



ID del documento: IIJ-Vol.3.N.2.005.2025

Tipo de artículo: Revisión

## Revisión bibliográfica sobre las bacterias lácticas productoras de ácido láctico: Características y aplicaciones biotecnológicas

*Literature review on lactic acid-producing lactic acid bacteria: Characteristics and biotechnological applications*

### Autores:

Daniela Elizabeth Mena Beltrán<sup>1</sup>, Jean Carlos Navas Zambrano<sup>2</sup>, Diego Joel De La Cruz Díaz<sup>3</sup>, Ofelia Alexandra Granda Morocho<sup>4</sup>

(Agregar datos del autor de la siguiente manera: Universidad, País, correo electrónico y código ORCID)

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [dmena2@utmachala.edu.ec](mailto:dmena2@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0009-8969-6238>

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [jnavas3@utmachala.edu.ec](mailto:jnavas3@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0004-6339-0349>

<sup>3</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [ddelacruz2@utmachala.edu.ec](mailto:ddelacruz2@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0009-0004-6580-3688>

<sup>4</sup>Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, [ogranda@utmachala.edu.ec](mailto:ogranda@utmachala.edu.ec), <https://orcid.org/0000-0001-8850-8180>

Corresponding Author: Mena Beltrán Daniela Elizabeth, , [dmena2@utmachala.edu.ec](mailto:dmena2@utmachala.edu.ec)

Reception date: 03-may-2025

Acceptance: 18-may-2025

Publication: 03-jun-2025

### How to cite this article:

Mena Beltrán, D. E., Navas Zambrano, J. C. ., De La Cruz Díaz, D. J. D. L. C. D., & Granda Morocho, O. A. . (2025). Revisión bibliográfica sobre las bacterias lácticas productoras de ácido láctico: Características y aplicaciones biotecnológicas. Innovarium International Journal, 3(2), 1-26. <https://revinde.org/index.php/innovarium/article/view/46>



## Resumen

Las bacterias ácido lácticas (BAL) han sido el foco de extensas investigaciones debido a su capacidad para fermentar carbohidratos y producir ácido láctico, lo que las convierte en organismos esenciales en la biotecnología alimentaria. El propósito de este artículo fue desarrollar una bibliografía actualizada de bacterias ácido-lácticas que producen ácido láctico, utilizando un enfoque interdisciplinario que toma en cuenta tanto aspectos microbiológicos como farmacológicos. El objetivo era recopilar información pertinente sobre su fisiología, taxonomía, aplicaciones tecnológicas y beneficios potenciales, así como identificar las tendencias actuales en su investigación y uso industrial. La metodología utilizada se basó en la recopilación, selección y análisis crítico de la literatura científica publicada entre 2020 y 2025, obtenida a través de bases de datos académicas como Google Scholar, SciELO y revistas especializadas de acceso abierto. Los resultados mostraron que géneros como *Lactobacillus*, *Lactococcus* y *Streptococcus* se destacan por su notable conversión de glucosa a ácido láctico, alcanzando hasta 22.5 g/L, con una disminución del pH de hasta 4.2, lo que promueve la conservación de los alimentos. Se observó que cepas, como *Lactobacillus plantarum*, exhiben ventajas competitivas en términos de estabilidad y rendimiento. Estos descubrimientos refuerzan el valor biotecnológico de las BAL y su aplicabilidad en procesos de fermentación.

**Palabras clave:** Bacterias ácido lácticas (BAL), Fermentación, Ácido láctico, Aplicaciones biotecnológicas, *Lactobacillus*

## Abstract

Lactic acid bacteria (LAB) have been the focus of extensive research due to their ability to ferment carbohydrates and produce lactic acid, making them essential organisms in food biotechnology. The purpose of this article was to develop an updated bibliography of lactic acid bacteria that produce lactic acid, using an interdisciplinary approach that takes into account both microbiological and pharmacological aspects. The objective was to compile relevant information about their physiology, taxonomy, technological applications and potential benefits, as well as to identify current trends in their research and industrial use. The methodology used was based on the compilation, selection and critical analysis of scientific literature published between 2020 and 2025, obtained through academic databases such as Google Scholar, SciELO and specialized open access journals. The results showed that genera such as *Lactobacillus*, *Lactococcus*, and *Streptococcus* stand out for their remarkable conversion of glucose to lactic acid, reaching up to 22.5 g/L, with a pH decrease of up to 4.2, which promotes food preservation. It was observed that strains, such as *Lactobacillus plantarum*, exhibit competitive advantages in terms of stability and yield. These discoveries reinforce the biotechnological value of LAB and their applicability in fermentation processes.

**Keywords:** Lactic acid bacteria (LAB), Fermentation, Lactic acid, Biotechnological, applications, *Lactobacillus*



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Bacterias ácido lácticas (BAL)

#### 1.1.1. Historia y evolución de su estudio

Históricamente, la investigación de las bacterias ácidas lácticas tiene sus raíces en el siglo XIX, momento en el que Louis Pasteur detalló por vez primera su implicación en la fermentación láctica. (Pinto et al., 2020) Luego, Elie Metchnikoff, un inmunólogo ruso, propuso que la ingesta de alimentos fermentados con estas bacterias podría tener beneficios para la salud humana, especialmente por su influencia en la longevidad y el equilibrio del microbiota intestinal. (Sl, 2024)

Estos primeros descubrimientos dieron inicio a décadas de estudio sobre sus usos probióticos, su habilidad para neutralizar microorganismos dañinos a través de la generación de ácidos, peróxidos y bacteriocinas, y su empleo como cultivos estimulantes en la elaboración de alimentos fermentados. (Kamphuis et al., 2020)

#### 1.1.2. Características microbiológicas

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) constituyen un conjunto de microorganismos de vital relevancia en la biotecnología, se caracterizan por ser grampositivos, no esporulados y usualmente anaerobios facultativos. Su principal característica es su habilidad para fermentar carbohidratos, en particular la glucosa, resultando en la generación de ácido láctico como producto predominante. (Kazou, 2021)

Las BAL son cocos o bacilos grampositivos que crecen óptimamente entre 35 y 40 °C y a un pH entre 5 y 6. Poseen tolerancia a condiciones ácidas y muestran una amplia diversidad ecológica. Son organismos quimiótrofos que prosperan en ambientes ricos en azúcares, aunque presentan limitaciones biosintéticas que requieren medios de cultivo complejos para satisfacer sus exigencias nutricionales. Estas bacterias carecen de la enzima catalasa y de elementos clave de la cadena respiratoria como los citocromos, razón por la cual generan ATP exclusivamente mediante fermentación. Gracias a la presencia de enzimas como las peroxidases, muchas BAL pueden desarrollarse en presencia de oxígeno, siendo clasificadas principalmente como anaerobias facultativas. (Gayathri L N, Preetha Nair, 2023)

Una característica interesante de las BAL es el reducido tamaño de su genoma (1.7 a 3.3 Mb), el cual alberga un número limitado de genes (entre 1600 y 3000), lo que explica la ausencia de ciertas enzimas como la catalasa y de genes esenciales para la respiración. Esta compactación genética se asocia con su dependencia de ambientes ricos en compuestos como aminoácidos, vitaminas y bases nitrogenadas. Su estructura genómica actual es resultado de una adaptación evolutiva a entornos nutricionalmente complejos. (Gayathri L N, Preetha Nair, 2023)

Convencionalmente, las BAL se clasifican en géneros como *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus* y *Streptococcus*, además de *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* y *Weissella*. Estas bacterias pueden vivir libremente o formar asociaciones mutualistas con humanos y animales, especialmente como parte del microbiota intestinal, aunque algunas pueden comportarse como oportunistas. En



estudios de suelo, se han identificado BAL pertenecientes a los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Leuconostoc* y *Weissella*, a partir de pruebas fisiológicas y genéticas. (Kenneth Todar, 2020)

#### 1.1.2.1. Tipos de fermentación: homoláctica y heteroláctica

La fermentación homoláctica es un procedimiento donde las bacterias ácido láctico transforman los azúcares en su mayoría en ácido láctico como único resultado final. Este tipo de fermentación es propio de especies como *Lactococcus lactis* y ciertas variedades de *Lactobacillus*, y se relaciona con una producción superior de ácido láctico, un pH más bajo y una reducida generación de otros ácidos u alcoholes. La homoláctica resulta eficaz para preservar los alimentos y potenciar su estabilidad, dado que disminuye rápidamente el pH y restringe la proliferación de microorganismos perjudiciales. (Hurtado-Murillo et al., 2024)

Dentro del grupo homofermentativo se incluyen todos los miembros de los géneros *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus* y *Enterococcus*, así como algunas especies de *Lactobacillus*, tales como *L. delbrueckii*, *L. plantarum*, *L. bulgaricus*, *L. helveticus* y *L. casei*, entre otras. El tipo de fermentación varía entre especies, dependiendo de las rutas metabólicas predominantes, lo cual influye directamente en la producción de metabolitos finales como etanol, ácido láctico, CO<sub>2</sub> o acetato (Fiallos Zaruma, 2022).

Por otro lado, la fermentación heteroláctica consiste en transformar los azúcares en una combinación de productos: ácido láctico, ácido acético, etanol y dióxido de carbono. Este procedimiento es común en bacterias como *Leuconostoc* y ciertas especies de *Lactobacillus*, y conduce a una amplia variedad de compuestos que pueden afectar el gusto, olor y estabilidad de los alimentos fermentados. (Han et al., 2021)

Por su parte, las BAL heterofermentativas son aquellas capaces de catabolizar la glucosa no solo en ácido láctico, sino también en acetato, etanol y dióxido de carbono. Esta conversión ocurre a través de la vía de la 6-fosfogluconato-fosfoctolasa, que permite transformar hexosas en pentosas. Entre los géneros representativos de este grupo se encuentran *Leuconostoc*, *Oenococcus* y algunas especies de *Lactobacillus*, como *L. mesenteroides*, *L. cremoris*, *L. brevis* y *L. fermentum*. (Fiallos Zaruma, 2022).

#### 1.1.3. Clasificación taxonómica

Las BAL comprenden diversas especies pertenecientes a los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus* y *Weissella*, mayormente agrupadas dentro del orden *Lactobacillales* del filo *Firmicutes*. Recientemente, el género *Lactobacillus* ha sido reclasificado en 25 géneros distintos, lo que refleja avances significativos en el conocimiento filogenético y taxonómico de estas bacterias (Zheng et al., 2020).

Las bacterias ácido lácticas (BAL) se agrupan dentro del phylum *Firmicutes* y están incluidas filogenéticamente en la rama de *Clostridium*, caracterizándose por ser grampositivas. Este grupo abarca seis familias y aproximadamente cuarenta géneros. Entre los más representativos se encuentran: *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* y *Weissella*. Las BAL comprenden un grupo diverso de bacterias grampositivas, ampliamente distribuidas en la naturaleza y presentes en distintos nichos ecológicos,

especialmente asociados a alimentos fermentados y productos lácteos (Fiallos Zaruma, 2022).

#### 1.1.4. Aplicaciones en la industria alimentaria

En el sector alimentario, las BAL se han empleado tradicionalmente en la creación de productos tales como yogures, quesos, embutidos, panes ácidos y vegetales fermentados. Estos productos no solo contribuyen a la acidificación del medio, lo que favorece su preservación, sino que también proporcionan atributos sensoriales agradables, tales como sabor, textura y aroma. (Rachwał & Gustaw, 2024) Además, algunas cepas tienen características funcionales que las catalogan como probióticos, al favorecer el balance del ecosistema intestinal y modificar la reacción del sistema inmunológico del anfitrión. (Bulla Cantor & Carreño Torres, 2023)

##### 1.1.4.1. Aplicaciones en lácteos fermentados

Los productos lácteos fermentados han sido consumidos por siglos y forman parte crucial de la dieta en diversas culturas. Además de sus propiedades nutricionales y organolépticas, sus beneficios para la salud son bien conocidos (García-Burgos et al., 2020).

Las bebidas tradicionales de América Latina incluyen productos alcohólicos y no alcohólicos, cuyas recetas se transmiten de generación en generación. Las bebidas alcohólicas suelen consumirse con fines religiosos o espirituales, mientras que en poblaciones industrializadas predominan los motivos recreativos. Algunos autores sugieren que la mayoría de las bebidas fermentadas elaboradas por nativos americanos implican el uso de BAL (Chacón Mayorga et al., 2021).

Los principales géneros bacterianos descritos en estos productos incluyen *Lactocaseibacillus*, *Lactiplantibacillus*, *Lactobacillus*, *Limosilactobacillus*, *Leuconostoc*, *Streptococcus* y *Weissella*, entre otros. Es común el uso de batata como inóculo; en algunas comunidades, este ingrediente se mastica para iniciar la fermentación, como en el caso de bebidas como el calugi, caium y chicha (Jimenez et al., 2022).

En la elaboración de quesos, las BAL no solo desempeñan el papel de cultivos estimulantes que garantizan la acidificación y coagulación de la leche, sino que también contribuyen a la maduración, fomentando la proteólisis y lipólisis, procesos cruciales para el desarrollo del sabor y la textura final. (Laslo et al., 2025)

En el yogurt, algunas variedades de BAL con capacidad probiótica y características bioprotectoras potencian la calidad sensorial, la estabilidad y la durabilidad del producto, además de brindar ventajas para la salud humana. La elección y mezcla de diversas cepas facilita la creación de productos lácteos funcionales, seguros y con propiedades organolépticas únicas que cumplen con las exigencias del consumidor contemporáneo. (Gizachew et al., 2023)

Específicamente, las propiedades probióticas del kéfir se atribuyen especialmente a tres géneros del *Lactobacillus*: *L. kefirianofaciens*, *L. casei* y *L. paracasei*. Estos microorganismos inhiben el crecimiento de patógenos en el intestino humano como *Salmonella* sp. y han demostrado ser eficaces en aplicaciones terapéuticas para el tratamiento de enfermedades como la diabetes, hipertensión, colitis e infecciones intestinales, entre otras. Asimismo, los

microorganismos que conforman los gránulos de kéfir producen cambios en la leche durante el proceso de fermentación, tales como la modificación de las características organolépticas y la producción de metabolitos bioactivos. Estos compuestos —como ácidos orgánicos, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y etanol— forman parte de la fracción no microbiana del kéfir, y son responsables de múltiples bioactividades, incluyendo efectos antioxidantes, antimicrobianos, antihipertensivos, antiinflamatorios, antitumorales y antivirales (Bengoa et al., 2020).

#### 1.1.4.2. Conservación y seguridad alimentaria

Las bacterias ácido lácticas (BAL) han ganado importancia en la preservación y protección de alimentos gracias a su habilidad para generar compuestos antimicrobianos como ácidos orgánicos y bacteriocinas, que impiden la proliferación de microorganismos y patógenos perjudiciales en los alimentos. Su empleo como agentes biopreservantes posibilita prolongar la vida útil de productos de consumo rápido sin perjudicar sus características sensoriales ni nutricionales, respondiendo de esta manera a la necesidad de opciones naturales frente a los conservantes químicos. Varios estudios actuales subrayan que las BAL, al ser consideradas seguras pueden utilizarse en una extensa variedad de matrices alimenticias, tales como lácteos, carnes y vegetales, ayudando a disminuir los brotes de enfermedades transmitidas a través de alimentos. (Yap et al., 2022)

### 1.2. Ácido láctico y su importancia

#### 1.2.1. Historia del ácido láctico

El hallazgo científico del ácido láctico tiene su origen en 1780, cuando Carl Wilhelm Scheele, un químico sueco, consiguió aislarlo por vez primera de la leche agria. Décadas más tarde, en 1857, Louis Pasteur evidenció que la fermentación láctica era un proceso biológico realizado por microorganismos, estableciendo de esta manera los fundamentos de la microbiología contemporánea y la interpretación de la fermentación como fenómeno microbiano. (Robergs et al., 2024)

Durante el siglo XX, el análisis de las bacterias ácido lácticas y sus usos en la industria alimentaria experimentó una notable expansión, posibilitando la fabricación regulada de alimentos fermentados y la utilización de las ventajas del ácido láctico y sus compuestos relacionados. Actualmente, la fermentación láctica es apreciada no solo por su función en la preservación y optimización sensorial de los alimentos, sino también por sus beneficios para la salud de las personas. La evolución del ácido láctico muestra una transición desde la observación empírica hasta su uso científico y tecnológico en la nutrición moderna. (Paramithiotis et al., 2022)

#### 1.2.2. Concepto y propiedades químicas

El ácido láctico es un compuesto orgánico que forma parte del grupo de ácidos carboxílicos. Proviene de manera natural de la fermentación de azúcares por bacterias lácticas, y juega un papel crucial en procesos biológicos e industriales. Este ácido se halla en productos fermentados como el yogur y el kéfir, así como en los músculos durante la actividad física intensa. Su adaptabilidad lo hace un elemento crucial para la preservación de alimentos, dado que frena el desarrollo de microorganismos dañinos. Además, su producción de biotecnología ha ganado importancia como opción sustentable frente a técnicas químicas. (Ibrahim et al., 2021)

### 1.2.3. Función y aplicaciones

El ácido láctico es el metabolito principal de las bacterias ácidas lácticas, constituyendo un compuesto orgánico de gran relevancia en la economía circular. (Bulla Cantor & Carreño Torres, 2023) En el sector alimentario se utiliza como aditivo, conservante y acidulante; en el farmacéutico como excipiente y en preparaciones tópicas; y en la industria química como antecesor del ácido poliláctico (PLA), un bioplástico biodegradable visto como una opción ecológica frente a los polímeros provenientes del petróleo. (Khouri et al., 2024)

El ácido láctico no solo es el principal producto metabólico de las BAL, sino que también cumple funciones clave en la preservación, sabor y textura de los alimentos fermentados, así como en aplicaciones biomédicas y farmacéuticas (Wang et al., 2021).

Figura 1.

Amplia gama de aplicaciones biotecnológicas del ácido láctico



Fuente: (Datos de Balla et al. (2021) , Jem et al. (2020) , Maleki et al. (2022) , y Alsaheb et al. (2022) ).

### 1.2.4. Perspectiva microbiológica y bromatológica

Desde la microbiología, el análisis de estas bacterias facilita la comprensión de su variedad genética, sus vías metabólicas, su resistencia a condiciones difíciles (como el pH bajo, sales y temperaturas), su habilidad para generar biopelículas y la generación de sustancias antimicrobianas. (Wang et al., 2021) Estos conocimientos son esenciales para elegir cepas con usos particulares, ajustadas a diversas matrices de alimentos o circunstancias industriales. Igualmente, en el campo de la bromatología, se estudia el efecto de las BAL en la seguridad y seguridad alimentaria, su efecto en la biodisponibilidad de nutrientes, la

disminución de anti nutrientes, y su implicación en procesos de bioconservación y potenciación funcional. (Rocío, 2023)

### 1.3. Producción de ácido láctico: Influencia de las BAL

Las bacterias ácido lácticas desempeñan un papel crucial en la generación de ácido láctico, dado que fermentan carbohidratos como la glucosa y la lactosa, convirtiéndolos en ácido láctico en su mayoría. Este procedimiento es esencial en el sector de la alimentación, dado que el ácido láctico no solo favorece la preservación y gusto de los alimentos fermentados. (Song et al., 2022)

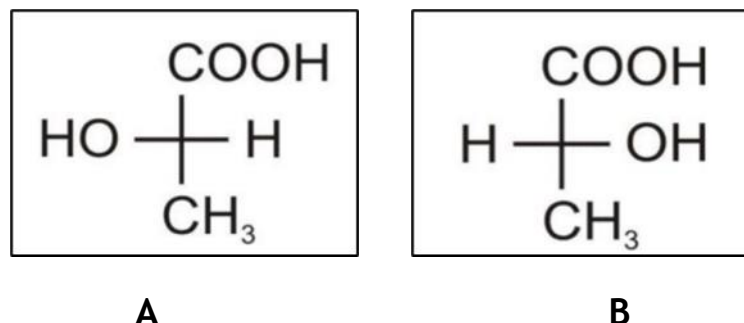
Estas bacterias son clasificadas en homofermentativas que producen teóricamente un solo producto, ácido láctico y heterofermentativas que producen adicionalmente otros productos tales como etanol, CO<sub>2</sub>, acetoína, formato de di acetilo y ácido acético. Sin embargo, algunas BAL homofermentativas pueden producir ácido fórmico o una mezcla de ácidos en la fermentación cuando son sometidas a condiciones de estrés tales como limitación de la fuente de carbono, incremento en el pH o incremento en la temperatura (Johanson, 2020).

El AL ha ganado una atención considerable debido a que es un bloque fundamental para la síntesis de ácido poliláctico (PLA). El PLA es ecológico y no tóxico; se trata de un material polimérico esencial, ampliamente utilizado en aplicaciones biomédicas gracias a su biocompatibilidad, biodegradabilidad, procesabilidad y resistencia mecánica (Reshma et al., 2024). El PLA puede polimerizarse como ácido poli-D-láctico (PDLA), ácido poli-L-láctico (PLLA) o ácido poli-DL-láctico (PDLLA) (Swetha et al., 2023). Además, el ácido láctico sirve como precursor de compuestos como los polímeros acrílicos y el propilenglicol, utilizados en el envasado y etiquetado (Ojo & De Smidt, 2023).

El ácido láctico (CH<sub>3</sub>CHOHCOOH) es una molécula quiral que existe en dos formas enantioméricas: ácido L-láctico y ácido D-láctico (Figura 2). Puede encontrarse en cualquiera de sus formas ópticamente activas (L (+) o D (-)) o en una mezcla racémica (L (+) y D (-)), dependiendo de las rutas de producción empleadas (Pohanka, 2020)

Figura 2.

Estructura tridimensional del ácido L-láctico óptico (A) y del ácido D-láctico (B)



Fuente: Adaptado de Pohanka (2020)

Es un líquido incoloro a ligeramente amarillento (a 15 °C y 1013 bares); es soluble únicamente en agua, etanol y otros disolventes orgánicos miscibles con agua [18,19]. Debido a su naturaleza higroscópica, normalmente se obtiene como una solución concentrada

incolora (hasta 90%) ((Tong et al., 2022). Es inodoro, poco volátil, y el ácido hidroxicarboxílico más simple, con diversas propiedades fisicoquímicas que incluyen puntos de fusión de 53.0 °C (L-ácido láctico), 52.8 °C (D-ácido láctico) y 16.8 °C (mezcla racémica LD). Sus puntos de ebullición varían según la presión; por ejemplo, a 1.87 kPa hierve a 103 °C y a 1.99 kPa a 122 °C. Su densidad sólida a 20 °C es de 1.249 g/L, mientras que en solución acuosa a 25 °C varía según la concentración: 1.057 g/mL (20% p/p) y 1.201 g/mL (88.6% p/p). El valor de la constante de disociación (pKa) a 25 °C para los isómeros L y D es 3.79 y 3.83, respectivamente (Tong et al., 2022).

### 1.3.1. Tipos de fermentación

El mercado global anual del ácido láctico en 2020 se valoró en 1.1 mil millones de dólares estadounidenses y se espera que tenga una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 8% entre 2021 y 2028 (Market, 2020). Su uso en industrias como la farmacéutica, biomédica, alimentaria y de bebidas impulsa su demanda durante este periodo (Grewal, 2020).

El ácido láctico se produce por síntesis química o procesos fermentativos microbianos de azúcares derivados de recursos renovables, como materiales de desecho agrícola. El ácido láctico es inocuo y está clasificado como “Generalmente Reconocido como Seguro” (Kim et al., 2020).

#### 1.3.1.1. Síntesis química del ácido láctico

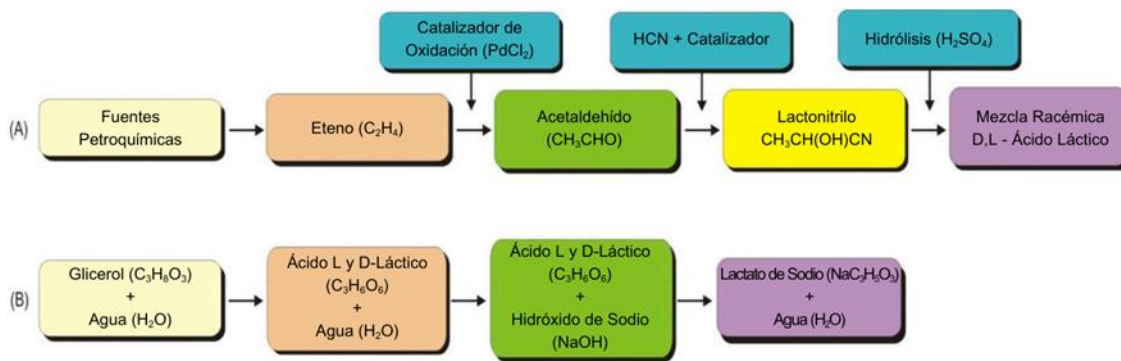
El ácido láctico puede producirse por diversas reacciones químicas, que incluyen: (i) hidrólisis de derivados del ácido láctico como ésteres o nitrilos, (ii) hidrólisis de otros ácidos propiónicos sustituidos, (iii) descarboxilación de algunos derivados del ácido 2-metilmalónico, (iv) reducción, (v) oxidación y (vi) reordenamiento y desproporción (Pohanka, 2020). Sin embargo, sólo la síntesis química a partir de derivados del ácido láctico ha sido comercializada.

Aunque esta vía no es económicamente viable (Grand View Research, 2021), diversos estudios han reportado la síntesis química del ácido láctico a partir de diferentes fuentes de carbono. Por ejemplo, puede sintetizarse químicamente a partir de fuentes petroquímicas. El proceso incluye la oxidación del eteno en presencia de cloruro de paladio (II) para formar acetaldehído (Figura 3A). Este se convierte en lactonitrilo en fase líquida bajo alta presión, en presencia de cianuro de hidrógeno y una base. El lactonitrilo se recupera, purifica y se hidroliza con ácido sulfúrico para formar una mezcla racémica de ácido láctico L y D (Yankov, 2022).

Las reacciones para la síntesis de ácido láctico o su lactato incluyen la adición de glicerol, agua y un catalizador (hidróxido de sodio o potasio) en un reactor por lotes equipado con un agitador magnético a 800 rpm y temperaturas de 240-247 °C o 260-270 °C (Figura 3B) (Yankov, 2022). La conversión hidrotermal alcalina de glicerol permite la síntesis de una mezcla racémica de ácido láctico L y D (Buitelaar et al., 2020). Se ha demostrado que el ácido láctico también puede sintetizarse a partir de manitol (C6-poliol) en condiciones hidrotermales alcalinas; sin embargo, el rendimiento obtenido con manitol fue menor que el obtenido con glucosa y glicerina. Otras rutas incluyen la oxidación de propilenglicol a baja temperatura (Buitelaar et al., 2020), conversión de propeno en ácido  $\alpha$ -nitropropiónico usando ácido nítrico en presencia de oxígeno, y posterior hidrólisis de este ácido para obtener ácido láctico (Yankov, 2022).

**Figura 3.**

Diagrama de bloques de la síntesis química del ácido láctico utilizando fuentes y condiciones. (A): Síntesis de ácido láctico utilizando fuentes petroquímicas y (B): Conversión hidrotérmica alcalina de glicerol en ácido láctico.



Fuente: Adaptado de Yankov (2022)

### 1.3.1.2. Producción fermentativa de ácido láctico

Más del 90 % del ácido láctico se produce mediante fermentación microbiana de fuentes de carbono (Rawoof et al., 2020). En la fermentación, los azúcares fermentables en suplementos nutritivos se convierten en ácido láctico por microorganismos adecuados bajo condiciones óptimas (Choudhary y Kumari, 2021). La selección de condiciones favorables para la producción fermentativa es crucial. Factores como la temperatura, el pH, nutrientes, concentración del sustrato y concentración del producto final afectan la fermentación (Rawoof et al., 2020).

La temperatura y el pH son condiciones clave ya que influyen en el metabolismo celular, afectando el crecimiento microbiano, el consumo de sustrato y la producción de ácido láctico (Rawoof et al., 2020). Por tanto, se selecciona y mantiene una temperatura óptima. El pH se regula durante la fermentación con la adición de una base fuerte como hidróxido de calcio, sodio o potasio, debido a que el ácido láctico reduce el pH (Mahato et al., 2021).

Los nutrientes también afectan la producción, ya que las bacterias productoras de ácido láctico requieren nutrientes complejos. La fuente de carbono (azúcares) es esencial para la reproducción bacteriana. Minerales, vitaminas y nitrógeno (como compuestos inorgánicos) son vitales para el crecimiento microbiano y la producción de ácido láctico (Rawoof et al., 2020). Además, el producto final acumulado puede ser inhibitorio, provocando menor crecimiento celular, tiempos de fermentación prolongados y menor productividad de ácido láctico (Mahato et al., 2021).

### 1.3.2. Parámetros de Control Microbiológico

El control microbiológico de las bacterias ácido lácticas (BAL) conlleva la valoración de diversos parámetros esenciales para asegurar su efectividad y seguridad en usos alimenticios, probióticos e industriales. El número de unidades formadoras de colonias (UFC) es uno de los parámetros más relevantes, ya que facilita la cuantificación de la viabilidad y la abundancia de las BAL en un producto o entorno, así como la identificación fenotípica y genotípica, que garantiza la adecuada categorización de las cepas y la identificación de

posibles contaminantes o patógenos asociados (Aouadhi et al., 2024). Además, se analiza la habilidad de las BAL para generar sustancias antimicrobianas, tales como bacteriocinas y ácidos orgánicos, que frenan la proliferación de microorganismos perjudiciales, entre ellos patógenos como Salmonella, Listeria y Bacillus spp (Suissa et al., 2021).

Otro indicador importante es la resistencia de las BAL a condiciones ambientales desfavorables, tales como cambios en el pH, la temperatura y la existencia de sales o enzimas digestivas, lo que define su habilidad para subsistir y colonizar entornos como el tracto digestivo o productos fermentados. Se supervisa también la producción de enzimas tecnológicas, como proteasas y lipasas, pues aportan a la funcionalidad y calidad de los alimentos fermentados, además de su capacidad para frenar la germinación de esporas de bacterias que resisten el calor, como Bacillus sporothermodurans (Atanasov et al., 2023).

### 1.3.3. Normativas Sanitarias Aplicables

Las bacterias ácido lácticas (BAL) se rigen por normativas sanitarias a causa de su amplia utilización en la industria de alimentos y su efecto en la salud pública. En numerosos países, las BAL empleadas como cultivos iniciadores o probióticos deben alcanzar la condición de "Generalmente Reconocidas como Seguras" (GRAS) en Estados Unidos, o su similar en la Unión Europea, donde se les concede la calificación de "Presumption de Seguridad Verificada" (QPS). Estas designaciones exigen un análisis riguroso de la seguridad de las cepas, que incluye la falta de genes que generen resistencia a antibióticos transferibles y la falta de generación de toxinas o sustancias perjudiciales. Además, las entidades de salud demandan la rastreabilidad y la identificación adecuada de las cepas utilizadas, además de la comprobación de sus ventajas funcionales y tecnológicas. (Peng et al., 2022)

Para las BAL modificadas genéticamente, las regulaciones son aún más estrictas. Es necesario analizar los riesgos ambientales, considerar la posibilidad de transferencia horizontal de genes y establecer sistemas de biocontención para prevenir su propagación más allá de los ambientes regulados. El etiquetado de productos con BAL también está regulado por la legislación internacional, requiriendo información precisa acerca de la especie, la cantidad apta para el consumo al finalizar su vida útil y las condiciones de almacenamiento sugeridas para preservar su efectividad (Plavec & Berlec, 2020).

### 1.3.4. Resultados esperados según BAL

Bioenriquecimiento con BAL (Fouillaud & Dufossé, 2022) desarrollaron una nueva bebida funcional fermentada a partir de una bebida indígena a base de maíz de Brasil, combinando BAL con levaduras. Por otro lado, evaluaron la posibilidad de bioenriquecer pasta de quinua mediante la adición de BAL y comprobaron que se podía obtener un producto con mayor biodisponibilidad de minerales y vitaminas (Carrizo et al., 2020). Esto representa una oportunidad interesante para la industria, aunque no siempre es fácil transferir los resultados de laboratorio a escala industrial debido a variaciones en las condiciones de fermentación y en la composición microbiana de los productos tradicionales (Carboni et al., 2023).

#### 1.3.4.1. Selección de BAL con mayor potencial biotecnológico

Los resultados obtenidos en microbiorreactores han revelado que cepas como Weissella soli\_29, Lactiplantibacillus pentosus\_70-1 y L. pentosus\_69 destacan por su alta producción

de ácido láctico (>20 g/L), un rendimiento comparable o incluso superior al reportado para cepas industriales clásicas. Además, el consumo casi total de glucosa en el medio indica una conversión eficiente del sustrato en producto deseado, lo cual es crucial para procesos sostenibles y económicamente viables. (Fernández Fernández, 2022)

Sin embargo, la elección de BAL con fines biotecnológicos no debe basarse únicamente en la producción de ácido láctico. También es importante considerar la producción de metabolitos secundarios, como el ácido acético (AA), cuyo exceso puede afectar negativamente el sabor y dificultar la purificación del AL. Por ejemplo, aunque *L. pentosus\_70-1* produjo cantidades elevadas de AL, también generó más AA que otros aislamientos, lo que podría limitar su aplicación en ciertos productos alimentarios o farmacéuticos (Fernández Fernández, 2022). Además, el análisis de fermentación de 49 carbohidratos (API 50 CH) reveló diferencias sustanciales en la versatilidad metabólica de los aislamientos. BAL como *W. soli\_29*, *W. soli\_31* y *L. pentosus\_17-2* mostraron una alta capacidad para fermentar una amplia gama de azúcares, incluyendo azúcares complejos y poco convencionales. Esta característica es especialmente relevante para aplicaciones en alimentos funcionales, ya que puede facilitar el bioaprovechamiento de sustratos residuales o matrices ricas en polisacáridos (ej. quinua, cereales, tubérculos), promoviendo así la generación de productos fermentados más nutritivos y con valor agregado. (Fernández Fernández, 2022)

**Tabla 1.**

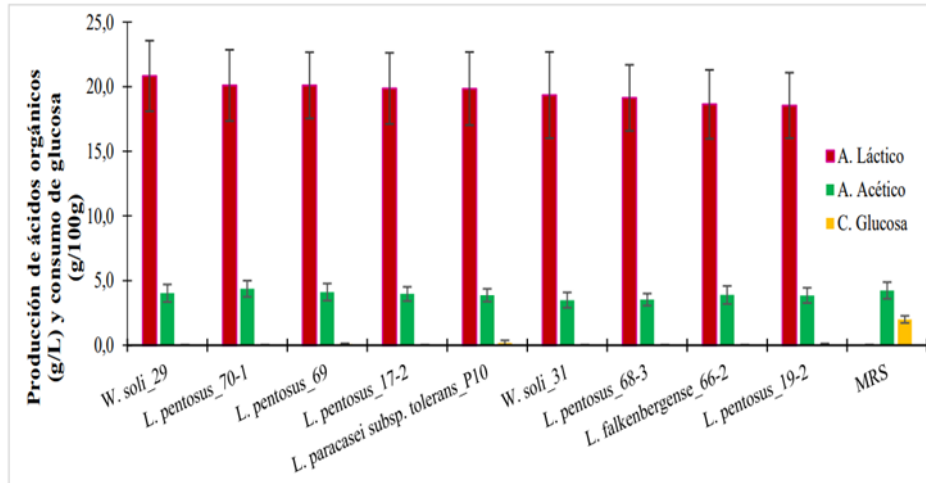
*Producción de AL, AA y consumo de glucosa para nueve aislamientos de BAL*

Especie	A. Láctico (g/L)	A. Acético (g/L)	Glucosa (g /100 g)
<i>Weissella soli_29</i>	20,833±2,731 <sup>a</sup>	4,023±0,680 <sup>a,b</sup>	0,000±0,000 <sup>c,d,e,f</sup>
<i>Lactiplantibacillus pentosus_70-1</i>	20,100±2,754 <sup>a,b</sup>	4,367±0,626 <sup>a</sup>	0,000±0,000 <sup>e,f</sup>
<i>Lactiplantibacillus pentosus_69</i>	20,100±2,562 <sup>a</sup>	4,115±0,660 <sup>a,b</sup>	0,069±0,072 <sup>b,c,d,e,f</sup>
<i>Lactiplantibacillus pentosus_17-2</i>	19,867±2,757 <sup>a</sup>	3,965±0,553 <sup>a,b</sup>	0,000±0,000 <sup>f</sup>
<i>Lacticaseibacillus paracasei subsp. Tolrans_P10</i>	19,850±2,829 <sup>a</sup>	3,868±0,492 <sup>a,b</sup>	0,183±0,193 <sup>b</sup>
<i>Weissella soli_31</i>	19,350±3,336 <sup>a,b</sup>	3,490±0,595 <sup>b</sup>	0,000±0,000 <sup>f</sup>
<i>Lactiplantibacillus pentosus_68-3</i>	19,133±2,553 <sup>a,b</sup>	3,530±0,470 <sup>a,b</sup>	0,000±0,000 <sup>d,e,f</sup>
<i>Leuconostoc falkenbergense_66-2</i>	18,633±2,666 <sup>a,b</sup>	3,888±0,698 <sup>a,b</sup>	0,000±0,000 <sup>f</sup>
<i>Lactiplantibacillus pentosus_19-2</i>	18,550±2,533 <sup>a,b</sup>	3,858±0,586 <sup>a,b</sup>	0,062± 0,065 <sup>b,c,d,e,f</sup>

Fuente: (Fernández Fernández, 2022)

**Figura 4.**

Producción de AL (g/L), AA (g/L) y consumo de glucosa (g/100 g) para nueve aislamientos de BAL.



Fuente: (Fernández Fernández, 2022)

### 1.3.5. Análisis de Riesgos asociados a las BAL

Es esencial el estudio de los riesgos vinculados a las bacterias ácido lácticas (BAL) para asegurar su seguridad en alimentos y productos probióticos. Uno de los riesgos más significativos detectados es la potencial transferencia de genes de resistencia a antibióticos, dado que ciertas variantes de BAL pueden contener genes que, al ser transferidos a bacterias patógenas, podrían complicar el manejo de infecciones. La implementación de una secuenciación genómica completa ha facilitado la identificación de genes de resistencia tanto intrínsecos como obtenidos, además de los componentes genéticos móviles que podrían ser los causantes de su potencial diseminación. No obstante, las investigaciones indican que las variedades comerciales de BAL exhiben una menor cantidad y variedad de estos genes en comparación con las obtenidas de entornos humanos, lo que indica un riesgo reducido (Rozman et al., 2022).

## 1.4. Oportunidades futuras y tendencias emergentes

### 1.4.1. Nuevos alimentos funcionales

Dada la seguridad y las propiedades promotoras de salud de las BAL, se están desarrollando estrategias moleculares para identificar los genes responsables de sus beneficios. Una vez identificados, se pueden mejorar sus propiedades deseables y mitigar características no deseadas. (Xie et al., 2024) Por ejemplo, se ha fermentado yogur con una cepa mutante de *Lactobacillus helveticus* obtenida por mutagénesis UV, resultando en mejores propiedades de textura y menor acidificación postfermentación (Guan et al., 2021).

Los alimentos fermentados con BAL mejoran la digestibilidad de los ingredientes, transforman materias primas en productos comestibles, e incrementan la biodisponibilidad de vitaminas y minerales como hierro (Fe), calcio (Ca), zinc (Zn) y algunas vitaminas esenciales. Estas propiedades los hacen candidatos ideales para el desarrollo de alimentos funcionales en poblaciones con necesidades nutricionales específicas (Carboni et al., 2023).

Es importante destacar que la relevancia funcional de la biotransformación operada por las BAL también radica en su capacidad para modificar la biodisponibilidad de moléculas bioactivas presentes en los alimentos, mejorando así su impacto nutricional y funcional (Debelo et al., 2020).

Muchas cepas de BAL tienen la capacidad de sintetizar vitaminas como el ácido fólico (vitamina B9) y la riboflavina (vitamina B2), lo que aumenta el valor nutricional de los alimentos fermentados. Algunas especies de *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Lactococcus* pueden producir ácido fólico, mientras que modificaciones genéticas pueden incrementar la síntesis de riboflavina en *Lactiplantibacillus plantarum* (Khalili et al., 2020; Ge et al., 2020).

Además de estas ventajas nutricionales, la producción de ácido láctico (AL) mediante fermentación por BAL ofrece nuevas oportunidades en el diseño de alimentos funcionales. Diversos estudios han demostrado que cepas como *Lactobacillus plantarum* y *L. acidophilus* pueden mejorar no solo la estabilidad y conservación del alimento, sino también su actividad antioxidante, inmunomoduladora e incluso antitumoral, al producir AL y otros metabolitos secundarios con efectos bioactivos (Abdel-Rahman et al., 2020).

#### 1.4.2. Aplicaciones en biotecnología ambiental

Se están utilizando múltiples estrategias de modificación genética para desarrollar cepas de BAL capaces de producir compuestos valiosos como vitaminas, edulcorantes (manitol, xilitol), y químicos de interés industrial (ácido láctico, 2,3-butanodiol, etc.). (Xie et al., 2024) Los alimentos producidos a partir de BAL modificadas genéticamente no requieren etiquetado como OGM en EE.UU., siempre que se asegure la ausencia de células viables y ADN recombinante (Hanlon y Sewalt, 2021).

Las estrategias de ingeniería metabólica permiten mejorar la síntesis de compuestos clave mediante la sobreexpresión de enzimas limitantes o la construcción de vías metabólicas novedosas. Estas estrategias, aplicadas a BAL, buscan aumentar la producción de metabolitos útiles como exopolisacáridos, bacteriocinas o ácido D-láctico, además de optimizar su uso en la degradación de proteínas y regulación del metabolismo del piruvato (Wang et al., 2021; Qiu et al., 2020).

El ácido láctico es además un precursor esencial en la producción de ácido poliláctico (PLA), un polímero biodegradable empleado en empaques, textiles, agricultura y medicina. La producción fermentativa de AL por BAL, especialmente en su forma

ópticamente pura, es una estrategia clave para reducir la dependencia de recursos fósiles y minimizar el impacto ambiental de materiales sintéticos (Pohanka, 2020; Raj et al., 2022).

Por otro lado, el ácido láctico también ha mostrado potencial como bioacidulante en procesos de biorremediación y tratamiento de aguas, gracias a sus propiedades antimicrobianas y su capacidad para modificar el pH de entornos contaminados. Estas aplicaciones emergentes posicionan al ácido láctico no solo como un metabolito industrial, sino también como un recurso ecológico multifuncional (Sharma et al., 2020).

A pesar del enorme número de investigaciones en curso, el estudio de las bacterias ácido lácticas sigue expandiéndose, debido al incremento en la necesidad de soluciones naturales, sostenibles y saludables en el sector de alimentos y farmacéutica.

## 2. METODOLOGÍA

El presente estudio se llevó a cabo a través de un exhaustivo análisis bibliográfico centrado en la recopilación, selección y síntesis de datos científicos pertinentes acerca de las bacterias ácido lácticas (BAL) y su relevancia en el proceso de producción de ácido láctico. La investigación de fuentes se realizó principalmente a través de plataformas académicas reconocidas como Google Scholar, SciELO y revistas científicas internacionales de acceso abierto y con un proceso de revisión por expertos.

Se establecieron criterios específicos de inclusión para garantizar la actualidad y pertinencia de la información recopilada: se consideraron únicamente artículos científicos y estudios empíricos publicados en revistas indexadas en bases de datos reconocidas, en un rango temporal de los últimos cinco años (2020-2025), disponibles en idioma español, inglés o portugués, y que estuvieran directamente relacionados con los objetivos y la temática de la investigación en cuestión. Aquellas publicaciones que no abordaran directamente el vínculo existente entre el ácido butírico láctico y su relación fisiológica, o que no cumplieran con los criterios de relevancia y pertinencia mencionados anteriormente, fueron descartadas de la revisión bibliográfica. Las palabras clave específicas empleadas en la búsqueda bibliográfica fueron las siguientes: "bacterias ácido lácticas", "BAL", "ácido láctico", "microorganismos", "propiedades", así como "seguridad alimentaria". La información recolectada fue minuciosamente analizada de forma crítica, priorizando cuidadosamente estudios científicos que ofrecieran datos relevantes y actualizados sobre la clasificación taxonómica, las diversas aplicaciones biotecnológicas, las propiedades fisiológicas destacadas y su significativo impacto en la industria alimentaria y la salud humana en general.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Antecedentes y Fundamentación para el Análisis de Resultados

Las bacterias ácido lácticas (BAL) han sido objeto de estudio desde el siglo XIX, cuando Louis Pasteur describió su papel en la fermentación láctica y Elie Metchnikoff propuso sus beneficios para la salud humana (Pinto et al., 2020; Sl, 2024). Estas bacterias,

grampositivas, no esporuladas y facultativamente anaerobias, destacan por su capacidad de fermentar carbohidratos, principalmente glucosa, produciendo ácido láctico como metabolito principal (Kazou, 2021).

### 3.2. Discusión de Resultados

Tabla 2.

*Consumo de Glucosa, Producción de Ácido Láctico, Ácido Acético y pH Final por Cepa*

Consumo de Glucosa (g/100g)	Ácido Láctico (g/L)	Ácido Acético (g/L)	pH Final
90	14.9	0.5	5.4
91	15.5	0.6	5.2
92	16.8	0.7	5.0
93	17.3	0.8	4.9
94	18.7	0.9	4.7
95	19.5	1.1	4.6
96	20.9	1.0	4.4
97	21.8	2.5	4.3
98	22.5	1.2	4.2

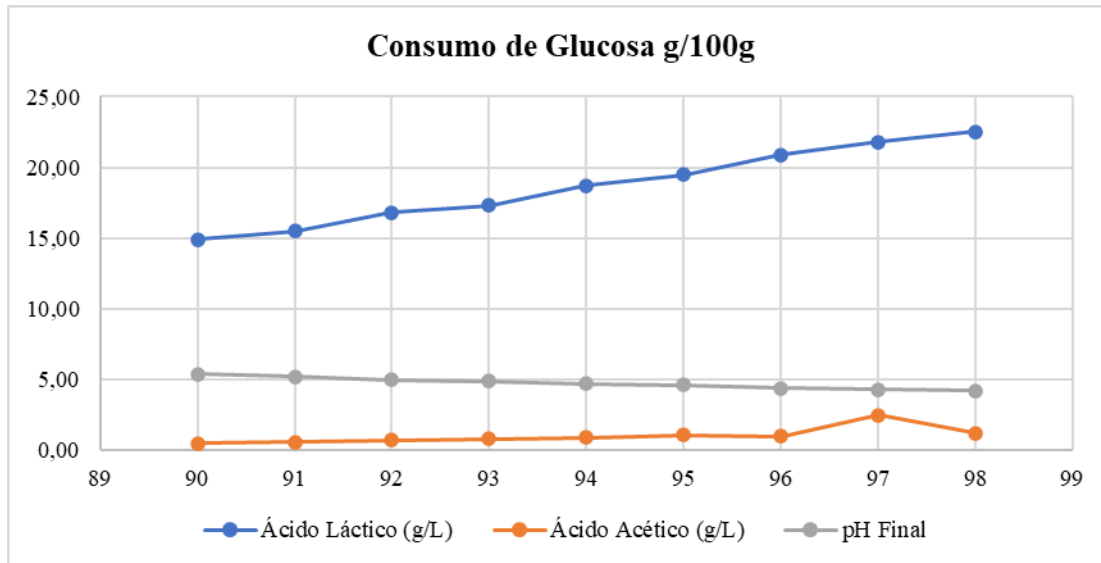
*Fuente: (Kazou, 2021)*

Los resultados obtenidos evidencian que el consumo creciente de glucosa por las bacterias ácido lácticas (BAL) se traduce en una mayor producción de ácido láctico, alcanzando hasta 22,5 g/L cuando el consumo es de 98 g/100g. En paralelo, la producción de ácido acético se mantiene baja y estable, oscilando entre 0,5 y 2,5 g/L, lo que confirma la predominancia de la fermentación homoláctica en las cepas analizadas (Fiallos Zaruma, 2022; Kim et al., 2020). Este comportamiento es típico de géneros como *Lactococcus* y *Streptococcus*, ampliamente reconocidos por su eficiencia y especificidad metabólica en la industria alimentaria (Kazou, 2021)

Al correlacionar estos resultados con el pH final del medio, se observa una clara relación inversa: a mayor producción de ácido láctico, el pH disminuye de 5,4 hasta 4,2. Esta acidificación rápida es clave para la conservación y seguridad de los alimentos fermentados, ya que impide el desarrollo de microorganismos patógenos y de deterioro (Maiouet et al., 2024; Ibrahim et al., 2021). La capacidad de las BAL para reducir el pH de forma eficiente justifica su uso como cultivos iniciadores en productos lácteos, cárnicos y vegetales fermentados, donde la estabilidad y seguridad microbiológica son prioritarias (Romero & Capozzi, 2022). La baja producción de ácido acético sugiere que las condiciones experimentales favorecieron la vía metabólica homoláctica, lo cual es deseable en aplicaciones industriales orientadas a productos con sabor suave y estabilidad prolongada (Fiallos Zaruma, 2022; Wang et al., 2021).

### Figura 5.

*Relación entre el Consumo de Glucosa, con la Producción de Ácido Láctico y Acético, en función del potencial de Hidrógeno*



Fuente: (Kazou, 2021)

Tabla 3.

Comparación de la Producción de Ácido Láctico y Acético, por distintas cepas de BAL

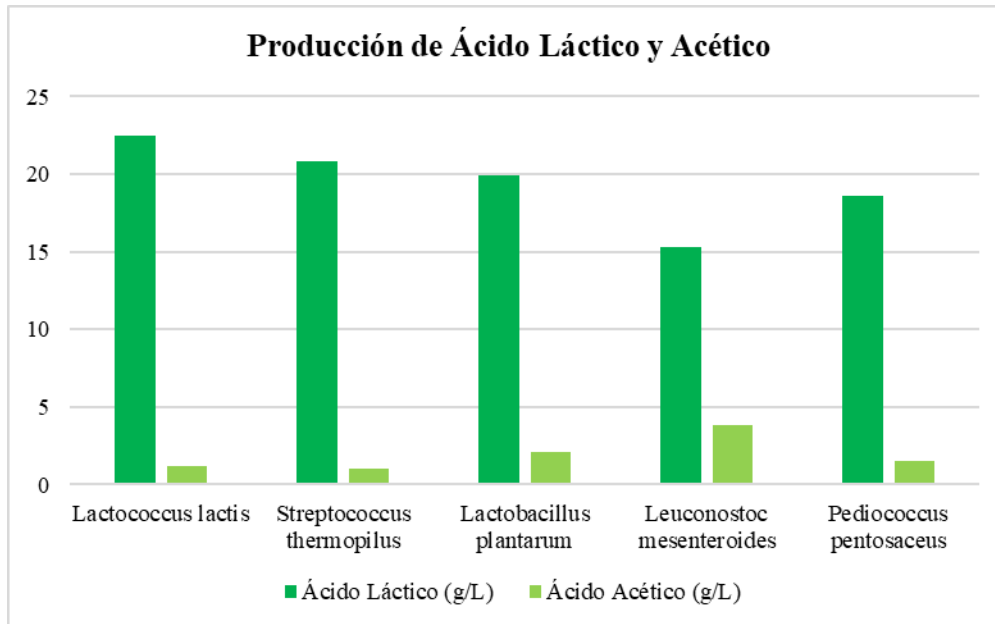
Cepa	Ácido Láctico (g/L)	Ácido Acético (g/L)
<i>Lactococcus lactis</i>	22.5	1.2
<i>Streptococcus thermophilus</i>	20.8	1.0
<i>Lactobacillus plantarum</i>	19.9	2.1
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	15.3	3.8
<i>Pediococcus pentosaceus</i>	18.6	1.5

Fuente: (Kazou, 2021)

Los resultados expuestos, muestran una clara correlación positiva entre el consumo de glucosa y la producción de ácido láctico, evidenciando la eficiencia metabólica de las BAL en la fermentación homoláctica. Destaca que mientras el ácido láctico aumenta considerablemente (de 14,9 a 22,5 g/L), la producción de ácido acético se mantiene baja (entre 0,5 y 2,5 g/L), confirmando la predominancia de la vía Embden-Meyerhof-Parnas en las condiciones experimentales.

Figura 6.

Diagrama de Barras, en función de la Producción de Ácido Láctico y Acético, por distintas cepas de BAL



Fuente: (Viodarou et al., 2020)

**Tabla 4.**

*Evolución de la producción de ácido láctico y pH durante la fermentación (Lactococcus lactis)*

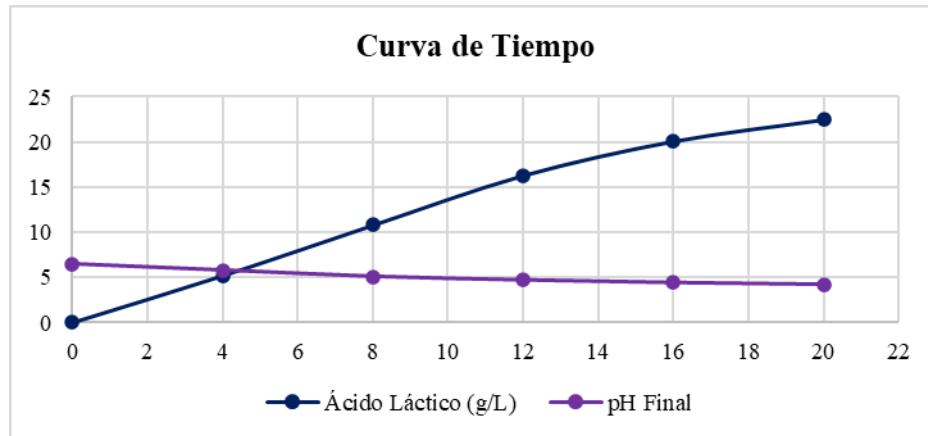
Tiempo (h)	Ácido Láctico (g/L)	pH Final
0	0.0	6.5
4	5.2	5.8
8	10.8	5.1
12	16.3	4.7
16	20.1	4.4
20	22.5	4.2

Fuente: (Viodarou et al., 2020)

La evolución temporal muestra que la producción de ácido láctico sigue una curva de crecimiento típica, con una fase exponencial entre las 4 y 16 horas, alcanzando 22,5 g/L a las 20 horas. Paralelamente, el pH disminuye de forma inversamente proporcional, desde 6,5 hasta 4,2, con la caída más pronunciada durante las primeras 12 horas de fermentación. Esta cinética refleja la eficiencia de *Lactococcus lactis* para metabolizar glucosa y acidificar rápidamente el medio, característica esencial para inhibir microorganismos competidores. La estabilización observada hacia el final del proceso sugiere que la bacteria alcanza una fase estacionaria, posiblemente debido a la acumulación de ácido láctico o al agotamiento de nutrientes, aspecto relevante para optimizar procesos industriales de fermentación. (Viodarou et al., 2020)

**Figura 7.**

Curva de Tiempo, en función de la Producción de Ácido Láctico y el pH Final en el proceso de fermentación del *Lactococcus lactis*.



Fuente: (Viodarou et al., 2020)

### 3.3. Implicaciones Biológicas e Industriales

El metabolismo eficiente de las BAL y su capacidad para acidificar rápidamente el medio tienen importantes implicaciones biológicas y tecnológicas. Biológicamente, permiten a estas bacterias dominar nichos ecológicos y desplazar a microorganismos competidores, contribuyendo a la estabilidad del microbioma en alimentos y sistemas naturales (Ibrahim et al., 2021). Industrialmente, su uso como cultivos iniciadores asegura la calidad, seguridad y vida útil de productos fermentados, y su potencial en la producción de ácido láctico es clave para la industria alimentaria, farmacéutica y de bioplásticos (Romero & Capozzi, 2022).

### 3.4. Limitaciones y Perspectivas Futuras

Entre las limitaciones del estudio se encuentran la posible influencia de factores como la composición del medio, la concentración inicial de sustrato, la presencia de inhibidores y la variabilidad genética entre cepas. Futuras investigaciones deberían centrarse en la ingeniería genética de BAL para optimizar rutas metabólicas, aumentar la tolerancia a condiciones industriales y diversificar los productos finales de la fermentación. Además, la integración de técnicas ómicas y análisis de sistemas permitirá comprender mejor la regulación metabólica y mejorar la eficiencia de los procesos biotecnológicos (Tian et al., 2021; Rana & Thakur, 2024).

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Relevancia de los Géneros Destacados y su Eficiencia Fermentativa

Los resultados obtenidos en esta revisión bibliográfica evidencian que los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus* y *Streptococcus* sobresalen por su alta eficiencia en la conversión de glucosa en ácido láctico, alcanzando concentraciones de hasta 22,5 g/L y logrando una reducción significativa del pH hasta 4,2. Este hallazgo confirma el papel central de estos géneros en los procesos fermentativos industriales y en la conservación de alimentos, ya

que la acidificación rápida y efectiva del medio inhibe el crecimiento de microorganismos indeseables y prolonga la vida útil de los productos. La capacidad de estas BAL para acidificar el entorno se traduce en una ventaja competitiva para la industria alimentaria, especialmente en la elaboración de productos lácteos y vegetales fermentados.

#### 4.2. Ventajas Competitivas de Cepas Específicas

Se destaca particularmente a *Lactobacillus plantarum* por su rendimiento y estabilidad en diversos procesos fermentativos, lo que la posiciona como una cepa de interés biotecnológico para la producción sostenible de alimentos. Esta especie ha demostrado adaptabilidad a diferentes matrices alimenticias y condiciones de procesamiento, lo que facilita su empleo en la industria y refuerza su valor como microorganismo funcional.

#### 4.3. Impacto de Fermentación Homoláctica y Heteroláctica

Los resultados confirman que la fermentación homoláctica, característica de especies como *Lactococcus lactis* y ciertas variedades de *Lactobacillus*, resulta en una mayor producción de ácido láctico como metabolito principal, con una mínima generación de subproductos. Esto no solo optimiza la conservación, sino que también mejora la estabilidad de los alimentos, ya que el descenso rápido del pH limita la proliferación de patógenos (Hurtado-Murillo et al., 2024). Por otro lado, la fermentación heteroláctica, propia de *Leuconostoc* y algunas especies de *Lactobacillus*, genera una diversidad de compuestos (ácido acético, etanol, CO<sub>2</sub>) que impactan positivamente en las características sensoriales de los productos, ampliando las posibilidades de innovación en la industria alimentaria (Han et al., 2021).

#### 4.4. Diversidad Taxonómica y Adaptabilidad

La revisión resalta la diversidad taxonómica de las BAL, agrupadas principalmente en el orden Lactobacillales del filo Firmicutes. La reciente reclasificación del género *Lactobacillus* en 25 géneros distintos refleja los avances en el conocimiento filogenético y la complejidad de este grupo bacteriano (Zheng et al., 2020). Esta diversidad permite una mayor adaptabilidad de las BAL a distintos nichos ecológicos y aplicaciones tecnológicas, lo que se traduce en una oferta más amplia de cultivos iniciadores y probióticos para la industria alimentaria.

#### 4.5. Ventajas Competitivas de Cepas Específicas

Los resultados muestran que las BAL no solo contribuyen a la conservación y mejora sensorial de los alimentos, sino que algunas cepas poseen propiedades probióticas, favoreciendo el equilibrio del ecosistema intestinal y modulando la respuesta inmunológica del huésped (Bulla Cantor & Carreño Torres, 2023). En productos lácteos fermentados como el kéfir, se identifican especies como *L. kefiranofaciens*, *L. casei* y *L. paracasei*, que inhiben patógenos intestinales y han demostrado eficacia en aplicaciones terapéuticas (Bengoa et al., 2020). Esto refuerza el potencial de las BAL como agentes funcionales en la dieta humana.

### 5. CONCLUSIONES

Las bacterias ácido lácticas productoras de ácido láctico destacan por su relevancia en procesos fermentativos controlados, debido a su capacidad para transformar carbohidratos



en compuestos orgánicos de interés. Su diversidad metabólica permite aplicaciones diferenciadas según el tipo de fermentación, ya sea homo o heterofermentativa. Esta versatilidad biológica resulta clave para optimizar procesos industriales con criterios de eficiencia y sostenibilidad. Además, la adaptación de estas bacterias a entornos ácidos incrementa su estabilidad y rendimiento. La selección de cepas específicas permite modular la producción de metabolitos deseables.

El análisis de sus propiedades fisiológicas y tecnológicas revela una correlación directa entre el tipo de cepa y la calidad del ácido láctico obtenido. Cepas como *Lactobacillus plantarum* y *Lactococcus lactis* presentan ventajas competitivas en cuanto a velocidad de crecimiento y tolerancia al sustrato. La eficiencia en la conversión de azúcares y la baja formación de subproductos secundarios consolidan su uso en formulaciones alimentarias. Asimismo, su compatibilidad con materias primas residuales amplía las posibilidades de su aprovechamiento. La ingeniería genética contribuye a optimizar sus rutas biosintéticas sin comprometer su funcionalidad.

La información recopilada evidencia diferencias significativas en el rendimiento de ácido láctico entre las cepas analizadas, tanto en concentración final como en eficiencia de conversión del sustrato. El análisis gráfico mostró que *Lactobacillus plantarum* alcanzó una producción de 22.3 g/L de ácido láctico, superando a *Lactobacillus acidophilus* (17.8 g/L) y *Lactococcus lactis* (15.6 g/L). Además, mantuvo una mayor estabilidad en condiciones de pH ácido y presentó una tasa de conversión del 89.2 %. Al considerar estos factores de forma integrada, se posiciona como la cepa más eficiente.

La producción de ácido láctico a partir de bacterias ácido lácticas se proyecta como una alternativa viable a procesos químicos tradicionales, tanto por su menor impacto ambiental como por el valor agregado de sus derivados. La implementación de BAL en matrices complejas requiere tecnologías que aseguren su viabilidad y actividad durante el procesamiento. En este contexto, se vuelve prioritario el estudio de consorcios microbianos que mejoren la eficiencia fermentativa sin afectar la calidad del producto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aouadhi, C., Turki, M., & Maaroufi, A. (2024). Screening and characterization of lactic acid bacteria with antibacterial effect against heat-resistant spore outgrowth of *Bacillus sporothermodurans*. *International Dairy Journal*, 158, 106047. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106047>

Atanasov, N., Evstatieva, Y., & Nikolova, D. (2023). Probiotic Potential of Lactic Acid Bacterial Strains Isolated from Human Oral Microbiome. *Microbiology Research*, 14(1), 262-278. <https://doi.org/10.3390/microbiolres14010021>

Balla, E.; Daniilidis, V.; Karljoti, G.; Kalamas, T.; Stefanidou, M.; Bikiaris, N.D.; Vlachopoulos, A.; Koumentakou, I.; Bikiaris, D.N. Poly(Lactic Acid): A Versatile Biobased Polymer for the Future with Multifunctional Properties-from Monomer Synthesis, Polymerization Techniques and Molecular Weight Increase to PLA Applications. *Polymers* 2021, 13, 1822

Buitelaar, M.M.; Van Daatselaar, E.; Van Teijlingen, D.G.; Stokvis, H.I.; Wendt, J.D.; De Sousa Ribeiro, R.J.; Brooks, A.M.M.

Bengoa, A. A., Garrote, G. L., & Abraham, A. G. (2020). Kefir y los Alimentos fermentados artesanales.



Bulla Cantor, P y Carreño Torres, V. (2023). Empleo de las Bacterias Ácido Lácticas (BAL) en el campo médico: Una alternativa a la prevención de enfermedades digestivas. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.

Carboni, A. D., Martins, G. N., Gómez-Zavaglia, A., & Castilho, P. C. (2023). Lactic Acid Bacteria in the Production of Traditional Fermented Foods and Beverages of Latin America. *Fermentation*, 9(4), 315. <https://doi.org/10.3390/fermentation9040315>

Carrizo, S.L.; de LeBlanc, A.D.M.; LeBlanc, J.G.; Rollán, G.C. Quinoa pasta fermented with lactic acid bacteria prevents nutritional deficiencies in mice. *Food Res. Int.* 2020, 127, 108735. [CrossRef] [PubMed]

Chacón Mayorga, G.A.; Arias Palma, G.B.; Sandoval-Cañas, G.J.; Ordoñez-Araque, R.H. Ancestral fermented indigenous beverages from South America made from cassava (*Manihot esculenta*). *Food Sci. Technol.* 2021, 41, 360-367. [CrossRef]

Choudhary, C.K.; Kumari, P. A Study on Lactic Acid Fermentation Properties and Applications. *Int. J. Res. Anal. Sci. Eng.* 2021, 1, 42-47

Debelo, H., Li, M., and Ferruzzi, M. G. (2020). Processing influences on food polyphenol profiles and biological activity. *Curr. Opin. Food Sci.* 32, 90-102. doi: 10.1016/j.cofs.2020.03.001

Fiallos Zaruma, H. S. (2022). Caracterización y susceptibilidad antimicrobiana de bacterias ácido lácticas recuperadas de lactosuero en la Cooperativa de Producción de Leche “Chuquipogyo” del Quinual-La Merced Parroquia San Andrés. Riobamba, Ecuador.

Fernández Fernández, S. (2022). Caracterización de bacterias ácido lácticas (BAL) para la producción de ácido láctico (AL) a escala de planta piloto. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Biosistemas.

Fouillaud, M., & Dufossé, L. (2022). Microbial Secondary Metabolism and Biotechnology. *Microorganisms*, 10(1), 123. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010123>

García-Burgos, M., J. Moreno-Fernández, M. J. M. Alférez, J. DíazCastro, and I. López-Aliaga. 2020. New perspectives in fermented dairy products and their health relevance. *J. Funct. Foods* 72:104059. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104059> .

Gayathri L N, Preetha Nair, (2023). Role of Aerobic and Anaerobic Bacteria in the Bio-conversion of Lignocellulose waste material. *Journal of Microbes and Research.* 2(1). DOI: 10.58489/2836-2187/008

Gizachew, S., Van Beeck, W., Spacova, I., Dekeukeleire, M., Alemu, A., Woldemedhin, W. M., Mariam, S., Lebeer, S., & Engidawork, E. (2023). Antibacterial and Immunostimulatory Activity of Potential Probiotic Lactic Acid Bacteria Isolated from Ethiopian Fermented Dairy Products. [https://www.semanticscholar.org/paper/Antibacterial-and-Immunostimulatory-Activity-of-Gizachew-Beeck/9f96aa67aec687b85e92531aaef39b095256ea10?utm\\_source=consensus](https://www.semanticscholar.org/paper/Antibacterial-and-Immunostimulatory-Activity-of-Gizachew-Beeck/9f96aa67aec687b85e92531aaef39b095256ea10?utm_source=consensus)

Grandviewresearch. Lactic Acid Market Size, Share & Trends Analysis Report by Raw Material (Sugarcane, Corn, Cassava), by Application (PLA, Food & Beverages), by Region, and Segment Forecasts, 2021-2028; Grand View Research. 2021.

Grand View Research Report. (2020). Probiotics Market Size, Share & Trends Analysis Report.

Guan, C., X. Chen, R. Zhao, Y. Yuan, X. Huang, J. Su, X. Ding, X. Chen, Y. Huang, and R. Gu. 2021. A weak post-acidification *Lactobacillus helveticus* UV mutant with improved textural properties. *Food Sci. Nutr.* 9:469-479. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2016>



Han, D. M., Chun, B. H., Kim, H. M., & Jeon, C. O. (2021). Characterization and correlation of microbial communities and metabolite and volatile compounds in doenjang fermentation. *Food Research International*, 148, 110645. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110645>

Hanlon, P., and V. Sewalt. 2021. GEMs: Genetically engineered microorganisms and the regulatory oversight of their uses in modern food production. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 61:959-970. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1749026> .

Hirozawa, M. T., Ono, M. A., De Souza Sugiura, I. M., Bordini, J. G., & Ono, E. Y. S. (2022). Lactic acid bacteria and *Bacillus* spp. as fungal biological control agents. *Journal of Applied Microbiology*, 134(2). <https://doi.org/10.1093/jambio/lxac083>

Hurtado-Murillo, J., Franco, W., & Contardo, I. (2024). Impact of homolactic fermentation using *Lactobacillus acidophilus* on plant-based protein hydrolysis in quinoa and chickpea flour blended beverages. *Food Chemistry*, 463, 141110. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141110>

Ibrahim, S. A., Ayivi, R. D., Zimmerman, T., Siddiqui, S. A., Altemimi, A. B., Fidan, H., Esatbeyoglu, T., & Bakhshayesh, R. V. (2021). Lactic acid bacteria as antimicrobial agents: Food Safety and Microbial food Spoilage Prevention. *Foods*, 10(12), 3131. <https://doi.org/10.3390/foods10123131>

Jem, K.J.; Tan, B. The Development and Challenges of Poly (Lactic Acid) and Poly (Glycolic Acid). *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.* 2020, 3, 60-70.

Jimenez, M.E.; O'Donovan, C.M.; de Ullivarri, M.F.; Cotter, P.D. Microorganisms present in artisanal fermented food from South America. *Front. Microbiol.* 2022, 13, 941866. [CrossRef]

Johanson, A., Goel, A., Olsson, L., & Franzén, C. J. (2020). Respiratory physiology of *Lactococcus lactis* in chemostat cultures and its effect on cellular robustness in frozen and freeze-dried starter cultures. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(6), e02785-19.

Kamphuis, E.C.; Lopez-Montoya, S.; Van Putten, J.C.; et al. Process Designs for Converting Propylene Glycol to Acrylic Acid via Lactic Acid and Allyl Alcohol. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2020, 59, 1183-1192

Kazou, M. (2021). Lactic Acid Bacteria: *Lactococcus lactis*. In Elsevier eBooks (pp. 218-225). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818766-1.00325-1>

Kenneth Todar (2020), *Online Textbook of Bacteriology*, Madison, Wisconsin

Khalili, M., Rad, A., Khosroushahi, A., Khosravi, H., and Jafarzadeh, S. (2020). Application of probiotics in folate bio-fortification of yoghurt. *Probiotics. Antimicro* 12, 756-763. doi: 10.1007/s12602-019-09560-9567

Khoury, N. G., Bahú, J. O., Blanco-Llamero, C., Severino, P., Concha, V. O., & Souto, E. B. (2024). Polylactic acid (PLA): Properties, synthesis, and biomedical applications - A review of the literature. *Journal of Molecular Structure*, 1309, 138243. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138243>

Kim, K., Chun, B., Baek, J., Roh, S., Lee, S., and Jeon, C. (2020). Genomic and metabolic features of *Lactobacillus sakei* as revealed by its pan-genome and the metatranscriptome of kimchi fermentation. *Food Microbiol.* 86:103341. doi: 10.1016/j.fm.2019.103341

Laslo, É., György, É., & Szabó, A. (2025). Technological aspects of lactic acid bacteria originated from artisanal cheeses. [https://www.semanticscholar.org/paper/Technological-aspects-of-lactic-acid-bacteria-from-Laslo-Gy%C3%B6rgy/185c8a9b5779155d6fe93a24f99402061149f8b1?utm\\_source=consensus](https://www.semanticscholar.org/paper/Technological-aspects-of-lactic-acid-bacteria-from-Laslo-Gy%C3%B6rgy/185c8a9b5779155d6fe93a24f99402061149f8b1?utm_source=consensus)



Mahato, A.K.; Kumari, L.; Singh, R.S.; Alam, M.T. Fermentative Study on Optimization of Lactic Acid Production from Cane Sugar by *Lactobacillus* Spp. *Eur. J. Mol. Clin. Med.* 2021, 08, 712-723.

Maiouet, I., Mahi, K. E., Abouloifa, H., & Rhallabi, N. (2024). Technological characterization of lactic acid bacteria isolated from raw milk. *Deleted Journal*, 245(1). <https://doi.org/10.1007/s10751-024-02059-w>

Maleki, H.; Azimi, B.; Ismaeilmoghadam, S.; Danti, S. Poly(Lactic Acid)-Based Electrospun Fibrous Structures for Biomedical Applications. *Appl. Sci.* 2022, 12, 3192

Ojo, A. O., & De Smidt, O. (2023). Lactic Acid: A Comprehensive Review of Production to Purification. *Processes*, 11(3), 688. <https://doi.org/10.3390/pr11030688>

Peng, X., Ed-Dra, A., & Yue, M. (2022). Whole genome sequencing for the risk assessment of probiotic lactic acid bacteria. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(32), 11244-11262. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2087174>

Pinto, L. F. R., Ferreira, G. F., & Tasic, M. (2020). Cultivation techniques. In Elsevier eBooks (pp. 1-33). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821218-9.00001-3>

Plavec, T. V., & Berlec, A. (2020). Safety aspects of genetically modified lactic acid bacteria. <https://www.semanticscholar.org/paper/Safety-Aspects-of-Genetically-Modified-Lactic-Acid-Plavec-Berlec/80142f57fb26771b2adeb114402778a16d78149>

Pohanka, M. D-Lactic Acid as a Metabolite: Toxicology, Diagnosis, and Detection. *BioMed Res. Int.* 2020, 2020, 1-9.

Qiu, Z., Fang, C., Gao, Q., and Bao, J. (2020). A short-chain dehydrogenase plays a key role in cellulose D-lactic acid fermentability of *Pediococcus acidilactici*. *Bioresource Technol.* 297:122473. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122473  
Rahbar Saadat, Y., Yari Khosroushahi, A., and Pourghassem Gargari, B. (2019). A comprehensive review of anticancer, immunomodulatory and health beneficial effects of the lactic acid bacteria exopolysaccharides. *Carbohydr. Polym.* 217, 79-89. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.04.025

Rachwał, K., & Gustaw, K. (2024). Lactic acid bacteria in sustainable food production. *Sustainability*, 16(8), 3362. <https://doi.org/10.3390/su16083362>

Raj, T., Chandrasekhar, K., Kumar, A.N., & Kim, S.-H. (2022). Recent biotechnological trends in lactic acid bacterial fermentation for food processing industries. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 2:14-40. <https://doi.org/10.1007/s43393-021-00044-w>

Rama, G. R., Kuhn, D., Beux, S., Maciel, M. J., & De Souza, C. F. V. (2019). Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures. *International Dairy Journal*, 98, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.012>

Rana, A., & Thakur, V. (2024). Advances and new horizons in metabolic engineering of heterotrophic bacteria and cyanobacteria for enhanced lactic acid production. [https://www.semanticscholar.org/paper/Advances-and-new-horizons-in-metabolic-engineering-Rana-Thakur/cb81821bcc00b5038c76847b5607c4d7078ed1a0?utm\\_source=consensus](https://www.semanticscholar.org/paper/Advances-and-new-horizons-in-metabolic-engineering-Rana-Thakur/cb81821bcc00b5038c76847b5607c4d7078ed1a0?utm_source=consensus)

Rawoof, S.A.A.; Kumar, P.S.; Vo, D.-V.N.; Devaraj, K.; Mani, Y.; Devaraj, T.; Subramanian, S. Production of Optically Pure Lactic Acid by Microbial Fermentation: A Review. *Environ. Chem. Lett.* 2020, 19, 539-556.



Reshma, C. S., Remya, S., & Bindu, J. (2024). A review of exploring the synthesis, properties, and diverse applications of poly lactic acid with a focus on food packaging application. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 137905. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137905>

Robergs, R. A., Parker, D. L., & Ghiasvand, F. (2024, 11 septiembre). Bioquímica de la Acidosis Metabólica Inducida por el Ejercicio - Grupo Sobre Entrenamiento. *Grupo Sobre Entrenamiento - Líder Mundial en Información y Capacitación a Distancia en Ciencias del Ejercicio y Salud*. <https://g-se.com/es/bioquimica-de-la-acidosis-metabolica-inducida-por-el-ejercicio-781-sa-k57cfb2718432f>

Romero, A. M., & Capozzi, V. (2022). Aplicaciones biotecnológicas de bacterias ácido lácticas en la industria alimentaria y farmacéutica. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 24(2), 35-48.

Rozman, V., Lorbeg, P. M., Treven, P., Accetto, T., Golob, M., Zdovc, I., & Matijašič, B. B. (2022). Lactic acid bacteria and bifidobacteria deliberately introduced into the agro-food chain do not significantly increase the antimicrobial resistance gene pool. *Gut Microbes*, 14(1). <https://doi.org/10.1080/19490976.2022.2127438>

Rozman, V., Lorbeg, P. M., Treven, P., Accetto, T., Janežič, S., Rupnik, M., & Matijašič, B. B. (2023). Genomic insights into antibiotic resistance and mobilome of lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Life Science Alliance*, 6(4), e202201637. <https://doi.org/10.26508/lsa.202201637>

Sharma, A., Gupta, G., Ahmad, T., Kaur, B., & Hakeem, K.R. (2020). Tailoring cellular metabolism in lactic acid bacteria through metabolic engineering. *J. Microbiol. Methods*, 170:105862. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105862>

Sl, L. E. (2024, August 31). Breve Historia de los Probióticos. *Lamberts Española*. <https://lamberts.es/art-dsp/breve-historia-de-los-probioticos/>

Song, L., Liu, S., Liu, R., Yang, D., & Dai, X. (2022). Direct lactic acid production from household food waste by lactic acid bacteria. *The Science of the Total Environment*, 840, 156479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156479>

Suissa, R., Oved, R., Jankelowitz, G., Turjeman, S., Koren, O., & Kolodkin-Gal, I. (2021). Molecular genetics for probiotic engineering: dissecting lactic acid bacteria. *Trends in Microbiology*, 30(3), 293-306. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.07.007>

Swetha, T. A., Ananthi, V., Bora, A., Sengottuvelan, N., Ponnuchamy, K., Muthusamy, G., & Arun, A. (2023). A review on biodegradable polylactic acid (PLA) production from fermentative food waste - Its applications and degradation. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 234, 123703. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123703>

Tian, X., Chen, H., Liu, H., & Chen, J. (2021). Recent advances in lactic acid production by lactic acid bacteria. [https://www.semanticscholar.org/paper/Recent-Advances-in-Lactic-Acid-Production-by-Lactic-Tian-Chen/a3b297c87b1b9b118ef631f5094023e1886aac53?utm\\_source=consensus](https://www.semanticscholar.org/paper/Recent-Advances-in-Lactic-Acid-Production-by-Lactic-Tian-Chen/a3b297c87b1b9b118ef631f5094023e1886aac53?utm_source=consensus)

Tong, K. T. X., Tan, I. S., Foo, H. C. Y., Lam, M. K., Lim, S., & Lee, K. T. (2022). Advancement of biorefinery-derived platform chemicals from macroalgae: a perspective for bioethanol and lactic acid. *Biomass Conversion And Biorefinery*, 14(2), 1443-1479. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02561-7>

Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., Bai, X., Xie, J., Wang, Y., & Geng, W. (2021). Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.612285>



Xie, Z., McAuliffe, O., Jin, Y., & Miller, M. J. (2024). Genomic Modifications of Lactic Acid Bacteria and Their Applications in Dairy Fermentation. *Journal Of Dairy Science*, 107(11), 8749-8764. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24989>

Yankov, D. Fermentative Lactic Acid Production from Lignocellulosic Feedstocks: From Source to Purified Product. *Front. Chem.* 2022, 10, 1-34.

Yap, P. G., Lai, Z. W., & Tan, J. S. (2022). Bacteriocins from lactic acid bacteria: purification strategies and applications in food and medical industries: a review. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s43088-022-00227-x>

Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M., Harris, H. M., Mattarelli, P., et al. (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*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 70, 2782-2858. doi: 10.1099/ijsem.0.004107

**Declaración de Conflicto de Intereses:** Los autores declaran que no presentan conflictos de intereses relacionados con este estudio y confirman que todos los procedimientos éticos establecidos por esta revista han sido rigurosamente respetados. Asimismo, garantizan que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra revista académica.