rendimiento, esta asociación, en su postura, no considera el término "selectividad" para el uso de los prebióticos y va más allá de simples beneficios a la salud, incluyendo su efecto respecto al rendimiento deportivo, cognitivo o mental (Deehan et al., 2024).

La definición de prebiótico, ha ido en evolución, desde solo considerar a sustancias fermentables, tipo carbohidratos, a nivel del colon, específicamente; a aplicar para una amplia variedad de sustratos que se pueden metabolizar en otras partes del organismo y, con beneficios comprobados para la salud.

#### **Clasificación: por su estructura química, su origen**

##### **Por su estructura química**

##### **Fructanos (inulina; fructooligosacáridos o FOS)**

Carbohidratos no digeribles, son polímeros de fructosa unidas, en su mayoría, por enlaces  $\beta$ -(2,1) con una glucosa final, estos fructanos se diferencian por su grado de polimerización (DP); en el caso de los FOS, tienen un DP 2-10 y, la inulina un DP > 10 (Yoo et al., 2024).

Los estudios demuestran su gran potencial como prebióticos, ya que promueven el crecimiento de *Bifidobacterium* y, la producción de ácidos grasos de cadena corta (Hughes et al, 2021; Yoo et al., 2024).

##### **Galactooligosacáridos (GOS)**

También se conocen como carbohidratos no digeribles, químicamente están constituidos por unidades de galactosa con enlaces  $\beta$ -(1, 4/6/3) y una molécula terminal de glucosa (Yoo et al., 2024). Son muy utilizados

en la nutrición infantil para simular los oligosacáridos provenientes de la leche materna, promueven el crecimiento de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* (Böger et al., 2019).

##### **Xilosaoligosacáridos (XOS)**

Prebióticos derivados de la biomasa vegetal (celulosa, hemicelulosa y lignina), constituidos por 2 a 7 moléculas de xilosa, unidas por enlaces  $\beta$ -1, 4-glicosídicos (Yan et al., 2022). También promueve de manera selectiva, el crecimiento de *Bifidobacterium* (Kumar et al., 2024).

##### **Arabinoxilano-oligosacáridos (AXOS)**

Derivan del arabinoxilano, presente en cereales como el trigo y, constituido por una cadena central de xilosa, con sustituciones de L-arabinosa. Su potencial prebiótico es mayor que el arabinoxilano e incluso que la inulina en lo que se refiere a mejoras en el metabolismo de las grasas o el crecimiento de *Bifidobacterium* o *Lactobacillus* (Grootaert et al., 2009; Leschonski et al., 2024).

##### **Oligosacáridos pécticos (POS)**

Derivados de la hidrólisis de la pectina, están constituidos por unidades de ácido galacturónico. Modula la microbiota intestinal, favoreciendo el desarrollo de bacterias beneficiosas y suprimiendo a los patógenos (de Oliveira et al., 2024; Gomes de Alencar et al., 2025).

##### **Disacáridos no digeribles (lactulosa, lactitol)**

Muy aparte de sus propiedades laxantes, la lactulosa (disacárido de galactosa y fructosa) evaluado vía vaginal, resulta mejorar el crecimiento selectivo de los *Lactobacillus* vaginales, mientras que, disminuye el crecimiento de las bacterias patógenas y de *C. albicans* en el tratamiento de la vaginosis bacteriana (Vieira-Baptista et al., 2022), además, la lactulosa y el lactitol (derivado hidroxilado de la ésta) mejoran la salud intestinal, al favorecer el crecimiento de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* spp. (Karakan et al., 2021).

##### **Almidón resistente**

Se denomina así, al almidón y a los productos de su hidrólisis que no fueron absorbidos a nivel del intestino delgado; existen 5 tipos (1-5), que se diferencian por las

modificaciones físicas o químicas que han sufrido a nivel estructural (Niu et al., 2025; Włodarczyk & Ślizewska, 2021). Estos almidones presentan una gran capacidad para mantenerse intactos hasta llegar al colon, además, favorecen y potencian el crecimiento de bacterias probióticas a nivel intestinal y, mejoran el metabolismo de los carbohidratos y los lípidos (Baptista et al., 2024).

#### **Oligosacáridos de la leche humana (HMOs)**

Considerados uno de los componentes sólidos principales de la leche materna, todos contienen lactosa, a la que se adiciona otros grupos químicos que permiten clasificarlos en: fucosilados (incluyen fucosa), neutros o sialilados (incluyen ácido siálico), éstos también se producen de manera sintética, por procesos biotecnológicos, lo que favorece su disponibilidad (Schönknecht et al., 2023). Tienen actividad prebiótica, pues promueven el crecimiento de bacterias intestinales beneficiosas (como *Bifidobacterium*, principalmente en los bebés y niños), generan ácidos grasos de cadena corta y, además, previenen enfermedades porque dificultan la unión de bacterias y virus al epitelio intestinal (Firman et al., 2024; Walsh et al., 2020).

#### **Otros candidatos a prebióticos**

Los glucooligosacáridos, constituidos por 2 a 10 unidades de glucosa, con uno o dos enlaces O glucosídicos, son objeto de estudio, debido a su selectividad en su degradación por algunas bacterias intestinales beneficiosas, sin embargo, aun los resultados de su estudio como prebiótico, no son homogéneos, por lo que se requiere de más evaluaciones y análisis (Zeng et al., 2023).

#### **Por su origen**

##### **Prebióticos de origen vegetal**

Aquellos que derivan de cualquier parte de una especie vegetal, incluido su pared celular:

**Fructanos (inulina y FOS):** La achicoria es una fuente reconocida de inulina; así como, el plátano, el trigo, la cebolla y el yacón, lo son para los FOS (Arapović et al., 2024; Lavanda et al., 2011).

#### **Almidón resistente (RS) y oligosacáridos pécticos (POS):**

El almidón resistente se encuentra naturalmente, por ejemplo, en granos de cereales mínimamente molidos (RS1), vegetales crudos (RS2), alimentos ricos en almidón que han sido refrigerados o fritos (RS3), por modificación química (RS4) o, por formar complejos con otras biomoléculas como los lípidos (RS5) (Niu et al., 2025). Los POS provienen de la hidrólisis de la pectina, estudiada también como prebiótico y, que es muy abundante en los cítricos, manzanas y en otras fuentes no convencionales como residuos agroindustriales de remolacha, soja, habas, entre otros (Gomes de Alencar et al., 2025; Roman-Benn et al., 2023).

#### **Otros compuestos derivados de los vegetales (prebióticos últimamente estudiados o emergentes)**

Entre ellos se encuentran el ulvan, derivado del alga marina *Ulva*, el agar y alginato, derivado de *Gelidium*, así como, derivados de té verde y té verde chino (ricos en compuestos polifenólicos), proteínas glicosiladas aisladas de guisantes, entre otros; los que han demostrado adecuada capacidad benéfica y en el hospedero y aumento en la concentración de bacterias probióticas (Ali et al., 2025; Patel & Goyal, 2012).

#### **Prebióticos de origen animal**

Oligosacáridos derivados de la leche humana (HMO), entre ellos, la 2-fucosil-lactosa (2'-FL) y la lacto-N-neotetraosa (LNnT), que se utilizan como suplementos en las fórmulas infantiles (Zhang et al., 2024), que han demostrado efecto prebiótico, sin embargo, aún se requieren estudios para evaluar la relación entre su estructura la dosis a utilizar (Schönknecht, et al., 2023).

#### **Género *Lactobacillus*: características, especies relevantes e importancia en la salud humana**

##### **Características**

El género *Lactobacillus*, incluye bacterias grampositivas, inmóviles en su mayoría, fermentativos, anaeróbicos

facultativos, no formadores de esporas, catalasa negativos y con forma de bastón (algunos cocobacilos); que pertenecen a la familia *Lactobacillaceae*, esta familia abarca también a los géneros *Paralactobacillus* y *Pediococcus* (Salveti et al., 2018; Zheng et al., 2020).

Es un género extenso, por lo que se ha realizado diversos estudios con la finalidad de reclasificarlo, basándose principalmente en características comunes como su evolución a partir de un ancestro o filogrupos, sin embargo, muchas de las especies clasificadas, no encajaban en sus filogrupos correspondientes, por lo que era necesario, aplicar otras estrategias de clasificación como la genómica (Wittouck et al. 2019). Basándose en esto último, Zheng et al. (2020), propusieron una reclasificación del género *Lactobacillus*, en 25 géneros, incluyendo el género *Lactobacillus* enmendado, es decir, con algunas de sus especies formando parte de otros géneros, como *Lactobacillus rhamnosus* que se convirtió en *Lacticaseibacillus rhamnosus*, el género *Paralactobacillus* y otros 23 géneros más.

Qiao et al. (2022), consideran que la reclasificación anteriormente propuesta, se ajusta a la inclusión de nuevas especies al género *Lactobacillus*, además, de mejorar la discriminación de las especies a través de los estudios genómicos basados en 16S rRNA y, correlacionar estas especies respecto a sus relaciones evolutivas, su metabolismo y ecología.

Respecto a su metabolismo, las especies del género *Lactobacillus*, son homofermentativos (producen solo ácido láctico), sin embargo, a nivel intestinal, se asocian con lactobacilos heterofermentativos (producen ácido láctico y acético o etanol y CO<sub>2</sub>) y heterofermentativos facultativos (producen ácido láctico y acético); respecto a su hábitat, se encuentran colonizando alimentos fermentados (yogur, entre otros), así como, el intestino, la boca y la cavidad vaginal (Rossi et al., 2019; Zheng et al., 2020).

#### Especies más relevantes

Según la última clasificación propuesta por Zheng et al. (2020), las especies más representativas del género *Lactobacillus*, corresponden a: *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *delbrueckii* (encontrado en granos ácidos y fermentados de vegetales), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (aislado de yogur, queso, intestino de lechones), *Lactobacillus acidophilus* (aislado del intestino de humanos y animales, boca y vagina humana, masa madre y vino), *Lactobacillus crispatus*, *Lactobacillus gasseri* (estos dos principalmente aislados del tracto genital inferior femenino), *Lactobacillus helveticus* (parte del microbioma central del pollo, aislado de otras fuentes lácteas y del tomate), *Lactobacillus iners* (tracto genital inferior femenino y la piel humana), *Lactobacillus jensenii* (predominante en el tracto genital inferior femenino humano), *Lactobacillus johnsonii* (aislado de intestino y vagina humanos, de heces de aves, roedores, terneros y cerdos y, de masas madre tipo II), especies adaptadas a vertebrados, además, también se considera en este género a *Lactobacillus apis* y *Lactobacillus bombicola*, presentes en invertebrados.

Es necesario recalcar que, especies anteriormente reconocidas dentro del género *Lactobacillus*, tales como *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei* y *Lactobacillus rhamnosus*, ahora corresponden al género *Lacticaseibacillus*, es decir, ahora se denominan *Lacticaseibacillus casei*, *Lacticaseibacillus paracasei* y *Lacticaseibacillus rhamnosus* (aislados de lácteos como el yogur y el queso), mientras que *Lactobacillus plantarum* ahora forma parte del género *Lactiplantibacillus* y se denomina *Lactiplantibacillus plantarum* (Sanders & Lebeer, 2020; Vinot & Pane, 2020).

#### Importancia del género *Lactobacillus* en la salud humana

Diversas especies de este género, son reconocidas por su rol beneficioso para la salud del hombre e inclusive, de los animales, por lo que se consideran como probióticos, debido a que promueven la salud del hospedero, cuando son proporcionados en cantidades adecuadas (Roy &

Dhaneshwar, 2023). Entre los beneficios que aportan, están:

**Participación en el equilibrio intestinal, en la producción de sustancias antimicrobianas y, en la estimulación del sistema inmune.**

Mantener el balance o la estabilidad de la microbiota intestinal, resulta en un impacto beneficioso para la salud del hospedador, pues se evita la proliferación de potenciales patógenos causantes de diversos desórdenes intestinales. Algunas especies han sido evaluadas con la finalidad de determinar su capacidad para restablecer la microbiota, tras la acción de varios factores que pueden alterarla, por ejemplo, se estudió el efecto regenerativo de *L. johnsonii*, en la reconstitución de la microbiota intestinal de ratones expuestos a hipoxia en grandes altitudes, se determinó que, *L. johnsonii*, podría aliviar los procesos inflamatorios al reducir la concentración de moléculas proinflamatorias, manteniendo la integridad intestinal, así mismo, esta especie logró mantener un equilibrio entre las especies que se encuentran en el intestino: *Bacteroides* (benéfica) y *Proteobacteria* y *Staphylococcus* (patógenas), favoreciendo la implantación del primero, además de la colonización equilibrada de *Lactobacillus* spp. (Wan et al., 2022).

*L. gasseri*, tiene la capacidad de proteger a las células epiteliales de la apoptosis inducida por TNF- $\alpha$ , reforzar la barrera intestinal sin alterar la microbiota (al lograr la reubicación de la ocludina y el refuerzo de la unión intercelular) e, inhibir reversiblemente la proliferación celular, tras el aumento intracelular del p21WAF (Di Luccia et al., 2022).

*L. acidophilus*, puede aliviar los síntomas gastrointestinales ocasionados por el COVID-19, debido a se determinó que, esta especie ejerce diferentes mecanismos protectores, entre ellos, regula la microbiota intestinal al aumentar el crecimiento de los probióticos como *Bifidobacterium* y, compite con bacterias patógenas al evitar su adhesión por antibiosis, al producir

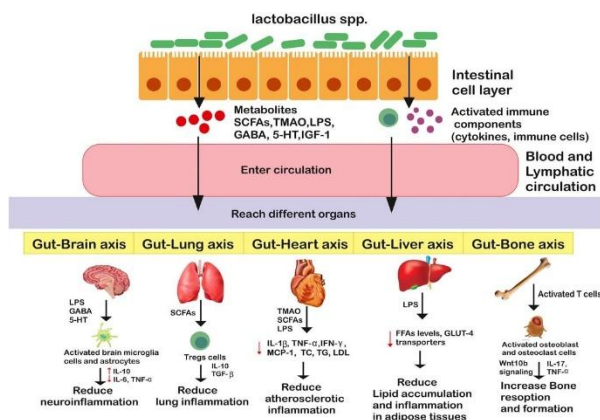
bacteriocinas y ácido láctico; también, fortalece la barrera intestinal debido a que estimula la secreción de mucinas y, la producción de proteínas de unión estrecha que cierran los espacios entre las células epiteliales, además, participa en la regulación de la respuesta inmunológica, al promover la producción de citocinas antiinflamatorias como la interleucina-10 (IL-10), reducir la producción de moléculas proinflamatorias y mejorar la actividad de células T reguladoras, finalmente, se ha demostrado su papel neuromodulador en trastornos gastrointestinales, la ansiedad y depresión (Bertola et al., 2025), así mismo, puede restablecer la microbiota tras la ingesta de antibióticos como la azitromicina (Shoab et al., 2015).

Es necesario indicar que, *Lactobacillus* spp., han demostrado ser versátiles respecto a su actividad antimicrobiana, debido a que pueden producir una diversidad de metabolitos como ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno, óxido nítrico, ácidos grasos de cadena corta y bacteriocinas, que impiden el crecimiento de patógenos, así mismo, pueden degradar toxinas microbianas, desintoxicar micotoxinas, presentar actividad antiviral, fungicida y, regular la inmunidad pulmonar y de otros órganos como el cerebro, corazón, huesos, etc (Rastogi & Singh, 2022), además, existen evidencias de su efecto protector frente al cáncer colorrectal (Toumazi & Constantinou, 2020), debido a que, aumenta los niveles de metabolitos anticancerígenos y, la disminución en la actividad de las vías proinflamatorias (Roy & Dhaneshwar, 2023). Como parte del microbioma vaginal, también han demostrado un rol importante en la prevención de alteraciones urogenitales (por muchos de los mecanismos antes descritos), incluyendo la endometriosis (Sobstyl et al., 2023). En la figura 1, se muestra la diversidad de efectos benéficos que ejerce *Lactobacillus* sobre el hospedero.

**Figura 1**

*Crecimiento de Lactobacillus a nivel intestinal y producción de diversos metabolitos con efectos*

benéficos en diferentes tejidos (cerebro, pulmones, corazón, pulmones y huesos).



Nota. Tomado de Rastogi & Singh (2022).  
[doi.org/10.3389/fphar.2022.1042189](https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1042189)

### Evidencias científicas de la interacción entre los prebióticos y *Lactobacillus*

Existen diversas evidencias, desde estudios *in vitro*, hasta estudios en animales o en el hombre (*in vivo*), en los que se ha evaluado la interacción entre los prebióticos y la microbiota, en especial, el género *Lactobacillus*, lo que ha permitido obtener información respecto a los tipos de prebióticos utilizados, sus fuentes, los mecanismos involucrados y los efectos beneficiosos en el hospedero.

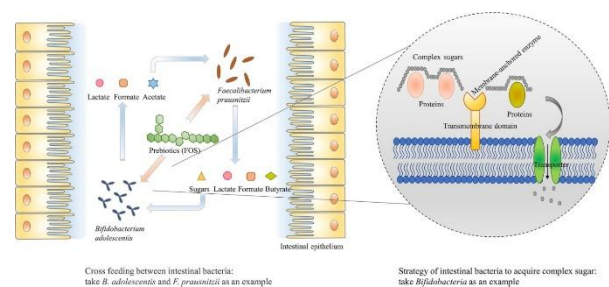
### Mecanismos involucrados en la interacción prebióticos - *Lactobacillus*

Uno de los mecanismos más conocido, es la fermentación selectiva del prebiótico por parte de la microbiota del hospedero; la inulina, los fructooligosacáridos (FOS) y los galactooligosacáridos (GOS), son prebióticos que, a nivel del colon, son utilizados como sustrato para el crecimiento de bacterias beneficiosas, particularmente de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Corzo et al., 2015; Di Primio et al., 2021), tal como se muestra en la figura 2.

Tras la fermentación de los prebióticos, *Lactobacillus* genera principalmente ácido láctico y acético, los que son metabolizados a ácidos grasos de cadena corta (acetato y butirato) por la microbiota acompañante, lo que también favorece el crecimiento de esta última y proporciona beneficios para el hospedero (Yoo et al., 2024; The Institute for Functional Medicine, 2025). El butirato está relacionado con la salud intestinal, pues los colonocitos, lo utilizan como fuente de energía, lo que los mantiene activos y, se reduce la probabilidad de los procesos inflamatorios a nivel del colon, además, estos ácidos disminuyen el pH, con lo que evitan el establecimiento de los patógenos y, favorecen la absorción de minerales (Basnet et al., 2024; Smolinska et al., 2025).

Figura 2

*Fermentación selectiva de los prebióticos por mecanismos de acoplamiento, reducción a oligosacáridos y absorción a nivel de la membrana celular, así como, producción de metabolitos que favorecen el crecimiento de la microbiota acompañante.*



Nota. Tomado de Wang et al. (2024).  
[doi.org/10.1016/j.jff.2020.103838](https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103838)

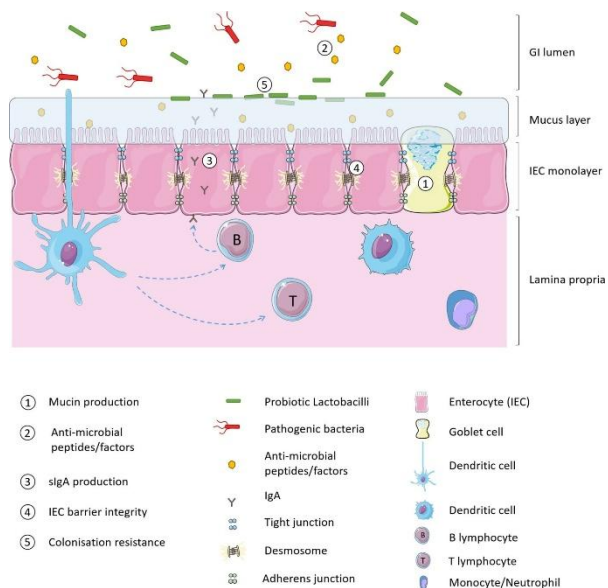
Además de estos dos mecanismos: la fermentación y la estimulación en la producción de ácidos grasos, *Lactobacillus* ejerce un efecto directo de exclusión sobre los patógenos, pues compete por los sitios de unión y la capa de moco en el epitelio, con lo que evitan su implantación, *Lactobacillus* logra este mecanismo,

debido a que presenta una capa proteica externa denominada la capa S-layer y proteínas del pili, que aumentan su capacidad de resistencia al medio y, de adherencia a las células epiteliales (Dempsey & Corr, 2022; Oliveira & González-Molero, 2016).

Así mismo, la biomasa de *Lactobacillus* estimulada por los prebióticos, contribuye a la estabilidad de la barrera intestinal, pues estimula en los enterocitos, la producción de proteínas de unión estrecha, como ZO-1 y ocludina, lo que sella el espacio entre las células y, evita el ingreso de patógenos y toxinas; además, muchos estudios avalan su efecto inmunomodulador al estimular la producción de citocinas pro- y antiinflamatorias (Basnet et al., 2024; Kumari et al., 2024; Smolinska et al., 2025). En la figura 3, se muestra los mecanismos de protección de la barrera intestinal, que desencadena *Lactobacillus*, tras su estimulación con los prebióticos.

Figura 3

Diferentes mecanismos utilizados por *Lactobacillus* para la protección de la barrera intestinal: producción de moco (1), estimulación en la liberación de péptidos antimicrobianos (2), de Ig. A (3) y, de la producción de proteínas de unión estrecha en los enterocitos (4), así como, resistencia a la colonización de patógenos (5).



*Nota.* Tomado de Dempsey & Corr. (2022).  
[doi.org/10.3389/fimmu.2022.840245](https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.840245)

### Estudios *in vitro*

*L. gasserifue* utilizada en leche, para evaluar su capacidad fermentativa específica del extracto de las hojas de *Cudrania tricuspidata*, esta especie aumentó su concentración en presencia del extracto, además, produjo sustancias antioxidantes y citocinas inflamatorias de gran relevancia en la modulación de la respuesta inmunológica (Oh et al., 2020).

*L. acidophilus*, es otra especie en la que se ha estudiado, *in vitro*, el efecto de los prebióticos inulina y pectina sobre su crecimiento, frente a un control con glucosa, el estudio revela que, no se encontró diferencias en la cantidad de biomasa entre los tres tratamientos, sin embargo, esta especie mostró mayor resistencia al estrés gastrointestinal simulado, al reducir su población en solo 1 a 2 logaritmos, frente a aproximadamente, 4,5 logaritmos con glucosa; así mismo, su respuesta metabólica respecto a la producción de butirato fue 14,5 veces mayor con inulina que con pectina; cabe recalcar que, la mayor resistencia al estrés y las mejoras en su metabolismo, estuvieron relacionados a cambios proteómicos (Nazzaro et al., 2012).

En la evaluación del efecto de una mezcla de los prebióticos inulina, FOS y GOS, sobre su hidrólisis por *L. acidophilus*, durante un proceso gastrointestinal, *in vitro*, se observó que, la mezcla de prebióticos, optimizó la viabilidad, la producción de ácidos orgánicos y, la resistencia de esta especie a los procesos gastrointestinales (Padilha et al., 2016). Además, un estudio de la utilización de oligosacáridos por *L. acidophilus* demostró que, puede fermentar los GOS en forma de trisacáridos y, utilizar eficientemente los FOS e inulina, para aumentar su biomasa y potenciar su

metabolismo, convirtiéndose así, en sustratos adecuados para esta especie (Sims et al., 2014).

*L. delbrueckii subsp. bulgaricus*, también fue evaluada frente a la lactulosa, GOS, FOS, inulina y  $\beta$ -glucano, utilizando un modelo simulado del tracto gastrointestinal, esta especie presentó mayor capacidad de hidrólisis y, por lo tanto, de crecimiento en presencia de FOS y  $\beta$ -glucano, sin embargo, su metabolismo se modificó de homofermentativo a heterofermentativo, principalmente en presencia de lactulosa, GOS y  $\beta$ -glucano (Dimov et al., 2023). Así mismo, la exposición de varias cepas de esta especie a los FOS, glucooligosacáridos y GOS, mostró una variabilidad, entre ellas, respecto a la fermentación de estos prebióticos y, a la producción de bacteriocinas (Ignatova et al., 2009). La inulina también se utilizó como un sustrato para la producción de exopolisacáridos por *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*, este prebiótico favoreció la producción de los exopolisacáridos debido a un aumento en la expresión génica (Guan et al., 2023).

A diferencia de las especies anteriormente mencionadas, que metabolizan o utilizan los prebióticos, *L. johnsonii*, presenta capacidad para producir inulina y FOS, en presencia de sacarosa, lo que podría maximizar su potencial probiótico (Anwar et al., 2008).

### Estudios *in vivo*

Diversos estudios han avalado el papel favorable que logran los prebióticos en los seres vivos, tras la estimulación de su microbiota y, por ende, la producción de una variedad de compuestos con amplios efectos en la salud del hombre y los animales. Para ampliar y maximizar los efectos beneficiosos de los prebióticos, muchos de ellos, se utilizan junto con los probióticos para constituir los simbióticos, los que se definen como una mezcla de microorganismos vivos y sustratos que son utilizados selectivamente por la microbiota del hospedador y, que proporcionan un efecto benéfico para

la salud (Swanson et al., 2020); dentro del alcance de esta definición, se tiene a los simbióticos complementarios, constituidos por prebióticos y probióticos comprobados y, que actúan de manera independiente en el organismo y, a los simbióticos sinérgicos, constituidos por sustratos y microorganismos (no comprobados precisamente como prebióticos o probióticos) que los utilizan selectivamente y que, en conjunto, ejercen efecto sobre el organismo (Smolinska et al., 2025; Swanson et al., 2020).

### Ensayos en modelos animales

Se ha utilizado una variedad de modelos animales para evaluar y conocer, a detalle, el efecto de los prebióticos. En estudios en ratones con cáncer colorrectal inducido, asociado a colitis, la administración de un simbiótico constituido por *L. gasseri* y el extracto de las hojas de *Cudrania tricuspidata*, redujo significativamente, la formación de tumores y, la expresión de citocinas proinflamatorias, así mismo, aumentó la expresión de citocinas antiinflamatorias, reduciendo la inflamación; además, mostró protección de la barrera intestinal e, indujo el crecimiento de bacterias benéficas y la producción de ácidos grasos de cadena corta (Oh et al., 2020). Un estudio similar se realizó en un modelo murino de colitis ulcerosa crónica, en el que se suministró polisacáridos de *Lycium barbarum*, estos compuestos, también disminuyeron los procesos inflamatorios, aumentaron la cantidad de la microbiota intestinal, en especial de *Lactobacillus* y, mejoraron la integridad de la pared intestinal, por mecanismos anteriormente señalados (Li et al., 2023).

En un modelo murino de ojo seco causado por diabetes tipo 2 inducida por alta ingesta de grasas y estreptozotocina, se evaluó el efecto de los prebióticos (xilooligosacáridos e inulina) y probióticos (*Bifidobacterium longum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Enterococcus faecalis*) respecto a los síntomas del ojo

seco; tanto prebióticos como probióticos, mejoraron los síntomas al aumentar la secreción lagrimal, además, mejoraron la integridad de la glándula lagrimal con el aumento de las proteínas de unión estrecha ZO-1 y ocludina, así también, mejoraron la barrera intestinal, aumentaron la actividad antioxidante e inhibieron la infiltración de células inmunológicas a la glándula lagrimal, así como, la reducción de factores inflamatorios (Dai et al., 2025).

El simbiótico hecho de *L. bulgaricus*, inulina y fructooligosacárido, fue evaluado en un modelo de daño renal en rata, para determinar su efecto en la evolución de esta alteración, así como, en la concentración del sulfato de indoxilo (compuesto tóxico que se concentra en este tipo de alteraciones), el simbiótico disminuyó las áreas fibróticas en los riñones (redujo el daño renal) y, la concentración del sulfato de indoxilo (Jerez-Morales et al., 2021). Otro simbiótico, constituido por quitina-glucano (CG) y *L. acidophilus*, logró reducir el dolor abdominal y la inflamación, en un modelo de ratas con hipersensibilidad colónica prolongada, al inducir a genes relacionados con la analgesia y citocinas antiinflamatorias (Capirchio et al., 2024).

En ratones obesos, se evaluó las propiedades del prebiótico poli-D-3-hidroxitirato, lo que resultó en una disminución de lípidos en la sangre, de grasa subcutánea y, una estimulación del crecimiento de la microbiota intestinal (Mishima et al., 2023). En el manejo de esta misma patología, los polifenoles, han resultado ser buenos candidatos en la reducción de los parámetros de la obesidad: peso corporal, adiposidad visceral y triglicéridos, debido a la estimulación de la microbiota intestinal (Moorthy et al., 2021).

El uso de los prebióticos como suplemento alimenticio en los animales, influencia en la ganancia de peso, aumento de la hemoglobina y, tiene un impacto favorable en la modulación de la microbiota, al disminuir la cantidad de

bacterias gramnegativas y favorecer a las grampositivas, lo que protege la integridad del intestino (Jaskowski et al., 2025).

### Ensayos en humanos

También se ha realizado una diversidad de ensayos respecto al efecto de los prebióticos sobre la microbiota humana, incluido *Lactobacillus* y, las implicancias en la salud.

La obesidad, es uno de los trastornos que se ha relacionado con una alteración en la composición y actividad de la microbiota intestinal, tal es así que, el uso de los prebióticos inulina y FOS en niños obesos y de peso normal, durante 16 semanas, mostró un aumento significativo de la microbiota, específicamente *Bifidobacterium*, con una disminución de las bacterias patógenas oportunistas y, de los parámetros de obesidad (peso, grasa corporal y grasa del tronco) (Yoo et al., 2024).

Diversos estudios avalan los beneficios de la inulina, FOS y otros prebióticos comunes, en el crecimiento de bacterias beneficiosas intestinales, especialmente *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, en la producción de ácidos grasos de cadena corta y en la disminución del pH (efecto antagónico); los mecanismos que utilizan estas especies para aprovechar a los prebióticos, son diversos: producción de hidrolasas, resistencia a la acidez, fermentación y generación de productos que favorecen el crecimiento de otras especies benéficas (Wang et al., 2020).

El consumo de frutas y verduras con frecuencia (ricos en inulina y FOS), estimula el crecimiento de *Lactobacillus* y, reduce la probabilidad del desarrollo de carcinoma colorrectal; además, los prebióticos, tienen un efecto paliativo en la sintomatología de las úlceras pépticas y micosis vaginal, disminuyen los niveles de lipoproteínas

de baja densidad (LDL) y de triglicéridos, mantienen el pH intestinal al estimular a la microbiota y, favorecen la captación de calcio (Markowiak & Ślizewska, 2017).

El uso de los FOS en el tratamiento de cuadros diarreicos en pacientes pediátricos, permitió observar diferentes mecanismos que utilizan para mejorar los síntomas en esta alteración; por un lado está su capacidad para optimizar una diversidad microbiana equilibrada (ya que la disbiosis es una de las causas muy probables de estos cuadros diarreicos) y evitar la implantación de las especies patógenas (al simular ser receptores a los que se unen estos patógenos, que luego son expulsados) (Du et al., 2023).

La inulina, ha resultado ser un prebiótico efectivo en la comunicación intestino – cerebro, dosis de 5 g de este prebiótico, mejoró significativamente el estado de ánimo y la capacidad cognitiva; otros prebióticos también han sido evaluados por su aporte al alivio de la depresión y trastornos psiquiátricos al estimular la microbiota benéfica (probióticos) y actuar sinérgicamente con ellos (Kumari et al., 2024; Yoo et al., 2024).

#### Limitaciones actuales respecto al uso de los prebióticos

Aunque se ha demostrado los efectos favorables de los prebióticos respecto a su impacto sobre la microbiota y sobre la salud del hombre y los animales, aún queda mucho por explicar respecto a la reproducibilidad de los estudios, nuevos mecanismos de acción y sus propiedades en otros tejidos diferentes al intestino.

La variabilidad en la respuesta de cada individuo frente a los prebióticos, es una de las limitaciones más importantes, pues diversos factores (genéticos, ambientales, nutricionales), hacen que la microbiota de cada individuo sea única; por lo tanto, los efectos de los

prebióticos pueden ser diversos entre los hospederos: beneficiosos para algunos, sin efecto para otros o, dañinos para algunos, esta diferencia en la respuesta, dificulta la extrapolación de los resultados de los ensayos clínicos a la población en general (Argotti et al., 2024; Cucalón & Blay, 2020; Gómez-López, 2019; Streed, 2013).

Las dosis del prebiótico, los métodos estandarizados de investigación y, la regulación en su uso, también constituyen una limitación respecto a la investigación de su efecto (Álvarez et al., 2025; Argotti et al., 2024; Gómez-López, 2019).

#### Perspectivas actuales y a futuro respecto al uso de los prebióticos

Una solución a la variabilidad en la respuesta de los individuos a los prebióticos, lo constituye la nutrición de precisión o individualizada, que se basa en el uso de la metagenómica, que determina la composición microbiana de un individuo o microbioma (Esquivel, 2024); la metabolómica, que estudia a los metabolitos producidos por el microbioma (Esquivel, 2024; Theimer, 2022) y; la inteligencia artificial, como un sistema que puede predecir los riesgos de padecer enfermedades y proponer medidas de prevención con formulación de dietas personalizadas (Ul et al., 2024).

### 3. Conclusiones

La evidencia científica analizada confirma que los prebióticos, particularmente los fructooligosacáridos (FOS), la inulina, los galactooligosacáridos (GOS) y los xilooligosacáridos (XOS), ejercen un efecto selectivo y consistente en la estimulación del crecimiento y la actividad metabólica de bacterias del género *Lactobacillus*, tanto en condiciones **in vitro** como en modelos **in vivo**, incluyendo estudios en animales y humanos. Este efecto se sustenta principalmente en su capacidad para actuar como sustratos fermentables

específicos, modulando de manera dirigida la composición y funcionalidad de la microbiota intestinal.

Asimismo, la fermentación de estos compuestos por *Lactobacillus* no solo favorece su proliferación y colonización en distintos nichos del hospedero, sino que también promueve la producción de metabolitos bioactivos, tales como ácidos orgánicos, bacteriocinas y ácidos grasos de cadena corta, los cuales desempeñan funciones antimicrobianas, inmunomoduladoras y antiinflamatorias, contribuyendo al mantenimiento de la homeostasis intestinal y sistémica.

Por otro lado, el uso de *Lactobacillus* en formulaciones simbióticas representa una estrategia terapéutica y nutricional de alto potencial, al mejorar su viabilidad durante el tránsito gastrointestinal, favorecer la estabilidad de la microbiota acompañante y potenciar efectos metabólicos e inmunológicos relevantes para la salud del hospedero. Estos enfoques integrados permiten optimizar la interacción entre sustratos y microorganismos, maximizando sus beneficios funcionales.

No obstante, la variabilidad interindividual en la respuesta a los prebióticos constituye una limitación significativa, determinada por factores genéticos, dietéticos y ambientales que configuran la singularidad del microbioma. En este contexto, se plantea la necesidad de avanzar hacia enfoques de nutrición de precisión, basados en herramientas ómicas y modelos predictivos, que permitan diseñar intervenciones personalizadas orientadas a optimizar la modulación de la microbiota, particularmente del género *Lactobacillus*, y sus efectos sobre la salud humana.

#### 4. Contribución de los autores

La autora participó en todas las etapas del estudio, incluyendo la concepción y diseño de la investigación, la recopilación y análisis de la información, la interpretación de los resultados, la redacción del manuscrito y la revisión

crítica del contenido intelectual. Asimismo, aprobó la versión final del artículo para su publicación.

#### 5. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

#### 6. Referencias Bibliográficas

- Ali, S., Hamayun, M., Siraj, M., Khan, Z., Ho-Youn, K. & Lee, B. (2025). Recent advances in prebiotics: Classification, mechanisms, and health applications, *Future Foods*, 12, 100680. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100680>
- Álvarez, G., Corell, A., Coronel, C., Díaz, J., Leis, R., Sánchez, A. & Seoane. (2025). Probióticos en la infancia: impacto de *Lactobacillus casei* CNCM I-1518 en la inmunidad infantil y en la salud digestiva. *An Microbiota Probióticos Prebióticos*, 8(1), 5-15. [https://semipyp.es/wp-content/uploads/2025/02/AMPP\\_6-1.pdf](https://semipyp.es/wp-content/uploads/2025/02/AMPP_6-1.pdf)
- Anwar, M. A., Kralj, S., van der Maarel, M. J., & Dijkhuizen, L. (2008). The probiotic *Lactobacillus johnsonii* NCC 533 produces high-molecular-mass inulin from sucrose by using an inulosucrase enzyme. *Applied and environmental microbiology*, 74(11), 3426–3433. <https://doi.org/10.1128/AEM.00377-08>
- Arapović, M., Puljić, L., Kajić, N., Kartalović, B., Habschied, K. y Mastanjević, K. (2024). New Insights in Prebiotic Utilization: A Systematic Review. *Procesos*, 12 (5), 867. <https://doi.org/10.3390/pr12050867>
- Argotti, R. D., Robayo, D. M., Ayuquina, M. M., Ramírez, D. K., Argotti, C. F., Pintag, M. M., & Argotti, M. S. (2024). Nutrición infantil sostenible: beneficios y desafíos de los probióticos, prebióticos y simbióticos. *Ibero-American Journal of Education & Society Research*, 4(5), 185–195. <https://edsociety.iberojournals.com/index.php/IBEROEDS/article/view/689/513>
- Baptista, N. T., Dessalles, R., Illner, A. K., Ville, P., Ribet, L., Anton, P. M., & Durand-Dubief, M. (2024). Harnessing the power of resistant starch: a narrative review of its health impact and processing challenges. *Frontiers in nutrition*, 11, 1369950. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1369950>
- Basnet, J., Eissa, MA, Yanes Cardozo, LL, Romero, DG & Rezaq, S. (2024). Impacto de los probióticos y prebióticos en el microbioma intestinal y la regulación hormonal. *Trastornos Gastrointestinales*, 6 (4), 801-815. <https://doi.org/10.3390/gidisord6040056>

- Bertola, B., Cocolí-Crespo, A., San Onofre, N., & Soriano, J. M. (2025). The Mystery of Certain *Lactobacillus acidophilus* Strains in the Treatment of Gastrointestinal Symptoms of COVID-19: A Review. *Microorganisms*, 13(4), 944. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040944>
- Bevilacqua, A., Campaniello, D., Speranza, B., Racioppo, A., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2024). An Update on Prebiotics and on Their Health Effects. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(3), 446. <https://doi.org/10.3390/foods13030446>
- Böger, M., van Leeuwen, S. S., Lammerts van Bueren, A., & Dijkhuizen, L. (2019). Structural Identity of Galactooligosaccharide Molecules Selectively Utilized by Single Cultures of Probiotic Bacterial Strains. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(50), 13969–13977. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05968>
- Capirchio, L., Rousseaux, C., Dubuquoy, C., Ouwehand, A. C., Maquet, V., Modica, S., Louis, E., Desreumaux, P., & Tack, J. (2024). A Synbiotic Combining Chitin-Glucan and *Lactobacillus acidophilus* NCFM Induces a Colonic Molecular Signature Soothing Intestinal Pain and Inflammation in an Animal Model of IBS. *International journal of molecular sciences*, 25(19), 10732. <https://doi.org/10.3390/ijms251910732>
- Corzo, N., Alonso, J. L., Azpiroz, F., Calvo, M. A., Cirici, M., Leis, R., Lombó, F., Mateos-Aparicio, I., Plou, F. J., Ruas-Madiedo, P., Rúperez, P., Redondo-Cuenca, A., Sanz, M. L., Clemente, A. (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. *Nutrición Hospitalaria*, 37(1), 99-118. <https://www.redalyc.org/pdf/3092/309238517015.pdf>
- Cucalón, J. & Blay, M. (2020). Actualización en probióticos, prebióticos y simbióticos para el médico de familia (I). *Med Gen Fam*, 9(5), 243-251. <http://dx.doi.org/10.24038/mgyf.2020.049>
- Dai, S., Long, J., Han, W., Zhang, L., & Chen, B. (2025). Alleviative effect of probiotics and prebiotics on dry eye in type 2 diabetic mice through the gut-eye axis. *The ocular surface*, 36, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2025.02.004>
- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications. *Foods (Basel, Switzerland)*, 8(3), 92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>
- de Oliveira, D. P., Todorov, S. D., & Fabi, J. P. (2024). Exploring the Prebiotic Potentials of Hydrolyzed Pectins: Mechanisms of Action and Gut Microbiota Modulation. *Nutrients*, 16(21), 3689. <https://doi.org/10.3390/nu16213689>
- Deehan, E., Al Antwan, S., Witwer, R., Guerra, P., John, T., & Monheit, L. (2024). Revisiting the Concepts of Prebiotic and Prebiotic Effect in Light of Scientific and Regulatory Progress—A Consensus Paper From the Global Prebiotic Association. *Advances in Nutrition*, 15 (12). <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100329>
- Dempsey, E. & Corr, S. C. (2022). *Lactobacillus* spp. for Gastrointestinal Health: Current and Future Perspectives. *Frontiers in immunology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.840245>
- Di Luccia, B., Acampora, V., Saggese, A., Calabrò, V., Vivo, M., Angrisano, T., Baccigalupi, L., Ricca, E., & Pollice, A. (2022). Modulation of intestinal epithelial cell proliferation and apoptosis by *Lactobacillus gasseri* SF1183. *Scientific reports*, 12(1), 20248. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24483-0>
- Di Primio, A., Duca, G. & Rubio, C. (2021). Actividad de los fructooligosacáridos como prebiótico y efectos sobre el tracto intestinal. *BioTecnología*, 25(1), 10-20. <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/05/Di-Primio-et-al-2021.pdf>
- Dimov, I., Mollova, D., Vasileva, T., Bivolarski, V., Nikolova, M., Bivolarska, A., & Iliev, I. (2023). Metabolic profiling of probiotic strain *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* L14 cultivated in presence of prebiotic oligosaccharides and polysaccharides in simulating *in vitro* gastrointestinal tract system. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 37(1), 260–272. <https://doi.org/10.1080/13102818.2023.2178825>
- Du, Z., Li, J., Li, W., Fu, H., Ding, J., Ren, G., Zhou, L., Pi, X., & Ye, X. (2023). Effects of prebiotics on the gut microbiota *in vitro* associated with functional diarrhea in children. *Frontiers in microbiology*, 14, 1233840. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1233840>
- Esquivel, A. (10 de setiembre de 2024). *Nutrición de precisión: avance e innovación en la alimentación*. Tecnalia. <https://www.tecnalia.com/blog/nutricion-precision-avance-innovacion-alimentacion>

- Firman, J., Deyaert, S., Mahalak, K. K., Liu, L., Baudot, A., Joossens, M., Poppe, J., Cameron, S. J. S., & Van den Abbeele, P. (2024). The Bifidogenic Effect of 2'Fucosyllactose Is Driven by Age-Specific *Bifidobacterium* Species, Demonstrating Age as an Important Factor for Gut Microbiome Targeted Precision Medicine. *Nutrients*, *17*(1), 151. <https://doi.org/10.3390/nu17010151>
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature reviews. Gastroenterology & hepatology*, *14*(8), 491–502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
- Gomes de Alencar, J., da Silva, G., Cerqueira, K., Souza, J., Dupas, M., Lemos, J., Maróstica, M., de Oliveira, C. & Nicolau, B. (2025). Pectin and pectic oligosaccharides (POS): Recent advances for extraction, production, and its prebiotic potential. *Trends in Food Science & Technology*, *155*, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104808>
- Gómez-López, A. (2019). Microbiome, health and illnesses: probiotics, prebiotics and synbiotics. *Biomedica*, *39*(4), 617–621. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7363347/pdf/2590-7379-bio-39-04-617.pdf>
- Grootaert, C., Van den Abbeele, P., Marzorati, M., Broekaert, W. F., Courtin, C. M., Delcour, J. A., Verstraete, W., & Van de Wiele, T. (2009). Comparison of prebiotic effects of arabinoxylan oligosaccharides and inulin in a simulator of the human intestinal microbial ecosystem. *FEMS microbiology ecology*, *69*(2), 231–242. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00712.x>
- Guan, Y., Cui, Y., Wang, Q., & Qu, X. (2023). Inulin increases the EPS biosynthesis of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* LDB-C1. *Biotechnology letters*, *45*(5-6), 639–654. <https://doi.org/10.1007/s10529-023-03365-z>
- Hughes, R. L., Alvarado, D. A., Swanson, K. S., & Holscher, H. D. (2022). The Prebiotic Potential of Inulin-Type Fructans: A Systematic Review. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, *13*(2), 492–529. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab119>
- Ignatova, T., Iliev, I., Kirilov, N., Vassileva, T., Dalgalarondo, M., Haertlé, T., Chobert, J. M., & Ivanova, I. (2009). Effect of oligosaccharides on the growth of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* strains isolated from dairy products. *Journal of agricultural and food chemistry*, *57*(20), 9496–9502. <https://doi.org/10.1021/jf901684z>
- Jaskowski, J., Lyasota, V., Tkachuk, S., Bogatko, N., & Bogatko, A. (2025). The influence of a prebiotic on the development of laboratory animals. *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, *16*(1), 9-29. <https://doi.org/10.31548/veterinary1.2025.09>
- Jerez-Morales, A., Merino, J. S., Díaz-Castillo, S. T., Smith, C. T., Fuentealba, J., Bernasconi, H., Echeverría, G., & García-Cancino, A. (2021). The Administration of the Synbiotic *Lactobacillus bulgaricus* 6c3 Strain, Inulin and Fructooligosaccharide Decreases the Concentrations of Indoxyl Sulfate and Kidney Damage in a Rat Model. *Toxins*, *13*(3), 192. <https://doi.org/10.3390/toxins13030192>
- Karakan, T., Tuohy, K. M., & Janssen-van Solingen, G. (2021). Low-Dose Lactulose as a Prebiotic for Improved Gut Health and Enhanced Mineral Absorption. *Frontiers in nutrition*, *8*, 672925. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.672925>
- Kumar, R., Naes, G. & Sorensen, M. (2024). Xylooligosaccharides from lignocellulosic biomass and their applications as nutraceuticals: a review on their production, purification, and characterization. *J Sci Food Agric*, *104*, 7765–7775. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13523>
- Kumari, T., Kumar, K., Baran, A. & Chandra, S. (2024). Synergistic role of prebiotics and probiotics in gut microbiome health: Mechanisms and clinical applications. *Food Bioeng.*, *3*, 407–424. <https://doi.org/10.1002/fbe2.12107>
- La Fata, G., Rastall, RA, Lacroix, C., Harmsen, H. J. M., Mohajeri, M. H., Weber, P. y Steinert, R. E. (2017). Recent Development of Prebiotic Research—Statement from an Expert Workshop. *Nutrients*, *9*(12), 1376. <https://doi.org/10.3390/nu9121376>
- Lavanda, I., Saad, S. M. I., & Colli, C. (2011). Prebióticos y su efecto en la biodisponibilidad del calcio. *Revista De Nutrição*, *24*(2), 333–344. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732011000200014>
- Leschonski, K. P., Mortensen, M. S., Hansen, L. B. S., Krogh, K. B. R. M., Kabel, M. A., & Laursen, M. F. (2024). Structure-dependent stimulation of gut bacteria by arabinoxylo-oligosaccharides (AXOS): a review. *Gut microbes*, *16*(1),

2430419.

<https://doi.org/10.1080/19490976.2024.2430419>

Li, Z. Y., Lin, L. H., Liang, H. J., Li, Y. Q., Zhao, F. Q., Sun, T. Y., Liu, Z. Y., Zhu, J. Y., Gu, F., Xu, J. N., Hao, Q. Y., Zhou, D. S., & Zhai, H. H. (2023). *Lycium barbarum* polysaccharide alleviates DSS-induced chronic ulcerative colitis by restoring intestinal barrier function and modulating gut microbiota. *Annals of medicine*, *55*(2), 2290213. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2290213>

Markowiak, P., & Ślizewska, K. (2017). Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. *Nutrients*, *9*(9), 1021. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>

Martín, R., & Langella, P. (2019). Emerging Health Concepts in the Probiotics Field: Streamlining the Definitions. *Frontiers in microbiology*, *10*, 1047. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01047>

Mishima, M., Takeda, S., Nagane, M., Suzuki, T., Ogata, M., Shima, A., Aihara, N., Kamiie, J., Suzuki, R., Mizugaki, H., Okamatsu-Ogura, Y., Satoh, T., & Yamashita, T. (2023). Prebiotic effect of poly-D-3-hydroxybutyrate prevents dyslipidemia in obese mice. *FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, *37*(9), e23121. <https://doi.org/10.1096/fj.202301191R>

Moorthy, M., Sundralingam, U., & Palanisamy, U. D. (2021). Polyphenols as Prebiotics in the Management of High-Fat Diet-Induced Obesity: A Systematic Review of Animal Studies. *Foods (Basel, Switzerland)*, *10*(2), 299. <https://doi.org/10.3390/foods10020299>

Nazzaro, F., Fratianni, F., Nicolaus, B., Poli, A., & Orlando, P. (2012). The prebiotic source influences the growth, biochemical features and survival under simulated gastrointestinal conditions of the probiotic *Lactobacillus acidophilus*. *Anaerobe*, *18*(3), 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.03.002>

Niu, Y., Wang, L., Gong, H., Jia, S., Guan, Q., Li, L. y Cheng, H. (2025). Nutrition and Gut Health: Preparation and Efficacy of Resistant Starch. *Foods*, *14*(3), 471. <https://doi.org/10.3390/foods14030471>

Oh, N. S., Lee, J. Y., Kim, Y. T., Kim, S. H., & Lee, J. H. (2020). Cancer-protective effect of a synbiotic combination between *Lactobacillus gasseri* 505 and a *Cudrania tricuspidata* leaf extract on colitis-associated colorectal cancer. *Gut microbes*, *12*(1), 1785803. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1785803>

Olveira, G. & González-Molero, I. (2016). An update on probiotics, prebiotics and symbiotics in clinical nutrition. Actualización de probióticos, prebióticos y simbióticos en nutrición clínica. *Endocrinología y nutrición: órgano de la Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición*, *63*(9), 482–494. <https://doi.org/10.1016/j.endonu.2016.07.006>

Padilha, M., Villarreal Morales, M. L., Vieira, A. D., Costa, M. G., & Saad, S. M. (2016). A prebiotic mixture improved *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium animalis* gastrointestinal in vitro resistance in petit-suisse. *Food & function*, *7*(5), 2312–2319. <https://doi.org/10.1039/c5fo01592h>

Patel, S., & Goyal, A. (2012). The current trends and future perspectives of prebiotics research: a review. *3 Biotech*, *2*(2), 115–125. <https://doi.org/10.1007/s13205-012-0044-x>

Qiao, N., Wittouck, S., Mattarelli, P., Zheng, J., Lebeer, S., Felis, G. E., & Gänzle, M. G. (2022). After the storm-Perspectives on the taxonomy of *Lactobacillaceae*. *JDS communications*, *3*(3), 222–227. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0183>

Rastogi, S., & Singh, A. (2022). Gut microbiome and human health: Exploring how the probiotic genus *Lactobacillus* modulate immune responses. *Frontiers in pharmacology*, *13*, 1042189. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1042189>

Roman-Benn, A., Contador, C., Man-Wah, Hon-Ming, L., Ah-Hen, K., Ulloa, P. & Ravanal, M. (2023). Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. *Food Chemistry Advances*, *2*. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100192>

Rossi, F., Amadoro, C., & Colavita, G. (2019). Members of the *Lactobacillus* Genus Complex (LGC) as Opportunistic Pathogens: A Review. *Microorganisms*, *7*(5), 126. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7050126>

Roy, S., & Dhaneshwar, S. (2023). Role of prebiotics, probiotics, and synbiotics in management of inflammatory bowel disease: Current perspectives. *World journal of gastroenterology*, *29*(14), 2078–2100. <https://doi.org/10.3748/wjg.v29.i14.2078>

Salvetti, E., Harris, H. M. B., Felis, G. E., & O'Toole, P. W. (2018). Comparative Genomics of the Genus *Lactobacillus* Reveals Robust Phylogroups That Provide the Basis for Reclassification. *Applied and environmental*

- microbiology*, 84(17), e00993-18.  
<https://doi.org/10.1128/AEM.00993-18>
- Sanders, M. & Lebeer, S. (15 de abril del 2020). *New names for important probiotic Lactobacillus species*. ISAPP Science Blog. <https://isappscience.org/new-names-for-important-probiotic-lactobacillus-species/>
- Schönknecht, YB, Moreno Tovar, MV, Jensen, SR y Parschat, K. (2023). Clinical Studies on the Supplementation of Manufactured Human Milk Oligosaccharides: A Systematic Review. *Nutrients*, 15 (16), 3622. <https://doi.org/10.3390/nu15163622>
- Shoab, A., Dachang, W., & Xin, Y. (2015). Determining the role of a probiotic in the restoration of intestinal microbial balance by molecular and cultural techniques. *Genetics and molecular research : GMR*, 14(1), 1526–1537. <https://doi.org/10.4238/2015.February.20.8>
- Sims, I. M., Ryan, J. L., & Kim, S. H. (2014). In vitro fermentation of prebiotic oligosaccharides by *Bifidobacterium lactis* HN019 and *Lactobacillus* spp. *Anaerobe*, 25, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2013.11.001>
- Smolinska, S., Popescu, F.-D., y Zemelka-Wiacek, M. (2025). Una revisión de la influencia de prebióticos, probióticos, simbióticos y posbióticos en el microbioma intestinal humano y la integridad intestinal. *Journal of Clinical Medicine*, 14 (11), 3673. <https://doi.org/10.3390/jcm14113673>
- Sobstyl, A., Chałupnik, A., Mertowska, P., & Grywalska, E. (2023). How Do Microorganisms Influence the Development of Endometriosis? Participation of Genital, Intestinal and Oral Microbiota in Metabolic Regulation and Immunopathogenesis of Endometriosis. *International journal of molecular sciences*, 24(13), 10920. <https://doi.org/10.3390/ijms241310920>
- Streed, J. (25 de setiembre de 2013). *La composición genética y la alimentación interaccionan con el microbioma, repercutiendo sobre la salud*. Mayo Clinic. <https://newsnetwork.mayoclinic.org/es/2013/09/25/la-composicion-genetica-y-la-alimentacion-interaccionan-con-el-microbioma-repercutiendo-sobre-la-salud/>
- Swanson, K. S., Gibson, G. R., Hutkins, R., Reimer, R. A., Reid, G., Verbeke, K., Scott, K. P., Holscher, H. D., Azad, M. B., Delzenne, N. M., & Sanders, M. E. (2020). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nature reviews*. *Gastroenterology & hepatology*, 17(11), 687–701. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0344-2>
- The Institute for Functional Medicine. (13 de agosto de 2025). *Alimentos prebióticos para obtener abundancia posbiótica*. <https://www.ifm.org/articles/alimentos-prebioticos-para-obtener-abundancia-posbiotica>
- Theimer, S. (24 de noviembre de 2022). *Investigadores estudian la nutrición de precisión para mejorar la salud y prevenir enfermedades*. Mayo Clinic. <https://newsnetwork.mayoclinic.org/es/2022/11/24/investigadores-estudian-la-nutricion-de-precision-para-mejorar-la-salud-y-prevenir-enfermedades/>
- Toumazi, D., & Constantinou, C. (2020). A Fragile Balance: The Important Role of the Intestinal Microbiota in the Prevention and Management of Colorectal Cancer. *Oncology*, 98(9), 593–602. <https://doi.org/10.1159/000507959>
- Ul Ain, N., Naveed, M., Aziz, T., Aqib, M., Al, F., Abdi, G., Sameeh, M. & Alhazmi, A. (2024). Mix-match synthesis of nanosynbiotics from probiotics and prebiotics to counter gut dysbiosis via AI integrated formulation profiling. *Sci Rep*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69515-z>
- Vieira-Baptista, P., De Seta, F., Verstraelen, H., Ventolini, G., Lonnee-Hoffmann, R., & Lev-Sagie, A. (2022). The Vaginal Microbiome: V. Therapeutic Modalities of Vaginal Microbiome Engineering and Research Challenges. *Journal of lower genital tract disease*, 26(1), 99–104. <https://doi.org/10.1097/LGT.0000000000000647>
- Vinot, N. & Pane, M. (21 de abril del 2020). *The Lactobacillus taxonomy change has arrived! What do you need to know?*. MicrobiomeTimes. <https://www.microbiometimes.com/the-lactobacillus-taxonomy-change-has-arrived-what-do-you-need-to-know/>
- Walsh, C., Lane, J. A., van Sinderen, D., & Hickey, R. M. (2020). Human milk oligosaccharides: Shaping the infant gut microbiota and supporting health. *Journal of functional foods*, 72, 104074. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104074>
- Wan, Z., Zhang, X., Jia, X., Qin, Y., Sun, N., Xin, J., Zeng, Y., Jing, B., Fang, J., Pan, K., Zeng, D., Bai, Y., Wang, H., Ma, H., & Ni, X. (2022). *Lactobacillus johnsonii* YH1136 plays a protective role against endogenous pathogenic bacteria induced intestinal dysfunction by reconstructing gut microbiota in mice exposed at high altitude. *Frontiers in*

- immunology*, 13, 1007737.  
<https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1007737>
- Wang, S., Xiao, Y., Tian, F., Zhao, J., Zhang, H., Zhai, Q. & Chen, W. (2024). Rational use of prebiotics for gut microbiota alterations: Specific bacterial phylotypes and related mechanisms, *Journal of Functional Foods*, 66, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103838>
- Wittouck, S., Wuyts, S., & Lebeer, S. (2019). Towards a Genome-Based Reclassification of the Genus *Lactobacillus*. *Applied and environmental microbiology*, 85(3), e02155-18. <https://doi.org/10.1128/AEM.02155-18>
- Włodarczyk, M., & Ślizewska, K. (2021). Efficiency of Resistant Starch and Dextrins as Prebiotics: A Review of the Existing Evidence and Clinical Trials. *Nutrients*, 13(11), 3808. <https://doi.org/10.3390/nu13113808>
- Yan, F., Tian, S., Du, K., Xue, X., Gao, P. & Chen, Z. (2022). Preparation and nutritional properties of xylooligosaccharide from agricultural and forestry byproducts: A comprehensive review. *Front. Nutr.*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.977548>
- Yoo, S., Jung, S. C., Kwak, K., & Kim, J. S. (2024). The Role of Prebiotics in Modulating Gut Microbiota: Implications for Human Health. *International journal of molecular sciences*, 25(9), 4834. <https://doi.org/10.3390/ijms25094834>
- You, S., Ma, Y., Yan, B., Pei, W., Wu, Q., Ding, C., & Huang, C. (2022). The promotion mechanism of prebiotics for probiotics: A review. *Frontiers in nutrition*, 9, 1000517. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1000517>
- Zeng, M., van Pijkeren, J. P., & Pan, X. (2023). Gluco-oligosaccharides as potential prebiotics: Synthesis, purification, structural characterization, and evaluation of prebiotic effect. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 22(4), 2611–2651. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13156>
- Zhang, W., Zhang, Y., Zhao, Y., Li, L., Zhang, Z., Hettinga, K., Yang, H. y Deng, J. (2024). A Comprehensive Review on Dietary Polysaccharides as Prebiotics, Synbiotics, and Postbiotics in Infant Formula and Their Influences on Gut Microbiota. *Nutrients*, 16(23), 4122. <https://doi.org/10.3390/nu16234122>
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M. A. P., Harris, H. M. B., Mattarelli, P., O'Toole, P. W., Pot, B., Vandamme, P., Walter, J., Watanabe, K., Wuyts, S., Felis, G. E., Gänzle, M. G., & Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*. Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 70(4), 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>