

Bacterias ácido-lácticas; usos y aplicaciones en medicina veterinaria

Acid lactic bacteria; uses and applications in veterinary medicine

Jacqueline Yolanda Licon-Island^a, Diana Laura Espinoza-Sarabia^a, Angelica Jocelin Cruz-Enciso^a, Gabriela Medina-Pérez^a, Luisa Monserrat García-Vázquez^a, Armando Zepeda-Bastida^{a*}

Abstract:

Lactic acid bacteria (LAB) constitute a diverse group of microorganisms characterized by the production of lactic acid as their main fermentation product, thereby playing a significant role in various biotechnological sectors. Traditionally, they have been used in the food industry for their ability to improve the sensory and nutritional properties of food and enhance its preservation. However, in recent years, scientific interest has expanded to include applications in veterinary medicine, particularly their potential as probiotics, antimicrobial agents, and/or biopreservatives. In this context, LAB have demonstrated beneficial effects on animal health, including modulation of the gut microbiota, stimulation of the immune system, and inhibition of pathogenic microorganisms, positioning them as a promising alternative to antibiotics in livestock production. Furthermore, their use can be extended to the preservation of forage (silage) and the utilization of agricultural byproducts. This review analyses the main characteristics of LAB and their applications in veterinary medicine, with an emphasis on their use in animal production systems. In addition, techniques for isolating and evaluating LAB in animal models are discussed, highlighting their application to species of interest in animal production.

Keywords:

Lactic acid bacteria, Probiotics, Veterinary medicine, Animal health, Antimicrobials

Resumen:

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) constituyen un grupo diverso de microorganismos caracterizados por la producción de ácido láctico como principal producto de la fermentación, lo que les confiere un papel relevante en distintos sectores biotecnológicos; tradicionalmente, han sido utilizadas en la industria alimentaria debido a su capacidad para mejorar las propiedades sensoriales, nutricionales y conservación de los alimentos; sin embargo, en años recientes, el interés científico se ha ampliado hacia la aplicación en el ámbito veterinario, particularmente por su potencial como probióticos, agente antimicrobiano y/o bio-conservador. En este contexto, las BAL han demostrado efectos benéficos en la salud animal, incluyendo la modulación de la microbiota intestinal, la estimulación del sistema inmunológico y la inhibición de microorganismos patógenos, lo que las posiciona como una alternativa prometedora frente al uso de antibióticos en la producción pecuaria; asimismo, su uso puede extenderse a la conservación de forrajes (ensilaje) y al aprovechamiento de subproductos agropecuarios. La presente revisión tiene como objetivo analizar las principales características de las BAL, así como sus aplicaciones en la medicina veterinaria, con énfasis en su uso en sistemas de producción animal; además, se abordan técnicas de aislamiento y evaluación de las bacterias en modelos animales, destacando su aplicación en especies de interés productivo.

Palabras Clave:

Bacterias ácido-lácticas, Probióticos, Medicina veterinaria, Salud animal, Antimicrobianos

1. Introducción

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) constituyen un grupo heterogéneo de microorganismos ampliamente distribuidos en diversos ecosistemas. Se caracterizan por ser bacterias

Gram positivas, con morfología de cocos o bacilos. El principal producto de su metabolismo es el ácido láctico, formado por fermentación. Por esta característica, han sido empleadas tradicionalmente en la industria alimentaria durante siglos [1].

^aInstituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México, <https://orcid.org/0009-0004-2244-4056> li296023@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0005-0466-3850> dianalauraespinoza84@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-8282-0426> ajce23@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8673-941X> gabriela_medina@uaeh.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-4600-7446> ibt.garval@gmail.com.

^{a*}Autor de Correspondencia, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México. Armando Zepeda-Bastida <https://orcid.org/0000-0003-0572-5206> azepeda@uaeh.edu.mx

Fecha de recepción: 03/07/2026, Fecha de aceptación: 19/03/2026, Fecha de publicación: 05/07/2026

Desde su reconocimiento y uso en distintas regiones de Asia, África y Europa, las BAL han desempeñado un papel relevante en la fermentación de alimentos y bebidas, incluyendo productos lácteos, cárnicos y vegetales, contribuyendo a la mejora de sus propiedades sensoriales y valor nutricional; así mismo, un amplio número de especies de BAL es considerado seguro para su uso, lo que ha favorecido su incorporación en diversos procesos biotecnológicos, entre sus principales funciones destacan la producción de compuestos con actividad antifúngica y antibacteriana, así como su aplicación en la elaboración de ensilajes; no obstante, su relevancia trasciende al ámbito alimentario, ya que en años recientes se ha incrementado el interés por su potencial en la salud humana y animal [2]. En este contexto, uno de los usos más importantes de las BAL es su empleo como probiótico; de acuerdo con la FAO [3], un probiótico se define como “un microorganismo vivo que, cuando se administra en cantidades adecuadas, confiere beneficios a la salud del huésped”; cabe mencionar que algunos géneros como *Enterococcus* que han sido utilizados en aplicaciones biotecnológicas y probióticas, han sido asociados con riesgos potenciales para la salud humana y animal, debido a su capacidad de portar factores de virulencia y genes de resistencia antimicrobiana [4].

Por otra parte, el incremento sostenido de la resistencia antimicrobiana, asociado al uso indiscriminado de antibióticos como promotores de crecimiento y agentes terapéuticos en la producción animal, ha generado preocupación a nivel mundial; esta problemática no solo impacta en la eficacia de los tratamientos, sino que también puede alterar el equilibrio de la microbiota benéfica, incluyendo poblaciones de BAL, bajo este escenario, las BAL han cobrado relevancia como una alternativa biotecnológica viable, al contribuir a la inhibición de microorganismos patógenos mediante mecanismos naturales, reduciendo así la dependencia de compuestos farmacológicos y favoreciendo sistemas de producción más sostenibles [4].

Diversas investigaciones han documentado que las BAL poseen un amplio potencial funcional en la salud animal, entre sus aplicaciones destacan efectos antiparasitarios y antivirales, así como su capacidad para actuar como promotores de crecimiento en sistemas pecuarios y como coadyuvantes en el tratamiento de trastornos gastrointestinales como diarreas; estos efectos se

atribuyen, en gran medida, a la producción de metabolitos bioactivos, a la modulación de la microbiota intestinal y a la interacción con el sistema inmunológico del huésped. No obstante, a pesar de los avances reportados, es necesario profundizar en estudios experimentales y clínicos que permitan esclarecer los mecanismos de acción específicos, la variabilidad entre cepas y las condiciones óptimas de aplicación, con el fin de consolidar su uso de manera más precisa y estandarizada en el ámbito veterinario [5–12]. En este contexto, el presente trabajo brinda información sobre las características y generalidades de las BAL, así como sobre sus usos y aplicaciones en la salud animal.

2. Generalidades

Las BAL son un grupo heterogéneo de microorganismos no patógenos que comparten características morfológicas, fisiológicas y metabólicas. Presentan generalmente forma de cocos o bacilos, que pueden llegar a poseer un tamaño que va de 0,5 a 0,8 μm , son bacterias Gram positivas, no móviles y no formadoras de esporas, su metabolismo respiratorio es anaerobio, aunque son también aerotolerantes y en medios sólidos forman colonias; así mismo, por la falta de la enzima citocromo catalasa, carecen de actividad respiratoria y poseen un grupo hemina, lo que le brinda la posibilidad de activar la cadena respiratoria, no reducen nitratos, son catalasa y oxidasa negativas y es el ácido láctico el principal producto obtenido de la fermentación de azúcares [1, 4-5, 11-13]. Estas bacterias son ácidos tolerantes y crecen dentro de un amplio rango de pH, que va desde 3.2 hasta 9 (utilizando mecanismos como la regulación del pH citoplasmático), desarrollándose la mayoría entre 4 y 4.5. El rango óptimo de temperatura en que estas bacterias crecen es dependiente del microorganismo a utilizar, sin embargo, gran parte de éstas poseen requerimientos específicos para su desarrollo, son quimioorganotrofos, es decir, que obtienen energía por medio de la oxidación de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, y crecen en medios que contienen carbohidratos (lactosa, maltosa, dextrosa) como fuentes primarias de carbón y energía, fuentes de nitrógeno (como el extracto de levadura, proteína de suero, peptona o extracto de carne), agentes tampón (como el glicerofosfato disódico) y surfactantes [1, 14, 15]. Las BAL se encuentran en una gran cantidad de sitios en el medio ambiente; han sido aisladas de

alimentos, principalmente de leche, vegetales y carne, y también de tierra, y forman parte del tracto gastrointestinal y genitourinario de humanos y animales [5,11]. Si bien no todas las especies de BAL son aptas para el uso en distintas industrias, la gran mayoría son clasificadas como generalmente seguro para su uso, gracias a que se encuentran en la microbiota de las mucosas de manera natural y su incorporación en alimentos o productos de consumo humano se asocia con efectos benéficos, ya que estas bacterias no actúan directamente en el alimento una vez ingerido, sino que, tras su consumo, entran en contacto con el tracto gastrointestinal, donde pueden adherirse al epitelio intestinal o interactuar con la microbiota residente, en este nicho, las BAL llevan a cabo sus procesos metabólicos y funcionales, contribuyendo a efectos positivos en la salud del huésped; por ello, son ampliamente utilizadas en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética [4, 13, 16].

Las BAL se clasifican con base en el producto final obtenido de la fermentación de carbohidratos, lo que las divide en homofermentativas y heterofermentativas:

Homofermentativas: realizan la glucólisis por medio de la vía Embden-Meyerhof-Parnas (EMP), debido a que poseen la enzima aldolasa, y el ácido láctico es el único producto de la fermentación de los azúcares; esta vía sintetiza dos moléculas de ATP por cada molécula de glucosa producida. En este grupo encontramos algunas especies de *Streptococcus* y *Pediococcus*.

Heterofermentativas: además de producir ácido láctico como resultado del metabolismo de los azúcares, originan también etanol, dióxido de carbono o ácido acético, por medio de la vía 6-fosfogluconato/fosfoacetolasa (6-PG/PK); esta vía produce una sola molécula de ATP por cada molécula de glucosa generada. Dentro de este grupo encontramos especies de *Lactobacillus* y *Leuconostoc* [5,13,17].

3. Usos de las BAL

Ensilados

Para conservar los forrajes utilizados en la alimentación de diversos tipos de ganado se utiliza el ensilaje, basado en la fermentación ácido-láctica en condiciones anaerobias, para dichos procesos, se utilizan especies homofermentativas como el *Enterococcus faecium* y *Enterococcus pediococcus*, debido a

su eficiente utilización de carbohidratos hidrosolubles, producción rápida de ácido láctico y disminución rápida del pH; por otro lado, también se han utilizado especies heterofermentativas como *Lactobacillus buchneri*, que produce altas concentraciones de ácido acético, lo que provoca la inhibición del crecimiento de hongos, ayudando a preservar el ensilaje; se ha demostrado que inocular 105-106 millones de bacterias ácido-lácticas por gramo de cosecha, son suficientes para el ensilaje [1]. Respecto al ensilaje de pescado, el cual se realiza mediante la adición de ácidos inorgánicos, orgánicos o mezclas de ambos, se han usado bacterias ácido-lácticas que utilizan la melaza como fuente de carbohidratos para producir ácido láctico, obteniéndose un suplemento proteínico de alta calidad para la alimentación de los animales, el cual puede almacenarse a temperatura ambiente por tiempo prolongado, sin reducir su valor nutricional y su calidad [18]. En ensilajes tropicales con el fin de contribuir al incremento de su calidad nutrimental, se han empleado aditivos biológicos, como *Pediococcus acidilactici* y *Lactobacillus plantarum* que sirven de inóculo para *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum*; obteniendo una mejora en la calidad fermentativa debido a la disminución de la producción de metabolitos indeseables, tales como el ácido acético, ácido butírico y el nitrógeno amoniacal, lo que se refleja en un incremento significativo en la palatabilidad y la digestibilidad, particularmente cuando se usó *Pediococcus acidilactici* [19].

Descontaminación de estiércol porcino

Una opción biotecnológica para el tratamiento de las heces de origen animal, que pueden generar contaminación y problemas de salud humana y animal, es el ensilaje del estiércol porcino mediante BAL; se sabe que el producto resultante de este proceso puede ser aprovechado como ingrediente alternativo en la alimentación de los animales sin disminuir la productividad ni la calidad de los productos [20].

Generación de abono orgánico líquido

De acuerdo con estudios previos, el aprovechamiento de excretas en sistemas agropecuarios forma parte de ciclos naturales de reciclaje de nutrientes; sin embargo, su aplicación directa sobre el suelo no siempre resulta eficiente, ya que requiere de un proceso previo de estabilización; en este sentido, se ha

demostrado que el pretratamiento térmico de excretas frescas de ganado lechero a 80°C durante 15 minutos, seguido de una fermentación anaerobia con BAL de los géneros *Lactobacillus*, *Streptococos* y *Bifidobacterium*, permite obtener, aproximadamente al quinto día, un abono orgánico líquido, este proceso favorece la transformación y disponibilidad de nutrientes, generando un producto más estable y apto para su uso en cultivos y otros procesos biológicos [21].

Alimentación animal

Las BAL más utilizadas en la producción animal son *Lactobacillus pentosus* y *Lactobacillus acidophilus*; *Lactobacillus pentosus* ha sido usado en la preparación de alimentos fermentados y ha mostrado ser un potenciador del proceso digestivo, así como un antimicrobiano y un descontaminante del medio ambiente, por la segregación de metabolitos [22].

Modulación del sistema inmunológico

Se ha demostrado que algunos componentes celulares de BAL tienen efectos inmunomoduladores, activan a los macrófagos y linfocitos, aumentando los niveles de IgA y la producción de interferón gama, lo que contribuye a la resistencia a los patógenos por parte del huésped, por ejemplo, *Bifidobacterium breve* aislada de heces humanas y usada en ratones, mostró el aumento en la concentración de IgA, así como un aumento significativo en la protección contra los rotavirus [18].

Producción de ácido linoleico conjugado (ALC)

Entre los diferentes efectos benéficos de BAL-ALC en animales se encuentran el efecto anti-obesogénico y antiinflamatorio; se ha demostrado que ratones tratados por ocho semanas con una dieta alta en grasa (45%) e inoculados con *Lactobacillus rhamnosus*, disminuyeron su peso corporal sin disminuir la ingesta, lo que causó una disminución significativa del tejido adiposo con respecto a los ratones alimentados solo con la dieta alta en grasa; así mismo, *Lactobacillus plantarum* en combinación con una dieta alta en grasa (45%), disminuyó los niveles de glucosa total en sangre y triglicéridos, así como de tejido adiposo blanco epididimal, inguinal, mesentérico, perirrenal y el peso de ratones bajo estudio, en comparación con los ratones alimentados solo con la dieta alta en grasa [13].

4. Compuestos antimicrobianos producidos por BAL

La capacidad conservadora de las BAL se debe a su habilidad para inhibir una amplia variedad de microorganismos patógenos, mediante la producción de diversos metabolitos generados durante su proceso fermentativo; entre estos compuestos podemos mencionar los ácidos orgánicos, tales como el ácido láctico y el ácido acético, el peróxido de hidrógeno, el diacetilo, las bacteriocinas y otros productos derivados de la acción de la enzima lactato peroxidasa sobre el peróxido de hidrógeno y el tiocianato [13], producido por bacterias heterofermentativas como resultado del metabolismo de los azúcares, proveyendo de un ambiente ácido al medio donde se desarrollan, lo que inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos de forma más efectiva [23]. A continuación, mencionamos algunos de estos compuestos:

Ácido cítrico

Producido por *Leuconostoc citrovorum* y *Streptococcus diacetylactis*, debido a que transforman el ácido cítrico en productos aromáticos, como la acetoína y el diacetilo, además de brindar sabor y aroma a los productos lácteos, el ácido cítrico también tiene la capacidad de inhibir el crecimiento microbiano, ya que disminuye el pH del medio, lo que impide el desarrollo de patógenos en los alimentos [23].

Ácido láctico

Es el metabolito principal producido; se trata de un ácido de tres carbonos α -hidroxicarboxílico que tiene una variedad de aplicaciones en la industria alimentaria, relacionado principalmente con la fermentación. Descubierta por Scheele, en el año 1780, el ácido láctico es un líquido incoloro, que forma parte de la sangre y músculos de los animales; la producción de ácido láctico de estas bacterias, junto a otros ácidos orgánicos, resultan en una disminución del pH del medio en donde éstas se encuentran, ocasionando la inhibición de microorganismos patógenos debido a que el bajo pH vuelve a estos ácidos orgánicos liposolubles, lo que les brinda la posibilidad de adentrarse en la membrana celular y llegar al citoplasma bacteriano [24-26].

Peróxido de hidrógeno

Ha sido descrito como un producto biocida, cuyos usos se centran en la preservación de los

alimentos, principalmente; el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) es producido por las bacterias del género *Lactococcus*, por medio de la NADH oxidasa, que oxida el NADH usando el oxígeno molecular, actúa como un oxidante, liberando radicales libres que destruyen componentes celulares de importancia, así como proteínas y lípidos, causando deterioro en el ADN; sin embargo, y a pesar de que posee un efecto inhibitorio del crecimiento de microorganismos, así como preservante, el peróxido de hidrógeno es reconocido como un elemento menos viable para su aplicación en alimentos, puesto que puede afectar de forma negativa las características organolépticas de estos, así como es nocivo para las células de los mamíferos [27].

Bacteriocinas

Las bacteriocinas son metabolitos de las BAL y se definen como péptidos que poseen una actividad antimicrobiana de amplio espectro, inhibiendo el crecimiento de bacterias pues compiten con éstas por los nutrientes de su entorno, estos péptidos son originados en los ribosomas, siendo después secretados hacia el medio extracelular; se trata de pequeñas moléculas constituidas por 30 a 60 aminoácidos, que son diversas en cuanto a su estructura, actividad, forma de acción, mecanismos de biosíntesis, peso molecular y regulación de genes, los residuos de histidina, arginina y lisina les brindan su carácter catiónico, son hidrofóbicas y actúan sobre la membrana citoplasmática de otras bacterias, formando poros que provocan la pérdida de la fuerza motriz de protones y por consecuencia, la interrupción de procesos esenciales como la síntesis de ATP [28-31].

Las bacteriocinas son las más estudiadas debido a sus múltiples usos en la industria alimentaria. Gracias a su clasificación como generalmente seguras para su uso, estos microorganismos son empleados como conservadores naturales de los alimentos, como cultivos starter, como inhibidores de crecimiento microbiano, así como también como probióticos. Las bacteriocinas se dividen en tres clases según su estructura y forma de actuar: la clase I posee lantionina; en la clase II se encuentran las bacteriocinas de menor tamaño, estables al calor y que no poseen péptidos de lantionina; y la clase III, donde se encuentran las bacteriocinas largas de mayor peso molecular, que poseen enzimas líticas [32-35]. Las bacteriocinas sirven como probióticos,

los cuales tienen distintos mecanismos de acción, ya sea ayudando a la regulación del sistema inmune del huésped, produciendo sustancias que inhiben el desarrollo de microorganismos nocivos o fortaleciendo la barrera intestinal; las formas en que las bacteriocinas pueden contribuir a la acción probiótica son variadas, fungiendo como péptidos colonizadores del tracto gastrointestinal, actuando como péptidos que inhiben patógenos o como marcadores celulares, que permiten a las bacterias residentes del intestino sincronizar su funcionamiento, lo que facilitaría su funcionalidad celular. Las bacteriocinas más estudiadas son las generadas por *Lactobacillus* spp., que poseen actividad antimicrobiana contra bacterias Gram negativas y, en ocasiones, contra bacterias Gram positivas [34-36].

Exopolisacáridos

Los exopolisacáridos (EPS) son macromoléculas extracelulares de cadena larga, compuestas principalmente por unidades de azúcares o sus derivados, que pueden estar asociadas o sustituidas por otros componentes, como proteínas, ADN y fosfolípidos. Sus características no son homogéneas, pues varían en peso, estructura molecular, masa, tamaño, carga y propiedades reológicas. Los EPS se clasifican en dos grupos: 1) los homopolisacáridos, son aquellos que se encuentran formados por un único tipo de monosacárido y cuyos monómeros forman estructuras lineales o ramificadas y 2) los heteropolisacáridos, constituyen la mayoría de los EPS producidos por las BAL y que se encuentran formados de tres a ocho unidades repetidas, compuestas por dos o más polisacáridos cada una, cuya composición de azúcar, longitud de cadena y presencia o repetición de unidades y sustituciones, afecta las propiedades tecnológicas y biológicas del mismo [37-41]. Los EPS provenientes de las BAL cumplen distintos papeles en la producción de alimentos, gracias a los atributos que poseen, como su capacidad emulsificante, sus propiedades gelificantes y estabilizantes, su capacidad de retención de humedad, viscosidad e inhibición de la cristalización del azúcar; sin embargo, estas macromoléculas no sólo cumplen funciones de mejora en los alimentos, sino que también se han investigado sus usos en la medicina, donde tienen uso como prebióticos, ya que actúan como un sustrato para los microorganismos existentes en el tracto gastrointestinal; como antioxidantes, debido a

que poseen actividad contra compuestos de radicales libres como el 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) o radicales superóxido; anti-biofilm de microorganismos patógenos, puesto que compiten con estas bacterias nocivas por la adhesión al epitelio intestinal, así como por los nutrientes existentes en él, lo que inhibe el crecimiento de colonias patógenas; como una alternativa para reducir el colesterol por medio de distintos mecanismos, como son la desconjugación de las sales biliares, la producción de ácidos grasos de cadena corta, la asimilación del colesterol en las membranas celulares o la conversión del colesterol en cloprostenol; fagocitosis, reconocimiento celular, auxiliares en la inmunomodulación, gracias a que afectan la inmunidad innata y humoral; entre otros [7, 38, 41, 42].

Diacetilo

El diacetilo es un metabolito final producido por ciertas BAL a partir del piruvato; esta capacidad biosintética se encuentra presente en especies de los géneros *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* y *Pediococcus*. Este compuesto es conocido tanto por su efecto antimicrobiano como por su característico aroma a mantequilla, que contribuye al perfil sensorial de los productos lácteos fermentados; no obstante, su aplicación como agente conservador en alimentos es limitada, dado que se requieren concentraciones elevadas para lograr una eficacia significativa [43, 44].

Acetaldehído

Este compuesto se genera durante el metabolismo de los carbohidratos por BAL de tipo heterofermentativo y posteriormente es reducido a etanol mediante la re-oxidación de nucleótidos de piridina; se ha documentado su capacidad inhibitoria frente a ciertos patógenos, observándose efectos antimicrobianos en concentraciones que oscilan entre 10 y 100 ppm [43, 44].

Reuterina

Se trata de un compuesto de bajo peso molecular, altamente soluble y de pH neutro, sintetizado por la especie heterofermentativa *Lactobacillus reuteri*. Este metabolito presenta un amplio espectro de actividad antimicrobiana, mostrando eficacia frente a bacterias Gram

positivas y Gram negativas, así como contra levaduras y hongos filamentosos [43, 44].

5. Aplicación en la medicina veterinaria

Como ya se ha explicado, las BAL tienen múltiples aplicaciones en distintas industrias comerciales, así como en la medicina veterinaria; distintos usos se dan a estos microorganismos dentro de la ganadería, destacando el uso como probióticos y la actividad antimicrobiana que las bacterias ejercen en el tracto gastrointestinal, debido a sus múltiples metabolitos, son también una de las alternativas más recientes para evitar el uso de fármacos como promotores de crecimiento en los animales [7].

Uno de los enfoques más importantes del uso de antimicrobianos y probióticos naturales es sustituir el uso de antibióticos como tratamiento para distintas enfermedades, así como reducir su empleo como promotores del crecimiento en la crianza de animales para consumo humano, con el fin de combatir la creciente resistencia que las bacterias han desarrollado, debido a la escasa regulación de estos fármacos. Harris y colaboradores [45] estudiaron la actividad antimicrobiana de distintas cepas de BAL contra *Listeria monocytogenes* en alimentos, entre las cuales se encontraban cepas de los géneros *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Lactococcus*. Se encontró que, de las 14 cepas de BAL utilizadas, sólo *Lactobacillus* spp. (UAL11), *Lactococcus* (ATCC 11454 y SIK83), *Leuconostoc* spp. (UAL14), *Pediococcus* (PAC 1.0, FBB61-1 y L-7230) inhibieron a *L. monocytogenes*.

Wang y colaboradores [46] evaluaron la capacidad de *Lactobacillus acidophilus* como agente previsor de infecciones causadas por *Vibrio cholerae* en conejos lactantes, demostrando que la administración de probióticos a animales infectados brinda beneficios a estos, como la disminución de la pérdida de peso de los conejos enfermos, seguido de una ganancia de peso gradual y posterior recuperación en comparación con los conejos no tratados, aumentando sus posibilidades de supervivencia. Por otro lado, Shen y colaboradores [47] buscaron en las BAL una alternativa para la prevención de la enfermedad hemorrágica de conejo, una de las enfermedades más importantes en la cunicultura, los resultados obtenidos mostraron que se puede

brindar una vacunación oral efectiva a los animales, induciendo respuesta inmune humoral y en la mucosa del tracto digestivo, representando una alternativa a las vacunas de aplicación intramuscular, las cuales representan un riesgo para los conejos de no ser aplicadas adecuadamente.

El uso de BAL como probióticos en especies de interés pecuario, particularmente en aves, ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la salud intestinal y la productividad, ya que ejercen efectos benéficos mediante la inhibición de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp* y *Listeria monocytogenes*, además de presentar características deseables como resistencia a condiciones gastrointestinales (pH ácido y sales biliares) y capacidad de agregación, lo que favorece su establecimiento en el tracto digestivo; en conjunto, estas propiedades contribuyen a la reducción del uso de antibióticos en la producción avícola, promoviendo sistemas más sostenibles [49].

En otras especies, como los conejos, las BAL han sido utilizadas principalmente con el objetivo de mejorar la eficiencia alimenticia, la salud metabólica y la estabilidad de la microbiota intestinal, su inclusión en la dieta mostró un incremento en la digestibilidad de nutrientes, particularmente la proteína, así como efectos hipocolesterolémicos en animales sometidos a dietas específicas; así mismo, se ha documentado que estas bacterias pueden modular la respuesta inmunológica, evidenciado por el aumento en inmunoglobulinas IgG e IgM y por cambios en poblaciones de mastocitos. Adicionalmente, la administración de BAL en conejos en crecimiento ha mostrado efectos positivos en la salud intestinal, incluyendo una disminución de la incidencia de diarreas y una modulación favorable de la microbiota del tracto digestivo. Estos hallazgos evidencian el posible papel multifuncional de las BAL en la producción animal, al contribuir tanto al rendimiento productivo como al bienestar animal [50–52].

6. Conclusiones

El uso de bacterias ácido-lácticas en la industria alimentaria ha sido ampliamente documentado, principalmente por su capacidad para preservar los alimentos y mejorar sus características sensoriales, entendidas como aquellas

propiedades relacionadas con el sabor, aroma, textura y aceptabilidad de los productos fermentados; no obstante, la relevancia de estos microorganismos trasciende este ámbito, extendiéndose hacia aplicaciones en la medicina veterinaria y la producción animal, desempeñando un papel fundamental como probióticos, contribuyendo al equilibrio de la microbiota intestinal y fortaleciendo la respuesta inmunológica, que como consecuencia, los animales presentan un mejor desempeño productivo, menor incidencia de enfermedades y una reducción en la necesidad del uso de antibióticos, lo que representa una estrategia viable frente a la problemática global de la resistencia antimicrobiana. Adicionalmente, sus metabolitos les confieren propiedades antimicrobianas que refuerzan su potencial como alternativa biotecnológica; recientemente se ha explorado su uso como vectores en el desarrollo de biotecnologías innovadoras, como es el caso de *Lactobacillus casei* empleado para la expresión de la proteína capsular VP60 (VP1) del virus de la enfermedad hemorrágica del conejo. Este tipo de aplicaciones abre nuevas perspectivas en la prevención de enfermedades mediante estrategias más seguras y dirigidas; sin embargo, es importante considerar que el desarrollo de estas herramientas biotecnológicas debe evaluarse cuidadosamente, especialmente en lo referente a los métodos de inserción genética y su posible asociación con genes de resistencia a antibióticos, a fin de evitar efectos contraproducentes. Por todo lo anterior, el aprovechamiento de las bacterias ácido-lácticas representa un enfoque integral para sistemas de producción más sostenibles, en los que la salud animal se promueve de manera preventiva, reduciendo la dependencia de fármacos y favoreciendo la obtención de productos de origen animal más seguros para el consumo humano.

Agradecimientos

A los integrantes del Cuerpo Académico de Biotecnología Veterinaria del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Conflicto de intereses

No existe conflictos de intereses

Referencias

- [1] Parra R.A.H. Review Lactic Acid Bacteria: Functional role in the foods. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial. 2010, 8(1):93-105.

- <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/articulo/view/724>
- [2] Wyszynska A, Kobierecka P, Bardowski J, Jajuszyn-Krynicka E. Lactic acid bacteria-20 years exploring their potential as live vectors for mucosal vaccination. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2015, 99(10): 4531. DOI:10.1007/s00253-015-6498-0.
 - [3] FAO. Health and Nutrition Properties of Probiotics in Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria. 2002. ISSN 0254-4725 <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/382476b3-4d54-4175-803f-2f26f3526256/content>
 - [4] Vieco-Saiz N, Belguesmia Y, Raspoet R, Auclair E, Gancel F, Kempf I, Drider D. Benefits and Inputs From Lactic Acid Bacteria and Their Bacteriocins as Alternatives to Antibiotic Growth Promoters During Food-Animal Production. *Front Microbiol.* 2019, 10:57. DOI:10.3389/fmicb.2019.00057
 - [5] Fernández DR, Parra YRG. Aislamiento de bacterias ácido-lácticas obtenidas de leches y queso de Paraguay. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Itapúa. Encarnación, Paraguay. 2020. <http://hdl.handle.net/20.500.14066/3142>
 - [6] Ruiz MJ. Aislamiento e identificación de bacterias ácido lácticas con actividad inhibitoria de bacterias implicadas en enfermedades transmitidas por alimentos. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. 2019. <https://www.riada.unicen.edu.ar/items/6c119f01-7f09-431a-8003-939fc6a45260>
 - [7] Landa P, Caballero Y, Ramírez E, Hernández A, Ramírez L, Espinosa D, Hernández D. Aislamiento e identificación de bacterias ácido lácticas con potencial probiótico para becerros del altiplano mexicano. *Revista mexicana de ciencias pecuarias.* 2019, 10(1):68-83, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4512>
 - [8] Mays Z, Nair N. Synthetic biology in probiotic lactic acid bacteria: at the frontier of living therapeutics. *Current opinion in biotechnology* 2018, 53:224-231. DOI:10.1016/j.copbio.2018.01.028.
 - [9] Bintsis T. Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *AIMS Microbiology* 2018, 4(4):665-684. DOI:10.3934/microbiol.2018.4.665
 - [10] Hatti-Kaul R, Chen L, Dishisha T, Enshasy HE. Lactic acid bacteria: from starter cultures to producers of chemicals. *FEMS Microbiol Lett.* 2018, 365(20). DOI:10.1093/femsle/fny213.
 - [11] Özogul F, Hamed I. The importance of lactic acid bacteria for the prevention of bacterial growth and their biogenic amines formation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2018, 58(10):1660-1670. DOI:10.1080/10408398.2016.1277972.
 - [12] Adetoye A, Pinloche E, Adeniyi B, Ayeni F. Characterization and anti-salmonella activities of lactic acid bacteria isolated from cattle faeces. *BMC microbiology* 2018, 18(1):96. DOI:10.1186/s12866-018-1248-y.
 - [13] Sánchez L, Tromps J. Caracterización in vitro de bacterias ácido lácticas con potencial probiótico. *Revista de salud animal* 2014, 36(2):124-129. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2014000200008&lng=es&tlng=es
 - [14] Hayek S, Gyawali R, Aljaloud S, Krastanov A, Ibrahim S. Cultivation media of lactic acid bacteria used in dairy products. *Journal of Dairy Research* 2019, 86(4):490-502. DOI:10.1017/S002202991900075X.
 - [15] Carrasco MS, Scarinci HE, Simonetta A. Antibacterial activity of lactic acid bacteria isolated from Argentinian dairy products. *Australian Journal of Dairy Technology.* 2002, 57(1):15-19. https://www.researchgate.net/publication/286749704_Antibacterial_activity_of_lactic_acid_bacteria_isolated_from_Argentinian_dairy_products
 - [16] Ju SY, Kim JH, Lee PC. Long-term adaptive evolution of *Leuconostoc mesenteroides* for enhancement of lactic acid tolerance and production. *Biotechnol Biofuels.* 2016, 9:240. DOI: 10.1186/s13068-016-0662-3.
 - [17] Agurto T, Ramos J. Bacterias ácido lácticas: biopreservante de los alimentos. *Biotempo.* 2008, 8: 54-64. <https://orcid.org/0000-0002-9713-2653>
 - [18] Ramirez JCR, Rosas PU, Velazquez MYG, Ulloa JA, Arce FR. Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente.* 2011, 7:1-16. https://uniclanet.unicla.edu.mx/assets/contenidos/7192024061514475_2.pdf
 - [19] Shah AA, Xianjun Y, Zhihao D, Junfeng L, Sao T. Microbiological and chemical profiles of elephant grass inoculated with and without *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. *Arch Microbiol.* 2008, 200:311-328. <https://doi.org/10.1007/s00203-017-1447-1>
 - [20] Ruvalcaba-Gómez JM, Arteaga-Garibay RI, Domínguez-Araujo G, Galindo-Barboza AJ, Salazar-Gutiérrez G, Martínez-Peña MD, Delgado-Macuil RJ. Uso de bacterias ácido-lácticas para descontaminación de estiércol porcino mediante ensilaje experimental. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 2019, 35(1):247-257. DOI:10.20937/RICA.2019.35.01.18.
 - [21] Peralta V, Morales J, Meza V. Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada* 2016, 15(1):1-10. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162016000100001&ing=es&tlng=es
 - [22] Uña FI, Sánchez IO, Pedraza RO, Arenal AC. *Lactobacillus pentosus* en la alimentación animal. Artículo de revisión. *Rev. Prod. Anim.* 2017, 29(1):7-15. <file:///C:/Users/arman/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownload/s/7b2b9fcd-5e6f-4ff2-8e40-56f6bb80e510/147170102.pdf>
 - [23] [Özcelik S, Kuley E, Özogul F. Formation of lactic, acetic, succinic, propionic, formic and butyric acid by lactic acid bacteria. *Food Science and Technology.* 2016, 73:536-542. DOI:10.1016/j.lwt.2016.06.066
 - [24] Eiteman M, Ramalingam S. Microbial production of lactic acid. *Biotechnol Lett* 2015, 37(5):955-72. DOI:10.1007/s10529-015-1769-5.
 - [25] Saranraj P, Naidu MA, Sivasakthivelan P. Lactic Acid Bacteria and its Antimicrobial Properties: A Review. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives.* 2013, 4(6):1124-1133. <file:///C:/Users/arman/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownload/s/fa0fe08e-7488-4041-89e5-e0f2d91ff71d/Saranraj57.pdf>
 - [26] Djadouni F, Kihal M. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria and the spectrum of their biopeptides against spoiling germs in foods. *Brazilian Archives of Biology and Technology.* 2012, 55(3):235-444. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000300015>
 - [27] Zhang C, Zhang Z, Liu W, Guo T, Gu R, Kong J. Potential application and bactericidal mechanism of lactic acid-hydrogen peroxide consortium. *Appl Biochem Biotechnol.* 2019, 189(3):822-833. DOI:10.1007/s12010-019-03031-z.
 - [28] Ibrahim O. Classification of antimicrobial peptides bacteriocins, and the nature of some bacteriocins with potential applications in food safety and bio-pharmaceuticals. *EC Microbiology.* 2018, 17(7):591-608. ECI-15-00677.pdf
 - [29] Heredia-Castro P, Hernández-Mendoza A, Gonzáles-Córdova A, Vallejo-Cordoba B. Bacteriocinas de bacterias ácido lácticas: mecanismos de acción y actividad antimicrobiana contra patógenos en quesos. *Interciencia.* 2017, 42(6):340-346. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33951621002.pdf>
 - [30] Mokoena M. Lactic acid bacteria and their bacteriocins: classification, biosynthesis and applications against uropathogens: a mini review. *Molecules.* 2017, 26;22(8):1255. DOI:10.3390/molecules22081255.
 - [31] Woraprayote W, Malila Y, Sorapukdee S, Swetwathana A, Benjakul S, Visessanguan W. Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products. *Meat Science.* 2016, 120:118-132. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.04.004.
 - [32] Álvarez-Sierio P, Montalbán-López M, Mu D, Kuipers O. Bacteriocins of lactic acid bacteria: extending the family. *Applied microbiology and biotechnology.* 2016, 100(7):2939-51. DOI:10.1007/s00253-016-7343-9.
 - [33] Duhan J, Nehra K, Gahlawat S, Saharan P, Surekha D. Bacteriocins from lactic acid bacteria. *Biotechnology: Prospects and Applications.* 2013, 127-141. DOI 10.1007/978-81-322-1683-4_11
 - [34] De Vuyst L, Leroy. Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification, and food applications. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology.* 2007, 13(4):194-9. DOI:10.1159/000104752.
 - [35] Cabeza EAH. Bacterias ácido-lácticas (BAL): aplicaciones como cultivos estarter para la industria láctea y cármica. Simposio Regional de Microbiología "Microorganismos Eficientes en el Sector Productivo", Universidad Libre, Barranquilla Colombia. 2006. file:///C:/Users/arman/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownload/s/46e13f68-0502-4cfc-a900-dff9a75045af/Bacteriasacido-lacticas_BAL_aplicaciones_como_cultivos_estarter_para_la_industria.pdf
 - [36] De Vuyst L, Makras L, Lazlo A, Holo H, Qing Y, Servin A, Fayol-Messaoudi D, Berger C, Zoumpopoulou G, Tsakalidou E, Sgouras D, Martínez-González B, Panayotopoulou E, Mentis A, Smarandache D, Savu L, Philippe T, Nes I. Antimicrobial potential of probiotic or potentially probiotic lactic acid bacteria, the first results of the international European research project PROPATH of the PROEUHEALT cluster. *Microbial Ecology in Health and Disease.*

- 2004, 16:125-130. DOI: 10.1080/08910600410032303
- [37] Angelin J, Kavitha M. Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020, 1:162:853-865. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.06.190.
- [38] Abid Y, Casillo A, Gharsallah H, Joulak I, Lanzetta R, Corsaro M, Atiia H, Azabou S. Production and structural characterization of exopolysaccharides from newly isolated probiotic lactic acid bacteria. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017, 108:719-728. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2017.10.155.
- [39] Ryan P, Ross R, Fitzgerald G, Caplice N, Stanton. Sugar-coated: exopolysaccharide producing lactic acid bacteria for food and human health applications. *Food & Function*. 2015, 6(3):679-93. DOI:10.1039/c4fo00529e.
- [40] Patel A, Prajapati J. Food and health applications of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *Advances in Dairy Research* 2013, 1:107. DOI:10.4172/2329-888X.1000107
- [41] Li S, Huang R, Shah N, Tao X, Xiong Y, Wei H. Antioxidant and antibacterial activities of exopolysaccharides from *Bifidobacterium bifidum* WBIN03 and *Lactobacillus plantarum* R315. *Journal of Dairy Science*. 2014, 97(12):7334-43. DOI:10.3168/jds.2014-7912.
- [42] Rodríguez JMG, Suárez AMG, Martínez JMC, Martínez MIM, Herranz CS. Las bacteriocinas de las bacterias lácticas. I. Definición, clasificación, caracterización y métodos de detección. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*. 2000, 314:59-64.
- [43] Helander Y, Von Wright A, Mattila T. Potential of lactic acid bacteria and novel antimicrobials against Gram-negative bacteria. *Trends in Food Science and Tech*. 1997, 8(5):146-150. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01030-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01030-3)
- [44] Harris L, Daeschel M, Stiles M, Klaenhammer T. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria against *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Protection*. 1998, 52(6):384-387. DOI:10.4315/0362-028X-52.6.384.
- [45] Pazos AM, Guerrero MF. *Lactobacillus* probiotics may prevent *Vibrio cholerae* colonization in rabbits newborn. *Rev. MVZ Cordoba*. 2013, 18(Supl):3689-3698. <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v18s1/v18supla13.pdf>
- [46] Wang L, Xia T, Guo T, Ru Y, Jiang Y, Cui W, Zhou H, Qiao X, Tang L, Xu Y, Li Y. Recombinant *Lactobacillus casei* expressing capsid protein VP60 can serve as vaccine against Rabbit Hemorrhagic Disease Virus in rabbits. *Vaccines*. 2019, 7(4):172. DOI:10.3390/vaccines7040172.
- [47] Shen X, Ciu H, Xu R. Oral administered *Lactobacillus casei* exhibited sever probiotic properties in artificially suckling rabbits. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019, 33(8):1352-1359. DOI:10.5713/ajas.18.0973.
- [48] Reuben R, Roy P, Sarkar S, Rubayet-UIA, Jahid I. Isolation, characterization, and assessment of lactic acid bacteria toward their selection as poultry probiotics. *BMC Microbiology*. 2019, 19(1):253. DOI:10.1186/s12866-019-1626-0.
- [49] Kamra DM, Chaudhary LC, Singh R, Pathak NN. Influence of feeding probiotics on growth performance and nutrient digestibility in rabbits. *World Rabbit Science*. 1996, 4(2):85-88. DOI:<https://doi.org/10.4995/wrs.1996.276>
- [50] Canzi E, Zanchi R, Camaschella P, Cresci A, Greppi G, Orpianesi C, Serrantoni M, Ferrari A. Modulation by lactic-acid bacteria of the intestinal ecosystem and plasma cholesterol in rabbits fed a casein diet. *Nutrition Research*. 2000, 20(9):1329-1340. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(00\)00210-4](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(00)00210-4)
- [51] Chunyang W, Fuchang L, Yanli Z, Xuepeng W, Liangzhan S. Impact of probiotics in intestinal microbial community diversity of growing rex rabbits. *Sharm El- Sheikh -Egypt*. 2012, 635-639. <http://world-rabbit-science.com/WRSA-Proceedings/Congress-2012-Egypt/Papers/03-Nutrition/N-Wang%20Chunyang.pdf>
- [52] Shah A, Yuan X, Khan R, Shao T. Effect of lactic acid bacteria-treated King grass silage on the performance traits and serum metabolites in New Zealand white rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2017, 102(2):e902-e908. DOI:10.1111/jpn.12854.