



**Somos calidad,  
somos USC**

**Beneficios de los probióticos en la salud intestinal porcina e implicaciones para la seguridad alimentaria humana**

**Autor:**

**Valeria Ospina Torres**

**Título por el que opta:**

**Médico Veterinario**

**Director:**

**Carlos Emilio Cabrera Matajira**

**Camilo Ernesto Guarín**

**Patarroyo**

**Faculta de ciencias básicas**

**Medicina veterinaria**

**Universidad Santiago de Cali**

**Santiago de Cali - Colombia**

**2025**

## IMPACTOS

Relacione el (los) impacto(s) que presentó el Trabajo de Grado

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
<b>Científico</b>	Esta revisión sistemática permitirá consolidar la evidencia sobre el uso de probióticos en cerdos como una herramienta para mejorar la salud intestinal, reducir el uso de antibióticos y limitar la presencia de patógenos zoonóticos, lo que representa un avance relevante en la producción porcina sostenible y la inocuidad alimentaria.	Productores porcinos, profesionales de la medicina veterinaria, investigadores en microbiología y salud pública, así como autoridades en seguridad alimentaria y consumidores finales

# Beneficios de los probióticos en la salud intestinal porcina e implicaciones para la seguridad alimentaria humana. Revisión Sistemática

Valeria Ospina Torres<sup>1</sup>, Carlos Emilio Cabrera Matajira<sup>2</sup>, Camilo Ernesto Guarín Patarroyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Medicina Veterinaria, Universidad Santiago de Cali, Valeria.ospina01@usc.edu.co. <sup>2</sup>Médico Veterinario y zootecnista, MsC, PhD Universidade de Sao Paulo, Carlos.cabrera@alumni.usp.br. <sup>3</sup>Médico Veterinario, MsC Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda, Calle 5 # 62- 00. Santiago de Cali. Colombia

## RESUMEN

Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica con el propósito de evaluar los beneficios de los probióticos en la salud intestinal porcina y sus implicaciones para la seguridad alimentaria humana. El proceso de investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica en plataformas electrónicas como PubMed, Science Direct, Google Scholar, Scopus y Web of Science, durante 2020 y 2025, con un enfoque particular en artículos publicados en el idioma inglés. El presente estudio se centró exclusivamente en las publicaciones realizadas en revistas indexadas, con una clasificación Qualis A1-B2 o SCImago Q1-Q2. La estrategia de búsqueda se fundamentó en la combinación de descriptores relacionados con probióticos, microbiota intestinal, porcicultura y seguridad alimentaria. Se eliminaron los duplicados y la selección de datos se realizó siguiendo las directrices PRISMA (Proposal Registration of Systematic Review). La gestión bibliográfica se realizó mediante el uso del software Mendeley®. El análisis realizado incluyó un total de 15 artículos, siendo China el país con el mayor número de publicaciones. Los hallazgos confirman que el uso de probióticos representa una alternativa eficaz y sostenible al uso de antibióticos en la producción porcina. Los beneficios se manifiestan en tres dimensiones principales: (i) se observa una mejora en la salud intestinal, el bienestar animal y los parámetros productivos, (ii) se evidencia una disminución en la prevalencia de infecciones gastrointestinales y la disbiosis, y (iii) se contribuye a la seguridad alimentaria humana al reducir la carga de patógenos zoonóticos y los residuos antimicrobianos en la carne. A pesar de la ausencia de consenso en cuanto a la selección de cepas óptimas y la estandarización de dosis, la evidencia disponible respalda la integración de probióticos en la porcicultura moderna como un componente esencial para la sostenibilidad productiva y la inocuidad alimentaria.

**Palabras clave:** *Alternativa a los antibióticos, Cerdos, Salud intestinal, Microbiota, Suplementos dietéticos.*

## Benefits of Probiotics on Porcine Gut Health and Implications for Human Food Safety: A Systematic Review

### ABSTRACT

A systematic literature review was conducted to evaluate the benefits of probiotics on swine intestinal health and their implications for human food safety. Searches were conducted in PubMed, Science Direct, Google Scholar, Scopus, and Web of Science, including articles published between 2020 and 2025 in English. Only publications in journals indexed with Qualis A1-B2 or SCImago Q1-Q2 classification were considered. The search strategy was based on combinations of descriptors related to probiotics, gut microbiota, pig farming, and food safety. Duplicates were eliminated, and the selection was performed following PRISMA guidelines. Literature management was carried out using Mendeley® software. A total of 15 articles were analyzed, with China being the country with the highest number of publications. The findings confirm that probiotics represent an effective and sustainable alternative to the use of antibiotics in pig production. The benefits are evident in three main dimensions: (i) they improve intestinal health, animal welfare, and production parameters; (ii) they decrease the prevalence of gastrointestinal infections and dysbiosis; and (iii) they contribute to human food safety by reducing the zoonotic pathogen load and antimicrobial residues in meat. Although gaps persist regarding the selection of optimal strains and dose standardization, the available evidence supports the inclusion of probiotics in modern pig farming as a key tool for productive sustainability and food safety.

**Keywords:** *Antibiotic alternative, Swine, Gut Health, Microbiota, Dietary supplements.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La porcicultura representa una de las cadenas productivas más relevantes para la seguridad alimentaria global, al constituir una fuente esencial de proteína de alta calidad. Frente a los retos actuales en términos de sanidad y productividad, se ha vuelto cada vez más importante implementar estrategias nutricionales que promuevan la salud intestinal y optimicen el rendimiento productivo (Kim et al., 2024). En este contexto, si bien el uso de antibióticos como promotores de crecimiento ha sido una práctica común desde la década de los cincuenta, esto ocurre porque los antibióticos tienen un efecto inespecífico en el intestino, erradicando no solo las bacterias dañinas, sino también los microorganismos útiles que forman parte de la microbiota comensal. Esta modificación en el intestino genera disbiosis, disminuye la diversidad microbiana y favorece la aparición de bacterias resistentes que son capaces de transmitir genes de resistencia. Su utilización indiscriminada ha generado preocupaciones crecientes por el desarrollo de resistencias antimicrobianas y los posibles efectos adversos sobre la microbiota intestinal (Armijo, 2022; D. Sun et al., 2025). Estos factores han llevado a replantear el enfoque en la nutrición porcina, priorizando alternativas más sostenibles y seguras.

Una de las estrategias con mayor potencial en este sentido es el uso de microorganismos vivos, denominados probióticos, ampliamente estudiados por su capacidad para favorecer la digestión, la inmunidad y la sanidad general de los animales, cuando se administran en cantidades adecuadas (Barba-Vidal et al., 2019; Vasquez et al., 2022). Las bondades de los probióticos radican en la propiedad que tienen algunos para producir ácidos grasos de cadena corta que promueven la secreción de péptidos intestinales, los cuales actúan modulando la microbiota intestinal, mejorando la salud digestiva y estimulando el sistema inmunológico (Wieërs et al., 2020).

El uso de probióticos en la producción porcina se ha asociado con mejoras significativas en la conversión alimenticia, la ganancia de peso y la reducción en la incidencia de enfermedades, lo que los posiciona como una herramienta clave en los sistemas modernos de producción animal. Según Castaño., (2023); “al ingerirse en concentraciones suficientes, los probióticos favorecen la digestibilidad de los nutrientes y mejoran la salud intestinal de los porcinos en todas las etapas de la producción, como la reproducción, el destete y el engorde o cebo”. Estas evidencias resaltan que la nutrición, y en particular la suplementación estratégica, desempeña un papel crucial en la productividad y bienestar de los animales (Barba-Vidal et al., 2019).

El creciente interés por el uso de probióticos en la producción porcina no solo responde a sus beneficios sobre los parámetros productivos, sino también a su impacto sobre la salud intestinal y sistémica del animal, tal como señalan Soraci et al., (2010); el rol del intestino no se limita solamente a la digestión y absorción de nutrientes, numerosos estudios han demostrado su participación relevante en procesos metabólicos e inmunológicos esenciales, como por ejemplo, Sun et al., (2025) señalaron que *Lactobacillus reuteri* favorece la salud intestinal y la habilidad antioxidante en lechones que han sido destetados; Liu et al. (2023) mostraron que *Bacillus subtilis* disminuye la presencia de bacterias patógenas como *E. coli* y *Clostridium perfringens*, además de aumentar las proteínas de unión estrecha; y Matsubara et al., (2025) informaron que *Lactobacillus sakei* regula los niveles de aminoácidos en la sangre y los ácidos grasos de cadena corta, lo que mejora el metabolismo. Estos hallazgos confirman que, aun cuando se suministre un alimento de alta calidad y adecuadamente balanceado, ello no garantiza por sí solo un óptimo desempeño zootécnico. En consecuencia, el enfoque actual en la industria porcina se orienta hacia tecnologías nutricionales más integrales, como los probióticos, administrados estratégicamente en las tres fases clave de producción: reproducción, destete y engorde, lo que incrementa la demanda de conocimiento actualizado y evidencia científica sobre su uso.

En este contexto, diversas investigaciones han desarrollado alternativas prometedoras basadas en probióticos, con el objetivo de mejorar la salud intestinal de los cerdos y, en consecuencia, aumentar la eficiencia productiva y contribuir a la seguridad alimentaria global (Han et al., 2025). No obstante, la aplicación efectiva de los probióticos requiere de un enfoque científico riguroso, para que una sustancia

sea considerada probiótica debe cumplir criterios esenciales como ser segura, mantenerse viva hasta el intestino y ser capaz de colonizarlo, entre otros factores críticos tales como; como la carencia de genes que faciliten la resistencia a antimicrobianos, la ausencia de actividad hemolítica, la capacidad de resistir el pH del estómago, la tolerancia a sales biliares y la evidencia de un perfil metabólico no tóxico (Binda et al., 2020). Esto implica que, a pesar del entusiasmo en torno a su potencial, su implementación enfrenta retos importantes, como la variabilidad en la respuesta de los animales, el crecimiento acelerado de la industria porcina, las restricciones sanitarias vigentes y la necesidad de protocolos de formulación más estandarizados (Rondon et al., 2015)

Dado lo expuesto anteriormente, este estudio busca recopilar conocimientos científicos sobre los impactos positivos del uso de probióticos en la alimentación porcina, incluyendo una identificación detallada de los principales probióticos utilizados en la actualidad con el propósito de describir sus efectos y su disponibilidad en el mercado. Adicionalmente, realizar un análisis de los efectos de la implementación de probióticos en porcinos y su relación con la seguridad alimentaria. Con esta revisión se pretende abordar información valiosa para productores, veterinarios e investigadores, estableciendo pautas para una implementación efectiva de los probióticos en la industria porcina.

## 2. MATERIALES Y METODOS

Se realizaron búsquedas en las bases de datos: PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>), Google Scholar (<https://scholar.google.com/>), Scopus (<https://www.scopus.com/>) y Web of Science (<https://www.webofscience.com/>). De artículos publicados entre 2020 y 2025. El idioma utilizado para la búsqueda fue el inglés y español. Solo se incluyeron artículos publicados en revistas científicas con calificación Qualis A1 a B2 (según la clasificación de la CAPES) o SCIMago Q1 y Q2.

En este sentido, se realizó una búsqueda sistemática utilizando la siguiente estrategia de búsqueda (probiotic\* OR "lactic acid bacteria" OR "microbial supplement") AND (pig\* OR swine OR porcine) AND ("intestinal health" OR gut OR microbiota OR "intestinal microbiome") AND ("food safety" OR zoonoses OR "bacterial shedding" OR pathogens OR Salmonella OR Escherichia). Se eliminaron todos los duplicados presentes entre las diferentes bases de datos durante la selección de artículos y para su presentación se siguieron las directrices de presentación de informes Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Page et al., 2021). Para la gestión de las referencias bibliográficas y la organización de los artículos seleccionados, se utilizó el software Mendeley® (Elsevier, Version 2.135.0). Esta herramienta facilitó la clasificación, almacenamiento y citación de los estudios incluidos en la revisión.

Los estudios incluidos en esta revisión fueron aquellos realizados en cerdos de cualquier etapa productiva, en los que se evaluaron intervenciones con probióticos, ya sea como suplemento único o en combinación, y que reportaran desenlaces relacionados con la salud intestinal como la composición de la microbiota, la integridad intestinal o parámetros inmunológicos y/o con implicaciones para la seguridad alimentaria humana, tales como la reducción de patógenos zoonóticos o la resistencia antimicrobiana. Se consideraron únicamente publicaciones en inglés o español, que presentaran diseños experimentales, estudios observacionales o ensayos controlados. Se excluyeron revisiones narrativas, sistemáticas y metaanálisis, aunque estas fueron consultadas como fuente de referencias adicionales y para uso en la introducción y/o discusión; también se descartaron los estudios realizados exclusivamente *in vitro*, en otras especies animales, así como aquellos trabajos sin acceso a texto completo o que no aportaran información relevante a los objetivos planteados.

Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se eligieron 15 artículos para un abordaje exhaustivo, que se convirtieron en la base principal de la síntesis narrativa. Además, se revisaron 36 referencias adicionales (incluyendo revisiones, informes técnicos y estudios no seleccionados) con el objetivo de contextualizar ideas, fortalecer el debate y respaldar la construcción teórica de la introducción. Estas referencias no se incluyeron en el análisis sistemático, aunque sí forman parte de la bibliografía final para asegurar la claridad y la trazabilidad del marco conceptual. Por lo tanto, la bibliografía

total incluye tanto los 15 documentos estudiados a fondo junto con las 36 fuentes secundarias empleadas para respaldo conceptual.

Los registros obtenidos a partir de las estrategias de búsqueda fueron exportados a Mendeley, donde se eliminaron los duplicados. Posteriormente, el autor evaluó de manera sucesiva los títulos y resúmenes, y más tarde los textos completos, aplicando los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos en la aplicación Rayyan. En los casos en los que surgieron discrepancias, estas fueron resueltas mediante consenso o, de ser necesario, con la participación de un segundo revisor.

Para la extracción de datos se elaboró una matriz en Excel en la que se consignó información clave de cada estudio, incluyendo autor, año, país, especie y etapa productiva, diseño metodológico, características de la intervención probiótica (cepa, dosis, vía de administración y duración), grupo control, desenlaces evaluados y principales hallazgos. La síntesis de los resultados se llevó a cabo de forma narrativa, organizando los estudios en dos grandes ejes: por un lado, se expusieron los resultados mencionados en las investigaciones sobre la utilización de probióticos y su conexión con la salud intestinal de los cerdos, enfocándose en cómo estos afectan la microbiota, la solidez de la barrera intestinal y los indicadores inmunológicos que los investigadores han señalado. Por otro lado, se recopiló la información disponible relacionada con la seguridad alimentaria para las personas, especialmente en lo que respecta a la reducción de patógenos zoonóticos, la presencia o disminución de bacterias que presentan resistencia a los antimicrobianos y los aspectos mencionados sobre la calidad e inocuidad de los productos derivados del cerdo.

### **3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

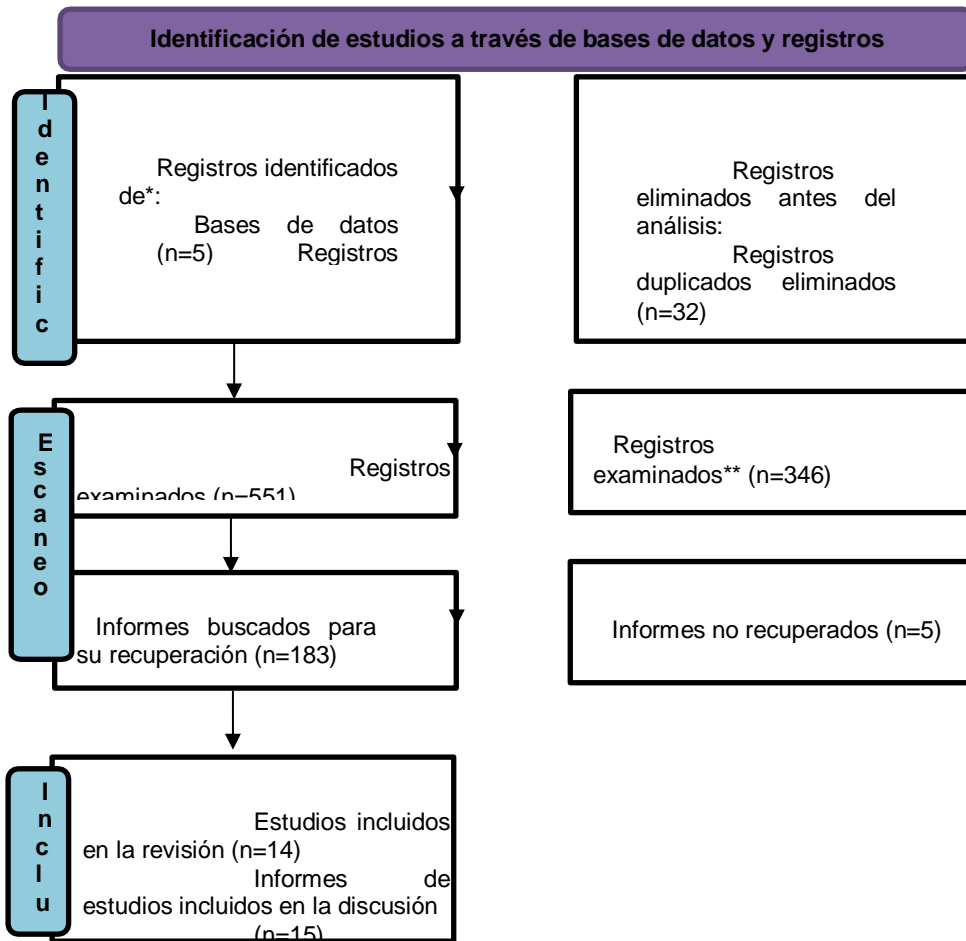
La estrategia de búsqueda en las bases de datos PubMed, ScienceDirect, Web of Science y Google Scholar permitió identificar un total de 583 registros. Tras la eliminación de 32 duplicados, quedaron 551 artículos para su evaluación inicial. En esta fase se excluyeron 205 estudios que seguían sin cumplir con los criterios propuestos para su evaluación, lo que redujo la muestra a 346 registros. Posteriormente, durante la etapa de cribado de títulos y resúmenes, se seleccionaron 183 artículos para lectura a texto completo (Ilustración 1).

De esta revisión detallada se identificaron inicialmente 10 estudios potencialmente elegibles, a los que se sumaron otros trabajos de interés tras un proceso de relectura crítica, para un total de 15 artículos considerados relevantes. Adicionalmente, se recopilaron 21 referencias secundarias provenientes de otras fuentes y fechas, las cuales se usaron para dar soporte a la discusión, la introducción y la metodología.

Finalmente, y tras una tercera revisión exhaustiva de los textos completos, 15 estudios cumplieron todos los criterios de inclusión y fueron incorporados en la síntesis cualitativa (Figura, diagrama PRISMA). De estos, 3 correspondieron al año 2025, 3 al 2024, 3 al 2023, 3 al 2022, 1 al 2021, 1 al 2020 y 1 al 2017, lo que evidencia una creciente producción científica reciente en torno al tema. Los 15 artículos seleccionados constituyeron la base principal de la discusión

Los artículos seleccionados para esta revisión sistemática fueron considerados adecuados para su inclusión en la matriz de extracción siempre que cumplieran los con criterios metodológicos que aseguraran la relevancia y calidad de la información. Se incluyeron estudios que evaluaban el uso de probióticos como estrategia de intervención en cerdos, especificando claramente las cepas utilizadas, las dosis administradas, la vía de suplementación, la duración del tratamiento y los grupos experimentales (con o sin control). Además, se exigía que los artículos reportaran variables directamente relacionadas con la salud intestinal, como la composición de la microbiota, la integridad de la mucosa intestinal, la respuesta inmune local, y parámetros zootécnicos (ganancia de peso, conversión alimenticia, entre otros). También se recopiló información sobre el tamaño de muestra, el tipo de diseño experimental, la región geográfica de ejecución del estudio y los métodos empleados para la caracterización microbiológica.

## Ilustración SEQ Ilustración \\* ARABIC 1. Diagrama PRISMA



**Fuente Ilustración 1:** Elaboración propia.

En la mayoría de los estudios incluidos se evidencia que se realizaron en lechones destetados, principalmente en China y bajo diseños experimentales controlados con suplementación directa en la dieta. Otros trabajos exploraron cepas aisladas de animales locales, estudios observacionales o validaciones en modelos murinos (Yuan et al., 2023). De esta manera, los resultados se agrupan en función de los principales géneros de probióticos evaluados (*Lactobacillus*, *Bacillus*, *Enterococcus*, *Pedococcus* y combinaciones multicepa), lo que permite identificar tendencias comunes y diferenciales en sus efectos sobre la salud intestinal (J. Li et al., 2024; Matsubara et al., 2025; Nordeste et al., 2017; D. Sun et al., 2025; Yuan et al., 2023; Zhang et al., 2024). Asimismo, dentro de cada bloque se destacan los desenlaces más relevantes crecimiento, incidencia de diarrea, modulación de la microbiota, integridad intestinal y parámetros inmunológicos, con el fin de integrar la evidencia y discutir sus implicaciones en la producción porcina y la seguridad alimentaria.

### 3.1 Probióticos más usados en la industria porcina

En los estudios más recientes (2025) se ha evaluado el impacto de distintos probióticos y estrategias relacionadas sobre la salud y productividad porcina, principalmente en lechones destetados. Dentro del

grupo de probióticos del género *Lactobacillus*, los hallazgos son consistentes en mostrar beneficios en crecimiento, modulación de la microbiota y promoción de la salud animal. Autores como D. Sun et al., (2025) reportaron que al suplementar lechones destetos con probióticos a base de *Lactobacillus reuteri* se redujo la mortalidad en un 6.37%, además de favorecer el incremento de *Firmicutes* y ácidos grasos de cadena corta como propionato y butirato. Estos cambios se asociaron con una mejor capacidad antioxidante, reflejada en el aumento de coenzima Q10 y la disminución de malondialdehído sérico.

Por otro lado, Matsubara et al., (2025), buscando alternativas para reemplazar antibióticos como promotores de crecimiento, encontraron que la inclusión en la dieta de *Lactobacillus sakei* mejoró la utilización de nutrientes a través de la modificación de la microbiota intestinal (aumento de bacterias de la familia *Prevotella*, *Streptococcus* y *Lactobacillus* en la microbiota fecal), junto con un aumento en aminoácidos plasmáticos y acetato fecal. Si bien observaron una reducción en las concentraciones séricas de IgG, el balance general fue positivo para el metabolismo y el rendimiento de los lechones. En contraste y con el mismo propósito, pero usando *Lactobacillus mucosae* (LM) como probiótico en combinación con manano-oligosacáridos como fuente de prebióticos (MOS), también en lechones recién destetados desafiados con agregados de *Escherichia coli* (Y. Li et al., 2021) encontraron que la alimentación con *L. mucosae* por sí sola mejoró la eficiencia alimentaria y la estructura morfológica ileal durante la primera semana de exposición al patógeno. Por otro lado, el MOS aumentó las inmunoglobulinas séricas de tipo G, pero el combinado MOS+LM moduló, aunque es una interacción compleja modificó la aparición de moléculas proinflamatorias como las citoquinas y propició una homeostasis inmunitaria.

Otra bacteria reportada con potencial probiótico del género *Lactobacillus* fue *Lactobacillus acidophilus*, en el estudio realizado por Nordeste et al., (2017), se reportó que uso de proteobióticos (moléculas bioactivas producidas durante el crecimiento de ciertos probióticos que interfieren con la comunicación bacteriana de célula a célula, lo que consecuentemente resulta en una atenuación de la virulencia en un número de patógenos, incluyendo *E. coli*, derivados de *L. acidophilus* frente a la infección con *E. coli* K88. Los lechones suplementados presentaron una marcada reducción de los signos clínicos de colibacilosis (50% en controles vs. 15% en tratados), además de una menor colonización ileal. Aunque las mejoras en la ganancia de peso no fueron estadísticamente significativas, el estudio demostró un efecto preventivo claro frente a la diarrea posdestete, reforzando la idea de que metabolitos bacterianos pueden desempeñar un papel relevante en la reducción del uso de antibióticos en granjas.

En un contexto de estrés ambiental, Yuan et al., (2023) describieron los beneficios de *Lactobacillus johnsonii* N5, aislado de cerdos resistentes al calor. En un modelo murino, la suplementación promovió la integridad intestinal mediante la regulación positiva de proteínas de unión estrecha y la citoprotección mediada por HSP70. Además, moduló la respuesta inmune al incrementar células Treg e IL-10, al tiempo que redujo citoquinas proinflamatorias como TNF- $\alpha$  e IL-6. Estos resultados posicionan a esta cepa como una candidata prometedora frente a diarreas asociadas a estrés térmico.

En general, las investigaciones revisadas están de acuerdo en que las diversas variedades de *Lactobacillus* tienen la habilidad de promover la salud digestiva, regular la microbiota y disminuir los síntomas clínicos relacionados con el destete. Sun et al., (2025), Matsubara et al., (2025) y Li et al., (2021) afirman que estas cepas aumentan la presencia de grupos microbianos favorables (como *Prevotellaceae* y *Lactobacillaceae*) y disminuyen la frecuencia y gravedad de las diarreas. No obstante, hay diferencias significativas entre las cepas: *L. reuteri* potencia los antioxidantes en el sistema y los ácidos grasos de cadena corta. *L. sakei* afecta los aminoácidos en el plasma. *L. mucosae* ejerce una influencia más significativa en la estructura del íleon. *L. acidophilus* opera mediante metabolitos generados postbióticos. *L. johnsonii* N5 se destaca por su capacidad para lidiar con el estrés por calor.

Estas variaciones muestran que los efectos de *Lactobacillus* no son iguales para todas las cepas, por lo que es importante elegir las según el ciclo de producción, problemas de salud y objetivos específicos. El detalle de las intervenciones, grupos control, desenlaces y hallazgos se resume en los reportes a continuación, la cual fue organizada en bloques para facilitar la discusión comparativa.

Tabla 1. Información detallada de los estudios incluidos en la revisión sistemática sobre probióticos del género *Lactobacillus spp.*

Autor (año)	País	Especie y etapa	Metodología	Intervención probiótica (cepa, dosis, vía, duración)	Grupo control	Desenlaces evaluados	Principales hallazgos
(D. Sun et al., 2025)	China	Lechones destetados	Ensayo experimental (816 lechones, 30 días)	<i>Lactobacillus reuteri</i> postbióticos, 500 mg/kg, oral (en dieta), 30 días	Dieta basal sin suplemento	Crecimiento, microbiota fecal, metabolómica plasmática, parámetros antioxidantes	↓ Mortalidad (-6.37%), Firmicutes y SCFA (propionato, butirato), Bacteroides y MDA sérico, coenzima Q10 correlacionado con antioxidantes.
(Matsubara et al., 2025)	Japón	Lechones híbridos (21-49 días)	Ensayo experimental (18 lechones, 3 grupos)	<i>Lactobacillus sakei</i> HS-1 inactivado por calor ( $2 \times 10^5$ células/g, en dieta, 28 días)	Grupo control (dieta basal) y grupo antibiótico (colistina 30 ppm)	Crecimiento, microbiota fecal, SCFA, inmunoglobulinas, metabolómica	↑ Ganancia diaria y peso en grupo probiótico. aminoácidos plasmáticos y acetato fecal. ↓ IgG sérica. abundancia de <i>Prevotella</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> . Enriquecimiento de vías de fermentación mixta.
(Yuan et al., 2023)	China	Cerdos destetados (n/r)	Estudio observacional y validación experimental en modelo murino	<i>Lactobacillus johnsonii</i> N5 aislado de cerdos resistentes a estrés por calor; administrado oralmente en ratones	Comparación con cerdos susceptibles a calor y ratones control	Crecimiento, diarrea, HSP70, microbiota, parámetros inmunológicos (TNF- $\alpha$ , IL-6, IL-10, Treg/Th17)	<i>L. johnsonii</i> N5 mejoró inmunidad intestinal, aumentó proteínas de unión estrecha a HSP70, promovió células Treg y redujo inflamación, mostrando potencial como sustituto de antibióticos
(Y. Li et al., 2021)	EE.UU.	Cerdos destetados (96, 35 días)	Ensayo factorial 2x2 con desafío inmunológico (LPS de <i>E. coli</i> )	<i>Lactobacillus mucosae</i> ( $10^9 \pm$ CFU/pig/día) Mannan-oligosacáridos (0.1%), vía oral, 21 días	Control, MOS, LM, MOS+LM	Ganancia de peso, eficiencia alimenticia, respuesta inmune, morfología intestinal, metabolitos fecales	LM mejoró eficiencia y redujo profundidad de criptas ileales. MOS aumentó IgG sérica. MOS+LM moduló citoquinas y propició balance inmune. Interacción MOS-LM compleja.
(Nordeste et al., 2017)	Canadá	Lechones lactantes y post-destete	Experimental in vivo	Proteobióticos producidos por <i>Lactobacillus acidophilus</i> (0.5x, 1x y 2x dosis; vía oral; 7 días antes y después del desafío con <i>E. coli</i> K88)	Grupo sin suplemento	Síntomas clínicos, eliminación fecal de ETEC, colonización ileal, ganancia de peso	↓ signos clínicos; eliminación fecal de ETEC (50% control vs. 15% suplementados); colonización ileal; tendencia a ↑ ganancia de peso; mejor salud intestinal.

**Fuente tabla 1:** Elaboración propia con base en la información recopilada de los artículos analizados.

Otro género que fue el que más se reportó en los artículos fue *Bacillus*. Los estudios analizados en las investigaciones de Liu et al. (2023), Tang et al. (2024) y Jang et al. (2024), sobre estos probióticos muestran un patrón consistente en la mejora del rendimiento productivo y la salud intestinal, de nuevo encontrándose que la principal etapa de su uso es en lechones destetados. Sin embargo, al profundizar en los resultados y en la calidad metodológica, se identifican limitaciones que deben ser consideradas antes de proponer su aplicación directa en la práctica productiva (Tabla 2).

Por un lado, J. Liu et al., (2023) reportaron que al utilizar *Bacillus subtilis* en combinación con  $\beta$ -mananasa, en lechones destetados, hay una mejora el consumo de alimento y la conversión alimenticia, redujo patógenos intestinales como *E. coli* y *Clostridium* y estimuló proteínas de unión estrecha, aunque con una reducción inesperada en la concentración de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Si bien el diseño fue robusto (320 animales, 4 grupos, durante 42 días), el riesgo de sesgo se relaciona con la falta de reporte en la metodología de cegamiento y en la asignación al azar, lo que podría influir en la valoración de variables subjetivas como la integridad intestinal.

De forma complementaria, Phaengphairee et al., (2023) también examinó el uso de *B. subtilis* pero en una combinación con harina de larvas de mosca soldado *Hermetia illucens* y otros probióticos. Estos autores reportaron mejoras en la ganancia de peso, digestibilidad de nutrientes, estado inmunitario, el estrés oxidativo, la histomorfología intestinal y las modulaciones microbianas rectales en cerdos destetados en comparación con otras dietas donde se usó antibióticos. Algo a resaltar de este estudio es el uso de un control positivo con antibióticos, esto refuerza la validez de los hallazgos, pero el reducido número de animales por grupo (n=20) aumenta la variabilidad biológica y limita la extrapolación. Además, al tratarse de una mezcla de probióticos y un ingrediente novedoso (larvas de insecto), resulta complejo atribuir los efectos de forma aislada a *Bacillus*.

Por su parte, T. Sun et al., (2022) reportaron otros géneros de *Bacillus* como *Bacillus coagulans* que se sugiere modificó la composición microbiana en las heces de lechones destetados, lo que tuvo efectos positivos en el rendimiento del crecimiento y el índice de diarrea al disminuirla. Aunque los hallazgos son prometedores, la duración del estudio (28 días) y el tamaño de muestra relativamente bajo (n=30 por grupo) limitan la evaluación de efectos a largo plazo, especialmente en parámetros inmunológicos o productivos más amplios. Otro caso, es el uso de *Bacillus amyloliquefaciens*, un probiótico aislado de cerdos tibetanos resistentes al frío, que en el estudio de Du et al., (2022) demostró que no solo sobrevivió en con pHs y temperaturas extremas, sino que también mostró antibioresistencia. Adicionalmente, mejoró significativamente el crecimiento y la salud de los lechones con diarrea. Estos autores también secuenciaron el gen del ARNr 16S y revelaron que este *Bacillus* estabilizó la microbiota intestinal alterada por el destete. Este estudio aporta un elemento innovador al utilizar una cepa adaptada a condiciones ambientales extremas, lo que podría conferirle ventajas probióticas particulares. Sin embargo, el reporte de resultados carece de un análisis detallado de la significancia estadística en algunos parámetros, lo cual limita la fuerza de la evidencia. Similar a este estudio, pero utilizando *Clostridium butyricum*, un probiótico con propiedades de tolerancia al calor, ácido y sales biliares, Tang, (2024) reportó resultados similares.

Tabla 2. Información detallada de los estudios incluidos en la revisión sistemática sobre probióticos del género *Bacillus spp.*

Autor (año)	País	Especie y etapa productiva	Diseño metodológico	Intervención probiótica (cepa, dosis, vía, duración)	Grupo control	Desenlaces evaluados	Principales hallazgos
-------------	------	----------------------------	---------------------	--	---------------	----------------------	-----------------------

(J. Liu et al., 2023)	China	Cerdos destetados (320)	Ensayo controlado, 4 grupos, 42 días	<i>Bacillus subtilis</i> QST713 (100 y 200 mg/kg) y combinación con $\beta$ -mananasa (100 mg/kg + 150 mg/kg), vía oral en dieta	Dieta basal sin suplemento	Consumo de alimento, conversión alimenticia, microbiota intestinal ( <i>E. coli</i> , <i>C. perfringens</i> ), $\alpha$ -diversidad, expresión de proteínas de unión estrecha	Mejoró consumo (BS100), redujo FCR (BS100XT), disminuyó patógenos intestinales, aumentó expresión de ZO-1, occludina y E-cadherina, aunque bajaron AGCC
(Phaengphairee et al., 2023)	Tailandia	Cerdos destetados (80)	Ensayo controlado, 4 grupos, 28 días	Multi-probióticos ( <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) combinados con 12% larvas de <i>Hermetia illucens</i> , vía oral en dieta	Control positivo (amoxicilina 0,02%) y control negativo (sin suplemento)	Crecimiento, digestibilidad, inmunidad (IgA, enzimas antioxidantes), histomorfología intestinal, microbiota fecal	Mejoró ADG y FCR, aumentó digestibilidad y antioxidantes, redujo citoquinas inflamatorias, mejoró morfología intestinal y microbiota ( $\uparrow$ <i>Lactobacillus</i> , $\downarrow$ <i>E. coli</i> )
(T. Sun et al., 2022)	China	Cerdos destetados (90, 26 días edad, BW $\approx$ 7.7 kg)	Ensayo experimental con 3 grupos (NC, PC con antibióticos, BC con probiótico)	<i>Bacillus coagulans</i> , 600 g/t en dieta, 28 días	NC: dieta basal; PC: dieta basal + antibióticos	Ganancia de peso, F:G, diarrea, microbiota intestinal (16S rRNA)	BC mejoró ADG (días 22–28), redujo F:G y diarrea respecto NC. Aumentó diversidad microbiana y abundancia de <i>Ruminococcaceae</i> , <i>Faecalibacterium</i> , <i>Prevotella</i> , <i>Lachnospiraceae</i> .
(Du et al., 2022)	China (Tíbet)	Cerdos destetados (Duroc $\times$ Landrace $\times$ Yorkshire)	Ensayo experimental	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> TL106, aislado de cerdos tibetanos, dosis no especificada, administración oral	Grupo control (dieta sin suplemento)	Crecimiento, diarrea, digestibilidad, microbiota intestinal (16S rRNA)	TL106 mejoró desempeño, redujo diarrea, aumentó digestibilidad de fibra y cenizas, y estabilizó microbiota ( $\uparrow$ <i>Lachnospiraceae</i> , <i>Peptococcaceae</i> , <i>Erysipelotrichaceae</i> ).

**Fuente tabla 2:** Elaboración propia con base en la información recopilada de los artículos analizados.

En conjunto, los estudios sugieren que diferentes especies de *Bacillus* pueden actuar como alternativas viables a los antibióticos, al modular la microbiota intestinal, mejorar la integridad de la barrera y reducir los episodios de diarrea post-destete. No obstante, persisten riesgos de sesgo derivados de la falta de estandarización en los diseños (dosis, tiempos, cepas, condiciones de alojamiento), tamaños de muestra reducidos en algunos ensayos y ausencia de cegamiento en la mayoría de los estudios. Además, la heterogeneidad en las combinaciones con enzimas, prebióticos o ingredientes novedosos dificulta aislar el efecto real del género *Bacillus*.

Sumado a eso, los reportes sobre *Bacillus* muestran una tendencia hacia la mejora en producción, regulación de microbiota y disminución de diarrea post-destete. Sin embargo, hay diferencias en sus

impactos, *B. subtilis*, al combinarse con  $\beta$ -mananasa, reduce patógenos, pero también disminuye AGCC, *B. coagulans* promueve el crecimiento y reduce la diarrea, aunque solo ha sido evaluado a corto plazo, *B. amyloliquefaciens* tiene adaptaciones al frío y modula el sistema inmunológico, combinaciones de *Bacillus* con ingredientes novedosos, como larvas de insectos, muestran efectos mejorados, aunque es difícil atribuir esos beneficios a una sola especie. Los beneficios dependen de factores como cantidad, entorno, interacción con aditivos y calidad del método, a pesar de su potencial como alternativa a antibióticos, la variedad en métodos y falta de estandarización limitan su uso en la industria.

Por lo tanto, aunque los resultados apoyan el potencial de estos probióticos como sustitutos de antibióticos, se requieren ensayos multicéntricos, con mayor tamaño de muestra, mayor tiempo de seguimiento y metodologías que reduzcan el riesgo de sesgo para validar su eficacia y seguridad en condiciones productivas reales.

### 3.2 Otros probióticos y estrategias emergentes

Estudios más recientes han comenzado a explorar el papel de probióticos emergentes y enfoques complementarios en la salud intestinal y el desempeño productivo de cerdos. En este sentido, Lan et al., (2024) evaluaron nuevas bacterias con potencial probiótico como *Akkermansia muciniphila*, demostrando que tanto la forma viva como inactivada por calor podían atenuar el daño intestinal inducido por *Escherichia coli* enterotoxigénica en lechones destetados. Los resultados fueron consistentes en mejoras morfológicas del intestino, aumento de linfocitos CD4+ y reducción de factores de virulencia bacteriana, aunque los efectos sobre la diarrea fueron modestos y dependieron de la dosis y estado de viabilidad de la cepa. La fortaleza de este trabajo radica en el diseño experimental controlado, pero su limitación principal es el tamaño muestral reducido (n=48), que podría subestimar la variabilidad biológica en condiciones productivas reales.

Por otro lado, Han et al., (2025) introducen una perspectiva novedosa al evaluar la interacción entre la genética del hospedador y la microbiota intestinal; al realizar un análisis genómicos y metagenómicos a partir de muestras de tejido y materia fecal, en estas se identificaron asociaciones entre polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs), la abundancia de géneros microbianos como *Coproccoccus* y *Ruminococcaceae*, y rasgos productivos como el peso corporal y el índice de masa corporal. Este hallazgo sugiere que la efectividad de ciertos probióticos podría estar condicionada por la genética del animal, lo que abre la puerta a estrategias de nutrición de precisión. Sin embargo, hay que destacar que el estudio se limita a un solo linaje genético, lo que restringe su extrapolación a otras razas comerciales, además de que la naturaleza observacional del análisis no permite establecer causalidad directa.

Una estrategia distinta, es la empleada por J. Li et al., (2024), en la cual se suministró una dieta baja en proteínas y se suplementó con L-glutamina a lechones destetados, se obtuvo que usar este aminoácido optimiza la ganancia de peso, el estado antioxidante y la composición de la microbiota fecal, pero en dosis controladas, como el caso de este experimento (1%). Este hallazgo pone en evidencia que la eficacia de aditivos funcionales no es lineal, sino dependiente de la dosis, lo que coincide con estudios previos en otras especies. El riesgo de sesgo aquí proviene de la duración relativamente corta del ensayo (28 días), lo cual impide evaluar si los efectos benéficos se mantienen a largo plazo en ciclos completos de engorde.

En cuanto a los probióticos derivados de especies locales, algunos estudios mostraron que *Enterococcus hirae* aislado de cerdos Ningxiang en China, redujo significativamente la incidencia de diarrea postdestete, mejoró la integridad de la barrera intestinal e incrementó la producción de acetato como ácido graso de cadena corta (Zhang et al., 2024). Estos resultados son relevantes porque resaltan la importancia de usar cepas adaptadas al hospedador, aunque se requiere cautela ya que la extrapolación de una cepa local a razas comerciales más utilizadas puede no replicar los mismos beneficios. En el caso de *Pediococcus pentosaceus* aislado de leche materna, los resultados en modelos porcinos y de *Drosophila* indicaron efectos antioxidantes mediados por la vía Nrf2-Keap1 y cambios positivos en la microbiota (Wang et al., 2022). Este hallazgo refuerza la idea de que la transferencia microbiana materna constituye un reservorio importante de probióticos funcionales, aunque el estudio presenta un riesgo de sesgo en cuanto a la extrapolación de resultados obtenidos en modelos no porcinos (*Drosophila*) hacia la fisiología porcina.

Los probióticos nuevos tienen mecanismos de acción más claros que los tradicionales. *Akkermansia muciniphila* ayuda a la salud intestinal y reduce factores de virulencia. *Enterococcus hirae* tiene propiedades antiinflamatorias y crea ácidos grasos de cadena corta. *Pediococcus pentosaceus* actúa a través de rutas antioxidantes. Además, la inclusión de glutamina muestra que cambiar la microbiota no depende solo de microorganismos vivos, sino también de sustratos funcionales.

Las principales diferencias entre los estudios están en los modelos, las especies probióticas y los aditivos, lo que hace difícil una comparación directa. Sin embargo, todos ellos ayudan a mantener la integridad intestinal y reducir la inflamación, lo cual es clave para disminuir la necesidad de antibióticos. Estos descubrimientos amplían el enfoque hacia una nutrición más precisa y permiten pensar en combinaciones personalizadas según la genética, el entorno y los problemas de salud.

Finalmente, Rybarczyk et al., (2020) evaluaron la mezcla comercial EM®, observando mejoras en el equilibrio microbiano intestinal, pero con efectos negativos sobre la ganancia de peso y la calidad de la carne en la fase de engorde. Este contraste plantea una tensión entre la salud intestinal y los parámetros productivos finales, aspecto crítico al considerar la aplicabilidad real en sistemas intensivos, además, el riesgo de sesgo metodológico es alto debido a la falta de transparencia en la composición exacta de la mezcla probiótica, lo que limita la reproducibilidad y comprensión de los mecanismos subyacentes

En la tabla 3 se sintetizan los principales hallazgos, relacionados con otro tipo de estrategias relacionadas con el uso de probióticos en la industria porcina

Autor (año)	País	Especie y etapa productiva	Diseño metodológico	Intervención probiótica (cepa, dosis, vía, duración)	Grupo control	Desenlaces evaluados	Principales hallazgos
(Han et al., 2025)	China	Cerdos Yunong negros, 280 días	Estudio observacional + genómica (193 cerdos)	No intervención directa; análisis de microbioma y SNPs	—	Composición de microbiota, variantes genómicas, peso e IMC	Identificados 4 taxones clave ( <i>Coprococcus</i> , <i>Blautia</i> , <i>Ruminococcaceae</i> , RF16) asociados con peso/IMC. Genes candidatos <i>INPP4B</i> , <i>SCOC</i> , <i>PABPC4L</i> vinculados con abundancia microbiana.
(Lan et al., 2024)	China	Lechones destetados (28 d, n=48)	Ensayo experimental (5 grupos, 28 días + reto ETEC)	<i>Akkermansia muciniphila</i> viva ( $1 \times 10^{10}$ o $5 \times 10^8$ CFU/5 mL) o inactivada por calor, administración oral cada 2 días	Grupo control con solución salina; grupo reto ETEC	Diarrea, morfología intestinal, inmunidad (linfocitos CD4+), genes de barrera, expresión de factores de virulencia	↓ diarrea y daño intestinal en grupos tratados, especialmente con dosis baja viva. ↑ barrera intestinal, antioxidantes e inmunidad; ↓ expresión de genes de virulencia ETEC.
(J. Li et al., 2024)	China	Lechones destetados (n=128, 28 d)	Ensayo experimental (4 grupos con dietas bajas en proteína + 0%, 1%, 2%, 3% L-glutamina)	1% L-glutamina en dieta baja proteína (oral, 28 días). Aunque no es un probiótico, sí modula microbiota	Dieta baja proteína sin glutamina	Crecimiento, bioquímica sérica, antioxidantes, aminoácidos plasmáticos, microbiota fecal	1% glutamina → ↑ ganancia de peso y ADG, ↓ F:G, ↑ antioxidantes, ↓ MDA y enzimas hepáticas. ↑ abundancia de <i>Lactobacillus</i> y <i>P. revotella</i> ; ↓ <i>Streptococcus</i> .

(Zhang et al., 2024)	China	Lechones destetados (21 d, Duroc x landrace)	Ensayo experimental (2 grupos)	<i>Enterococcus hirae</i> HNAU0516 (cepa derivada de cerdo Ningxiang), administración oral durante todo el ensayo	Control con solución salina	Diarrea postdestete, integridad intestinal, microbiota colónica, producción de SCFA	↓ diarrea (p=0.010), ↑ desarrollo intestinal y barrera, ↓ permeabilidad, ↑ acetato, remodelación de microbiota, efectos antiinflamatorios.
(Wang et al., 2022)	China	Lechones lactantes (54)	Ensayo controlado, 3 tratamientos con dosis crecientes	<i>Pediococcus pentosaceus</i> SMM914 aislado de leche materna, administrado en dieta oral	Grupo control sin probiótico	Actividad antioxidante, metabólica, microbiota intestinal, parámetros de salud	Indujo vía Nrf2-Keap1 antioxidante, mejoró metabolismo de aminoácidos y lípidos, aumentó abundancia de <i>Lactobacillus</i> , redujo patógenos intestinales
(Rybarczyk et al., 2020)	Polonia	Cerdos en engorde	Experimental	EM® probiótico en dos dosis (0.3% y 0.5% en dieta, vía oral, hasta el sacrificio)	Grupo sin suplemento	Microbiota intestinal, ganancia diaria promedio (ADG), calidad de la carne	↑ LAB en alimento y mucosa; ↓ Enterobacteriaceae; ↓ ADG en últimas 4 semanas; efectos negativos en parámetros de calidad de carne (↑ pérdidas de cocción, ↓ jugosidad, cambios en color y textura).

**Fuente tabla 3:** Elaboración propia con base en la información recopilada de los artículos analizados.

En conjunto, estos trabajos muestran que, más allá de los géneros tradicionales como *Lactobacillus* y *Bacillus*, la investigación en probióticos porcinos avanza hacia tres direcciones principales: (1) la nutrición de precisión, considerando la interacción entre genética y microbiota; (2) la exploración de probióticos emergentes y derivados de nichos específicos (NGPs, microbiota materna, cepas autóctonas); y (3) el uso de nutracéuticos y aditivos funcionales que modulan indirectamente la microbiota, como la glutamina. No obstante, las limitaciones comunes incluyen tamaños muestrales reducidos, duración corta de los ensayos y, en algunos casos, falta de transparencia sobre la composición exacta de las intervenciones.

Al analizar los artículos anteriormente mencionados se encontraron algunos que no cumplían con los criterios de inclusión, pero que se abordaron para comparar si lo obtenido en esta revisión, es consistente con los hallazgos presentados por otros autores, en este sentido, el análisis de las revisiones sistemáticas y narrativas obtenidas, evidencia un consenso creciente sobre los múltiples beneficios de los probióticos en la salud intestinal porcina, así como en su papel estratégico frente a los retos de la seguridad alimentaria humana.

En primer lugar, la literatura coincide en que los probióticos actúan fortaleciendo las diferentes barreras intestinales mecánica, química, inmune y microbiana, lo que repercute directamente en la reducción de la incidencia de diarreas y enfermedades entéricas. Jiang et al., (2024) destacan que la fase de destete, una de las más críticas en la producción porcina, está marcada por infecciones bacterianas que alteran la microbiota y la integridad intestinal. En este contexto, los probióticos se presentan como una herramienta capaz de mitigar la disbiosis y prevenir infecciones, reduciendo la necesidad de antibióticos y con ello los riesgos asociados a resistencia antimicrobiana y residuos en la carne destinada al consumo humano.

Otro de los aportes destacados corresponde a la capacidad de los probióticos para atenuar la gravedad de infecciones virales y bacterianas. Yang et al., (2024) documentan su papel protector frente al rotavirus, un patógeno relevante en diarreas de lechones a nivel mundial. Los probióticos, junto con los prebióticos, muestran capacidad para reducir el daño en la mucosa intestinal y la severidad de la diarrea, además de

modular la respuesta inmune y restablecer el equilibrio microbiano, así como disminuir el uso de antibióticos (Saha et al., 2024).

Desde una perspectiva metabólica, Vasquez et al., (2022) refuerzan la idea de que el beneficio de los probióticos va más allá de la mera modulación de la microbiota, ya que alteran la producción de metabolitos derivados de esta, como ácidos grasos de cadena corta, poliaminas, neurotransmisores y vitaminas. Estos compuestos no solo mejoran la eficiencia alimenticia y el crecimiento, sino que también fortalecen la resiliencia del huésped frente al estrés y los patógenos. Dichos mecanismos, al optimizar la fisiología digestiva y la inmunidad de los cerdos, repercuten en una menor necesidad de fármacos y en productos cárnicos más seguros para el consumo humano.

Por último, el trabajo de Amat et al., (2020) llama la atención sobre la importancia de identificar especies endógenas con potencial probiótico, como las del género *Prevotella*. Aunque sus efectos pueden ser ambivalentes, la evidencia sugiere asociaciones positivas con el crecimiento y la respuesta inmune en porcinos. Esto abre la puerta al desarrollo de “probióticos de nueva generación” diseñados a partir de miembros clave de la microbiota intestinal, capaces de potenciar la salud animal sin comprometer la inocuidad alimentaria.

La evidencia recopilada en la literatura Jiang et al., (2024); Saha et al., (2024); Tang, (2024); Yang et al., (2024) muestran que el uso de probióticos en producción animal representa una alternativa real frente al empleo excesivo de antibióticos, especialmente en etapas críticas como el destete de lechones. Al modular la microbiota intestinal, reforzar la función de barrera y disminuir la incidencia de diarreas bacterianas o virales (Saha et al., 2024), los probióticos permiten mantener índices productivos estables sin recurrir de manera intensiva a antimicrobianos (Yang et al., 2024). Esta reducción en el uso de antibióticos se traduce directamente en un menor riesgo de generar cepas resistentes, un problema que trasciende la producción animal y afecta la salud pública global. Así, los probióticos no solo contribuyen a sostener la eficiencia alimenticia y el crecimiento de los animales, sino que también aportan a mitigar la resistencia antimicrobiana, una de las principales amenazas actuales para la seguridad alimentaria y la salud humana.

Por otra parte, al disminuir la carga de microorganismos patógenos en el tracto intestinal y en los productos derivados, los probióticos favorecen la obtención de carne de productos animales de mejor calidad sanitaria Janse et al., (2022). Este efecto no solo impacta positivamente en la inocuidad de los alimentos, reduciendo la posibilidad de transmisión de patógenos al consumidor, sino que también se enmarca en el enfoque “One Health”, donde convergen la salud animal, humana y ambiental.

### **3.3 Probióticos más usados según la etapa de cría**

#### **3.3.1 Lactación (21 días aprox.)**

En la etapa de lactación, las estrategias con probióticos buscan principalmente fortalecer la salud intestinal de los lechones y prevenir infecciones entéricas antes y durante el destete. Un ejemplo de ello es el estudio de Nordeste et al., (2017), en el que se evaluaron proteobióticos derivados de *Lactobacillus acidophilus* administrados por vía oral a lechones lactantes y post-destete, siete días antes y después de un desafío con *Escherichia coli* K88. Los resultados mostraron una marcada disminución de los signos clínicos de diarrea, una reducción significativa en la eliminación fecal de *E. coli* enterotoxigénico (50% en el grupo control vs. 15% en los suplementados), menor colonización ileal y una tendencia a mejorar la ganancia de peso. Esto evidencia que los probióticos pueden constituir una herramienta preventiva eficaz en la protección de los neonatos frente a patógenos entéricos.

De manera complementaria, Wang et al., (2022) demostraron que la administración de *Pediococcus pentosaceus* SMM914, aislado de la leche materna e incorporado en la dieta de lechones lactantes, promovió un marcado efecto antioxidante al activar la vía Nrf2-Keap1, mejoró el metabolismo de aminoácidos y lípidos, incrementó la abundancia de *Lactobacillus* beneficiosos y redujo la presencia de patógenos intestinales. Este hallazgo no solo resalta el potencial de los probióticos para modular el ambiente intestinal en una fase tan crítica como la lactación, sino que también subraya la importancia de explorar cepas propias de la microbiota materna como fuentes prometedoras de nuevos probióticos.

### 3.3.2 Preiniciación (45 días, 6–7 semanas)

La fase de preiniciación es crítica en la producción porcina, ya que el destete conlleva un alto riesgo de diarrea posdestete, estrés oxidativo e inestabilidad de la microbiota intestinal. En este contexto, diversos estudios han explorado el uso de probióticos como alternativas a los antibióticos convencionales para mejorar la salud y el desempeño de los lechones. Lan et al., (2024) demostraron que la administración oral de *Akkermansia muciniphila*, en especial en dosis bajas, redujo la incidencia de diarrea y el daño intestinal tras un reto con *E. coli* enterotoxigénico, fortaleciendo la barrera intestinal, aumentando la respuesta antioxidante y potenciando la inmunidad mediada por linfocitos CD4+. En esta misma línea, Zhang et al., (2024) evaluaron *Enterococcus hirae* HNAU0516, una cepa derivada de cerdos locales, y observaron una reducción significativa de síntomas como la diarrea, una mayor integridad intestinal y un aumento en la producción de ácidos grasos de cadena corta, con efectos antiinflamatorios claros. Resultados similares se obtuvieron con *Bacillus subtilis* QST713, probado H. Y. Liu et al., (2024), que mejoró la conversión alimenticia, redujo la presencia de patógenos intestinales como *E. coli* y *Clostridium perfringens*, y estimuló la expresión de proteínas de unión estrecha (ZO-1, occludina y E-cadherina), fortaleciendo la barrera epitelial.

Otros estudios han destacado combinaciones de probióticos. Phaengphairee et al., (2023) reportaron que la inclusión de una mezcla de *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *Saccharomyces cerevisiae*, junto con harina de larvas de *Hermetia illucens*, mejoró la ganancia de peso, la digestibilidad y la inmunidad intestinal, mostrando un efecto comparable al uso de antibióticos como la amoxicilina. De forma similar, D. Sun et al., (2025) hallaron que *Bacillus coagulans* redujo la diarrea, aumentó la diversidad microbiana y favoreció la abundancia de bacterias beneficiosas (*Ruminococcaceae*, *Prevotella*), mientras que Du et al., (2022) reportaron que *Bacillus amyloliquefaciens* TL106, aislado de cerdos tibetanos, promovió el crecimiento y estabilizó la microbiota, reduciendo los problemas digestivos.

Recientemente, los postbióticos también han cobrado interés. Matsubara et al., (2025) demostraron que *Lactobacillus sakei* inactivado por calor mejoró el peso, la abundancia de *Prevotella* y la producción de aminoácidos, lo que confirma que tanto los probióticos viables como los inactivados pueden modular positivamente la fisiología del lechón. Finalmente, estudios como el de Yuan et al., (2023) con *L. johnsonii* N5 y el de J. Li et al., (2024) con *L. mucosae* en combinación con manano-oligosacáridos, resaltan que los probióticos de origen porcino pueden inducir adaptaciones inmunológicas clave, mejorar la resistencia al estrés y promover un balance entre citoquinas pro- y antiinflamatorias.

### 3.3.3 Engorde / terminación:

En la fase de engorde o terminación (80 días, aproximadamente entre las 11 y 12 semanas de vida), el enfoque en la investigación sobre aditivos dietéticos se ha dirigido a comprender cómo los probióticos y la composición de la microbiota impactan no solo el crecimiento, sino también parámetros de calidad de la carne. Rybarczyk et al., (2020) evaluaron la inclusión de un probiótico EM® en dos dosis (0.3% y 0.5% en la dieta, vía oral) hasta el sacrificio en cerdos en engorde, encontrando un aumento en la presencia de bacterias ácido-lácticas (LAB) y una disminución en *Enterobacteriaceae* en la mucosa intestinal. Sin embargo, los efectos sobre el desempeño productivo no fueron consistentes: aunque se observó un impacto positivo en la salud intestinal, hubo una reducción en la ganancia diaria de peso (ADG) en las últimas cuatro semanas, acompañada de efectos adversos en parámetros de calidad de la carne, como mayores pérdidas por cocción, disminución en la jugosidad y alteraciones en color y textura. Estos hallazgos sugieren que, en esta fase, la modulación de la microbiota debe balancearse cuidadosamente con los efectos productivos y de calidad final del producto.

Por otro lado, Han et al., (2025) realizaron un estudio observacional en cerdos Yunong negros, donde mediante análisis del microbioma y variantes genómicas en 193 animales se identificaron asociaciones relevantes entre taxones microbianos y características productivas. En particular, *Coprococcus*, *Blautia*, *Ruminococcaceae* y *RF16* se correlacionaron con peso corporal e índice de masa corporal (IMC), mientras que genes como INPP4B, SCOC y PABPC4L se vincularon con la abundancia microbiana. Este enfoque

integrador entre microbiota y genómica aporta una visión más amplia sobre cómo la interacción entre factores nutricionales y genéticos puede condicionar el desempeño productivo en la etapa final de engorde.

Las investigaciones sobre el uso de probióticos durante la lactancia y la preiniciación muestran que su administración en estas etapas tempranas de la vida mejora la salud intestinal y la respuesta inmunitaria, además de ayudar a reducir la diarrea tras el destete. Estudios indican que la suplementación en la lactancia puede disminuir la colonización de *E. coli* y mejorar indicadores inmunológicos, lo que puede bajar la mortalidad en recién nacidos y preparar a los lechones para el destete. También se ha demostrado que ciertas especies de probióticos refuerzan la barrera intestinal y aumentan la producción de ácidos grasos beneficiosos.

Sin embargo, hay diferencias en la forma en que operan los probióticos: algunos actúan principalmente por mecanismos inmunomoduladores, mientras que otros son más eficaces en la conversión de alimentos y aumento de peso. Las combinaciones con nuevos aditivos pueden mejorar los resultados, pero complican la identificación de efectos específicos, en términos productivos, los probióticos son importantes para prevenir la diarrea posdestete y mejorar ciertos parámetros zootécnicos, aunque quedan retos, como el tamaño de las muestras y la duración de los estudios, que deben resolverse antes de aplicar estas estrategias comercialmente.

#### **4. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD EN CEPAS PROBIÓTICAS**

Desde la perspectiva de seguridad, una cepa candidata a probiótico debe cumplir criterios mínimos antes de ser considerada apta para su uso en animales productores de alimentos. En primer lugar, debe estar inequívocamente identificada a nivel de especie y cepa, idealmente mediante técnicas moleculares de alta resolución como la secuenciación genómica completa, y pertenecer preferentemente a especies con historial documentado de uso seguro o con estatus regulatorio favorable como QPS (Qualified Presumption of Safety) o GRAS (Generally Recognized As Safe). El término QPS, establecido por la European Food Safety Authority (EFSA), corresponde a una presunción calificada de seguridad que se otorga a microorganismos con antecedentes sólidos de uso inocuo en alimentos o piensos. Las especies con estatus QPS no requieren evaluaciones toxicológicas adicionales, siempre que las cepas no presenten genes de resistencia adquiridos ni factores de virulencia (EFSA, 2018).

Por su parte, GRAS, definido por la Food and Drug Administration (FDA), hace referencia a aquellas especies o cepas generalmente reconocidas como seguras, basadas en evidencia científica y consenso de expertos calificados, lo que permite su uso en alimentos o suplementos sin requerir aprobación adicional dentro de los límites establecidos (Pariza et al., 2015).

Además de su identificación taxonómica, es necesario demostrar la ausencia de factores de virulencia, toxinas y metabolitos indeseables (por ejemplo, aminas biógenas o D-lactato) y un comportamiento fisiológico compatible con el uso previsto (Roe et al., 2022). Uno de los criterios básicos de inocuidad es la ausencia de actividad hemolítica. Las cepas seguras deben ser  $\gamma$ -hemolíticas (sin hemólisis) cuando se cultivan en agar sangre, mientras que la presencia de  $\alpha$ - o  $\beta$ -hemólisis contraindica su uso como probiótico, pues podría reflejar producción de hemolisinas o citolisinas asociadas a virulencia (Peres et al., 2014; Zhou et al., 2022).

En cuanto a la resistencia a antimicrobianos, las guías de la EFSA proponen un enfoque escalonado de evaluación. En primer lugar, se determinan los valores de concentración mínima inhibitoria (CMI o MIC) frente a antibióticos de importancia clínica, y se comparan con los puntos de corte establecidos para la especie. Si los valores se encuentran dentro del rango esperado, la cepa se considera no portadora de resistencias adquiridas (EFSA, 2018).

Cuando se observan MIC elevadas, la cepa no debe descartarse de inmediato; en su lugar, se recomienda una evaluación genómica complementaria para identificar la presencia de genes de resistencia y determinar si estos son intrínsecos o adquiridos, verificando especialmente si se hallan en elementos genéticos móviles como plásmidos, transposones o islotes genómicos, los cuales podrían facilitar la transferencia horizontal de genes (Pariza et al., 2015; Laulund et al., 2017).

Solo aquellas cepas que carecen de genes de resistencia adquirida potencialmente transferibles no presentan actividad hemolítica, ni factores de virulencia o mecanismos de intercambio genético pueden considerarse probióticos seguros, conforme a los esquemas de decisión propuestos para cultivos microbianos de uso alimentario (Pariza et al., 2015; Binda et al., 2020). Este enfoque integral garantiza que las cepas seleccionadas mantengan no solo eficacia funcional, sino también compatibilidad con los estándares internacionales de bioseguridad para la producción animal y la cadena alimentaria

## **5. IMPLICACIONES PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA HUMANA**

### **5.1 Reducción de patógenos zoonóticos**

La salud del sistema digestivo de los cerdos es fundamental para evitar la presencia de patógenos zoonóticos, los cuales representan un importante riesgo para la salud de las personas, un intestino que funcione adecuadamente, con una integridad epitelial óptima y una microbiota variada, actúa como una barrera biológica que previene la multiplicación y propagación de microorganismos como *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* enterotoxigénica y *Clostridium perfringens*, que a menudo están relacionados con brotes de enfermedades transmitidas por alimentos de origen porcino. Varios de los estudios abordados han evidenciado que la incorporación de probióticos altera el ecosistema intestinal al fomentar la producción de ácidos grasos de cadena corta, optimizar la expresión de proteínas de unión estrecha (ZO-1, occludina) y reducir la inflamación en la zona, lo que restringe la colonización por bacterias patógenas (Liu et al., 2023; Zhang et al., 2024). Este ajuste no solo disminuye la cantidad de patógenos en el intestino, sino que también reduce su eliminación en las heces, lo cual es crucial, ya que la contaminación de la carne porcina ocurre mayormente durante el transporte, aturdimiento y evisceración, momentos en los que el contacto con las heces es casi inevitable.

La reducción en la eliminación de patógenos en las heces impacta de manera directa en la seguridad de los productos cárnicos, en los mataderos, los cerdos con una mejor salud digestiva muestran canales más limpios, con una carga microbiana superficial inferior y mejores parámetros relativos a la calidad higiénico-sanitaria, las investigaciones han evidenciado reducciones significativas en los recuentos de *Enterobacteriaceae*, mesófilos aerobios y bacterias que causan deterioro en canales de cerdos que han sido suplementados con probióticos, lo que se traduce en una carne que presenta un menor riesgo de descomposición, una mayor vida útil y una disminución en las probabilidades de transmisión de microorganismos patógenos a los consumidores (Rybarczyk et al., 2020). Asimismo, la disminución de la contaminación cruzada en las plantas de procesamiento favorece el cumplimiento de las normas microbiológicas requeridas por las regulaciones internacionales de exportación, donde la tasa de *Salmonella* es uno de los criterios más estrictos para la aceptación del producto.

### **5.2 Efectos en la seguridad e inocuidad de la carne**

Las repercusiones de la salud intestinal en los cerdos también abarcan la calidad técnica y sensorial de los productos que se obtienen, un intestino menos inflamado permite un metabolismo más eficiente, lo que se refleja en mejores atributos de pH, color, estabilidad oxidativa y capacidad para retener agua en la carne, esto ayuda a reducir las pérdidas por goteo, mejora la textura del producto final y limita el crecimiento microbiano asociado a pH elevados (Matsubara et al., 2025), además, la estabilización de la microbiota también disminuye la cantidad de compuestos tóxicos como aminas biógenas y metabolitos putrefactivos que afectan la calidad del producto durante su almacenamiento en refrigeración (Nordeste et al., 2017; J. Liu et al., 2023).

Desde un enfoque epidemiológico, la salud del intestino en cerdos se ve como un aspecto esencial para controlar la prevención de enfermedades que pueden ser transmitidas a través de los alimentos, al minimizar la cantidad de patógenos en la granja, se reduce la contaminación que se traslada al matadero, lo que a su vez disminuye la posibilidad de brotes relacionados con el consumo de carne contaminada, diversas investigaciones han evidenciado que disminuir la presencia de *Salmonella* en la granja está directamente relacionado con una menor contaminación en los productos cárnicos y las canales, lo que

subraya la relevancia de abordar el ecosistema intestinal como una medida preventiva (Rybarczyk et al., 2020).

### 5.3 Salud intestinal y su resistencia antimicrobiana

En este marco, el concepto de "One Health" permite apreciar la relación entre la salud intestinal de los cerdos, la resistencia a los antimicrobianos y los riesgos sanitarios para los consumidores, cuando el intestino del cerdo se encuentra en buen estado, la necesidad de usar antibióticos se reduce, atenuando la presión selectiva que promueve la aparición y permanencia de los genes responsables de la resistencia a los antimicrobianos (ARGs). Investigaciones recientes han señalado que probióticos como *Bacillus coagulans* y *Clostridium butyricum* disminuyen la presencia de genes como tetM, ermB y aac(6)-Ib, que están vinculados a la resistencia contra tetraciclinas, macrólidos y aminoglucósidos, mediante mecanismos que incluyen la competencia entre microorganismos y la exclusión de bacterias que llevan plásmidos móviles (Tang, 2024; Sun et al., 2022). Esta disminución es significativa, ya que los ARGs pueden transferirse a los humanos a través de carne contaminada, el contacto directo con animales o el medio ambiente, sobre todo mediante la diseminación de bacterias resistentes en aguas residuales, suelos y aerosoles procedentes de la producción intensiva (EFSA, 2018).

Además, la salud intestinal de los cerdos colabora en reducir la liberación de patógenos resistentes al medio ambiente, lo que ofrece protección a comunidades rurales, trabajadores de granjas y consumidores. Según el enfoque One Health, la salud intestinal en los cerdos deja de ser solo una cuestión de productividad y se convierte en un elemento de importancia sanitaria global, afectando la propagación de patógenos y de material genético que incide en la salud pública (Han et al., 2025).

Por último, la incorporación de probióticos como un recurso para mejorar la salud intestinal de los cerdos no solo aporta en términos de rendimiento y bienestar animal, sino que se establece como un factor clave para asegurar sistemas alimentarios más seguros, sostenibles y adaptables. Al reducir la carga de microorganismos patógenos, disminuir la dependencia de antibióticos, limitar la transmisión de ARGs y mejorar la seguridad de la carne, los probióticos emergen como una estrategia fundamental para minimizar riesgos alimentarios, cumplir con los estándares internacionales de inocuidad y fortalecer la salud pública desde la base de la producción (Barba-Vidal et al., 2019; Vasquez et al., 2022).

## 6. SÍNTESIS CRÍTICA DE LA EVIDENCIA ABORDADA

La evidencia analizada muestra que los probióticos representan una alternativa prometedora para mejorar la salud intestinal porcina; sin embargo, los resultados presentan una marcada heterogeneidad asociada a diferencias en las cepas, los diseños experimentales y las condiciones de los animales. Por ejemplo, *Bacillus subtilis* y *Enterococcus hirae* redujeron significativamente patógenos intestinales y mejoraron la integridad intestinal (Liu et al., 2023; Zhang et al., 2024), mientras que la mezcla probiótica comercial EM® mostró mejoras microbianas pero afectó negativamente la ganancia diaria de peso y la calidad de la carne (Rybarczyk et al., 2020). Estas divergencias resaltan que los probióticos no producen efectos universales, sino dependientes de factores específicos de la cepa y del contexto productivo.

Del mismo modo, los estudios evidencian que distintas cepas actúan mediante mecanismos diferenciados. *Lactobacillus sakei* mejoró el metabolismo de aminoácidos y la producción de ácidos grasos de cadena corta (Matsubara et al., 2025), *Lactobacillus mucosae* asociado a manano-oligosacáridos (MOS) moduló la respuesta inmune reduciendo citoquinas proinflamatorias (Y. Li et al., 2021), mientras que *L. reuteri* incrementó la capacidad antioxidante mediante aumento de coenzima Q10 (D. Sun et al., 2025). Asimismo, *L. johnsonii* N5 demostró efectos protectores frente al estrés térmico al aumentar la expresión de HSP70 y fortalecer la inmunidad (Yuan et al., 2023). Estas diferencias funcionales subrayan la importancia de seleccionar las cepas según los objetivos sanitarios o productivos del sistema.

En términos metodológicos, la literatura muestra limitaciones recurrentes: ausencia de estandarización de dosis y tiempos (T. Sun et al., 2022; Phaengphairee et al., 2023), tamaños muestrales reducidos que

dificultan la extrapolación (Lan et al., 2024; Wang et al., 2022) y escaso reporte de cegamientos experimentales en varios estudios (Liu et al., 2023). Además, el uso de combinaciones probióticas con prebióticos, enzimas o ingredientes novedosos como larvas de *Hermetia illucens* (Phaengphairee et al., 2023) dificulta aislar el efecto individual de cada intervención, lo que compromete la reproducibilidad y la claridad de los mecanismos.

Otro vacío importante es la limitada evidencia que vincula directamente los beneficios intestinales con la inocuidad del producto final. Si bien varios estudios reportan mejoras en microbiota, diarrea y barrera intestinal (D. Sun et al., 2025; Du et al., 2022; Zhang et al., 2024), pocos evalúan su impacto en la calidad de la carne. El trabajo de Rybarczyk et al. (2020) mostró que, pese a la mejora en la composición microbiana, se observaron efectos adversos en el rendimiento productivo y en parámetros tecnológicos de carne, lo que evidencia que la manipulación de la microbiota no siempre se traduce en mejoras integrales a lo largo de la cadena.

En lo referente a genes de resistencia antimicrobiana (ARGs), algunos estudios incluidos en la discusión del documento muestran que probióticos como *Bacillus coagulans* y *Clostridium butyricum* reducen la abundancia de genes *tetM*, *ermB* y *aac(6)-Ib*, mediante competencia microbiana y exclusión de bacterias portadoras de plásmidos móviles (Tang, 2024; Sun et al., 2022). No obstante, persisten preocupaciones sobre la posibilidad de cepas con resistencia intrínseca o adquirida, lo que coincide con las advertencias sobre seguridad probiótica mencionadas en secciones previas (Binda et al., 2020; EFSA, 2018). Este aspecto es crítico bajo el enfoque One Health, porque la transferencia horizontal de ARGs desde animales hacia humanos puede ocurrir a través de carne contaminada, aerosoles o el ambiente (EFSA, 2018).

Finalmente, aunque la mayoría de estudios muestra beneficios en diarrea, integridad intestinal y parámetros inmunológicos, la ausencia de ensayos multicéntricos, estandarizados y a largo plazo limita la capacidad de emitir recomendaciones definitivas sobre cepas, dosis o métodos de administración. La evidencia disponible indica que los probióticos son herramientas prometedoras, pero aún requieren mayor robustez científica para su implementación universal en porcicultura comercial (Liu et al., 2023; Lan et al., 2024; Rybarczyk et al., 2020).

## 7. CONCLUSIONES

El abordaje realizado se basa en una revisión exhaustiva de 15 investigaciones publicadas entre 2020 y 2025, y concluye que los probióticos son una alternativa efectiva y sostenible frente a los antibióticos tradicionales en la producción de cerdos. En general, los artículos estudiados concuerdan en que estas intervenciones microbianas favorecen la integridad de la barrera intestinal, refuerzan la respuesta inmune a nivel local y mejoran aspectos productivos como el aumento de peso, el índice de conversión alimentaria y la estabilidad metabólica, además, varios probióticos analizados, que incluyen géneros como *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Enterococcus* y especies emergentes como *Akkermansia muciniphila*, demostraron ser eficaces en la reducción de la colonización por patógenos importantes como *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* y *Enterobacteriaceae*, lo que disminuye la frecuencia de diarrea y los efectos del estrés fisiológico relacionados con el destete.

Al revisar los resultados entre diferentes estudios, se observan claras similitudes en los efectos sobre la salud intestinal, aunque también se presentan diferencias debido a la diversidad en las cepas utilizadas, las dosis, la duración del tratamiento y los modelos experimentales aplicados, por ejemplo, algunos estudios indican mejoras significativas en la expresión de proteínas de unión estrecha y en la producción de ácidos grasos de cadena corta, mientras que otros reportan resultados menos destacados o inconsistentes, especialmente cuando los probióticos se administran en combinaciones complejas o en condiciones ambientales adversas, estas variaciones destacan la necesidad de estandarizar los protocolos de investigación y de investigar más a fondo la interacción entre la genética del hospedador y la microbiota.

Respecto a la aplicabilidad, los resultados revisados tienen un impacto directo en la productividad, la salud animal y, en particular, en la seguridad alimentaria para los humanos. La reducción de patógenos intestinales, como se ha observado en estudios con *Bacillus subtilis* y *Enterococcus hirae*, puede disminuir

la excreción fecal de microorganismos zoonóticos, lo que posteriormente reduce la contaminación de canales y productos cárnicos en mataderos.

Finalmente, aunque los probióticos se presentan como opciones alentadoras para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción, existen lagunas de conocimiento que necesitan más estudio, algunos de estos aspectos incluyen: la necesidad de realizar ensayos multicéntricos con muestras más grandes; la caracterización adecuada de las cepas de nueva generación (NGPs) como *Prevotella spp.*; la evaluación de los efectos a largo plazo en ciclos completos de producción; y el monitoreo del posible riesgo de transferencia horizontal de genes de resistencia desde microorganismos considerados beneficiosos hacia patógenos oportunistas. Enfrentar estos retos permitirá avanzar hacia una implementación más segura, estandarizada y eficiente de probióticos en la producción porcina, consolidando su papel dentro de estrategias integrales que fomenten una salud animal óptima, productos cárnicos más seguros y sistemas agropecuarios acordes con el paradigma One Health.

## 8. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de este proceso. Gracias por darme la sabiduría, la constancia y la serenidad necesarias para superar los desafíos y llegar hasta este momento tan importante de mi vida académica.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la disciplina y la honestidad. Este logro también es de ustedes, porque sin su apoyo nada de esto habría sido posible. A mi hermano, por su cariño, comprensión y por estar siempre dispuesto a ayudarme. Gracias por tu compañía, por las palabras de ánimo en los momentos difíciles y por ser una motivación más para seguir creciendo y alcanzando mis metas. A mi novio, por su apoyo inquebrantable, paciencia y confianza en mí. Gracias por estar presente en cada paso, por acompañarme con amor y comprensión, y por impulsarme a dar siempre lo mejor de mí, incluso cuando el cansancio parecía ganar. Al profesor Carlos Cabrera, por su valiosa orientación, dedicación y compromiso académico. Gracias por compartir su conocimiento con tanta entrega, por su acompañamiento constante y por ser una guía fundamental en la realización de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, directa o indirectamente, hicieron parte de este proceso. Cada consejo, palabra de aliento y gesto de apoyo contribuyó significativamente a la culminación de esta meta, que representa no solo un logro académico, sino también personal.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amat, S., Lantz, H., Munyaka, P. M., & Willing, B. P. (2020). *Prevotella* in pigs: The positive and negative associations with production and health. In *Microorganisms* (Vol. 8, Issue 10, pp. 1–27). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101584>
- Armijo, A. (2022). *Uso de aditivos promotores del crecimiento en la alimentación del ganado porcino*.
- Barba-Vidal, E., Martín-Orúe, S. M., & Castillejos, L. (2019). Practical aspects of the use of probiotics in pig production: A review. In *Livestock Science* (Vol. 223, pp. 84–96). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.02.017>
- Binda, S., Hill, C., Johansen, E., Obis, D., Pot, B., Sanders, M. E., Tremblay, A., & Ouwehand, A. C. (2020). Criteria to Qualify Microorganisms as “Probiotic” in Foods and Dietary Supplements. *Frontiers In Microbiology*, 11, 1662. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01662>
- Castaño, J. (2023). *Probióticos en la Alimentación Porcina, los Potenciales Beneficios y Aplicaciones en la Porcicultura Colombiana*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).
- Du, H., Yao, W., Fakhar-E-, M., Kulyar, A., Ding, Y., Zhu, H., Pan, H., Li, K., Bhutta, Z. A., Liu, S., & Li, J. (2022). *Effects of Bacillus amyloliquefaciens TL106 Isolated from Tibetan Pigs on Probiotic Potential and Intestinal Microbes in Weaned Piglets*. <https://journals.asm.org/journal/spectrum>
- EFSA. (2018). Guidance on the assessment of bacterial susceptibility to antimicrobials of human and veterinary importance. European Food Safety Authority. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5131>
- Han, J., Wang, M., Zhou, S., Wang, Z., Duan, D., Li, M., Li, X., Xin, W., & Li, X. (2025). The Joint Contribution of Host Genetics and Probiotics to Pig Growth Performance. *Microorganisms*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/microorganisms13020358>
- Jiang, Z., Yang, M., Su, W., Mei, L., Li, Y., Guo, Y., Li, Y., Liang, W., Yang, B., Huang, Z., & Wang, Y. (2024).

- Probiotics in piglet: from gut health to pathogen defense mechanisms. In *Frontiers in Immunology* (Vol. 15). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1468873>
- Kim, S. W., Gormley, A., Jang, K. B., & Duarte, M. E. (2024). — Invited Review — Current status of global pig production: an overview and research trends. In *Animal Bioscience* (Vol. 37, Issue 4, pp. 719–729). Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0367>
- Laulund, S., Wind, A., Derkx, P. M. F., & Zuliani, V. (2017). Regulatory and Safety Requirements for Food Cultures. *Microorganisms*, 5(2), 28. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5020028>
- Lan, C., Li, H., Shen, Y., Liu, Y., Wu, A., He, J., Cai, J., Tian, G., Mao, X., Huang, Z., Yu, B., Zheng, P., Yu, J., Luo, J., Yan, H., & Luo, Y. (2024). Next-generation probiotic candidates targeting intestinal health in weaned piglets: Both live and heat-killed *Akkermansia muciniphila* prevent pathological changes induced by enterotoxigenic *Escherichia coli* in the gut. *Animal Nutrition*, 17, 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.007>
- Li, J., Bai, J., Yang, Y., & Wu, Z. (2024). Low-protein diet supplemented with 1% L-glutamine improves growth performance, serum biochemistry, redox status, plasma amino acids, and alters fecal microbiota in weaned piglets. *Animal Nutrition*, 17, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.12.009>
- Li, Y., San Andres, J. V., Trenhaile-Grannemann, M. D., van Sambeek, D. M., Moore, K. C., Winkel, S. M., Fernando, S. C., Burkey, T. E., & Miller, P. S. (2021). Effects of mannan oligosaccharides and *Lactobacillus mucosae* on growth performance, immune response, and gut health of weanling pigs challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharides. *Journal of Animal Science*, 99(12). <https://doi.org/10.1093/jas/skab286>
- Liu, J., Ma, X., Zhuo, Y., Xu, S., Hua, L., Li, J., Feng, B., Fang, Z., Jiang, X., Che, L., Zhu, Z., Lin, Y., & Wu, D. (2023). The Effects of *Bacillus subtilis* QST713 and  $\beta$ -mannanase on growth performance, intestinal barrier function, and the gut microbiota in weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 101. <https://doi.org/10.1093/jas/skad257>
- Matsubara, K., Li, J., Enomoto, Y., Takahashi, T., Ma, M., Ninomiya, R., Kazami, D., Miura, K., & Hirayama, K. (2025). Beneficial Role of Heat-Treated *Lactobacillus sakei* HS-1 on Growth Performance, Nutritional Status and Gut Microbiota in Weaned Piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 109(2), 362–375. <https://doi.org/10.1111/jpn.14056>
- Nordeste, R., Tessema, A., Sharma, S., Kovač, Z., Wang, C., Morales, R., & Griffiths, M. W. (2017). Molecules produced by probiotics prevent enteric colibacillosis in pigs. *BMC Veterinary Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1246-6>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. In *BMJ* (Vol. 372). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Peres, C. M., Peres, C., Hernández-Mendoza, A., & Malcata, F. X. (2012). *Review on fermented plant materials as carriers and sources of potentially probiotic lactic acid bacteria – With an emphasis on table olives*. *Trends in Food Science & Technology*, 26(1), 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.01.006>
- Pariza, M. W., Gillies, K. O., Kraak-Ripple, S. F., Leyer, G., & Smith, A. B. (2015). Determining the safety of microbial cultures for consumption by humans and animals. *Regulatory toxicology and pharmacology : RTP*, 73(1), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.07.003>
- Phaengphairee, P., Boontiam, W., Wealleans, A., Hong, J., & Kim, Y. Y. (2023). Dietary supplementation with full-fat *Hermetia illucens* larvae and multi-probiotics, as a substitute for antibiotics, improves the growth performance, gut health, and antioxidative capacity of weaned pigs. *BMC Veterinary Research*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03550-8>
- Roe, A. L., Boyte, M. E., Elkins, C. A., Goldman, V. S., Heimbach, J., Madden, E., Oketch-Rabah, H., Sanders, M. E., Sirois, J., & Smith, A. (2022). Considerations for determining safety of probiotics: A USP perspective. *Regulatory toxicology and pharmacology : RTP*, 136, 105266. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2022.105266>
- Rondon, L., Añez, M., Salvatierra, A., Meneses, R., & Heredia, M. (2015). Probióticos: Generalidades. *ARCHIVOS VENEZOLANOS DE PUERICULTURA Y PEDIATRÍA*, 78(4).

- Rybarczyk, A., Bogusławska-Wąs, E., & Łupkowska, A. (2020). Effect of EM® probiotic on gut microbiota, growth performance, carcass and meat quality of pigs. *Livestock Science*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104206>
- Saha, S., Namai, F., Nishiyama, K., Villena, J., & Kitazawa, H. (2024). Role of immunomodulatory probiotics in alleviating bacterial diarrhea in piglets: a systematic review. In *Journal of Animal Science and Biotechnology* (Vol. 15, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01070-z>
- Soraci, A., Ds, P., Sn, D., & Mo, T. (2010). USO ESTRATÉGICO DE ADITIVOS: IMPACTO SOBRE EL EQUILIBRIO Y SALUD GASTROINTESTINAL DEL LECHÓN STRATEGIC USE OF ADDITIVES: IMPACT ON GASTRO-INTESTINAL EQUILIBRIUM-HEALTH IN PIGLETS. *A. Soraci y Col. 42 AnAlectA Vet*, 30(1), 42–53.
- Sun, D., Tong, W., Han, S., Wu, M., Li, P., Li, Y., & Liang, Y. (2025). Effects of Dietary Supplementation with *Lactobacillus reuteri* Postbiotics on Growth Performance, Intestinal Flora Structure and Plasma Metabolome of Weaned Piglets. *Animals*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/ani15020204>
- Sun, T., Miao, H., Zhang, C., Wang, Y., Liu, S., Jiao, P., Li, W., Li, Y., & Huang, Z. (2022). Effect of dietary *Bacillus coagulans* on the performance and intestinal microbiota of weaned piglets. *Animal*, 16(7). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100561>
- Tang, X. (2024). Probiotic Roles of *Clostridium butyricum* in Piglets: Considering Aspects of Intestinal Barrier Function. In *Animals* (Vol. 14, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ani14071069>
- Vasquez, R., Oh, J. K., Song, J. H., & Kang, D. K. (2022). Gut microbiome-produced metabolites in pigs: a review on their biological functions and the influence of probiotics. In *Journal of Animal Science and Technology* (Vol. 64, Issue 4, pp. 671–695). Korean Society of Animal Sciences and Technology. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e58>
- Wang, L., Liu, Q., Chen, Y., Zheng, X., Wang, C., Qi, Y., Dong, Y., Xiao, Y., Chen, C., Chen, T., Huang, Q., Zhai, Z., Long, C., Yang, H., Li, J., Wang, L., Zhang, G., Liao, P., Liu, Y. X., ... Yin, Y. (2022). Antioxidant potential of *Pediococcus pentosaceus* strains from the sow milk bacterial collection in weaned piglets. *Microbiome*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01278-z>
- Wieërs, G., Belkhir, L., Enaud, R., Leclercq, S., Philippart de Foy, J. M., Dequenne, I., de Timary, P., & Cani, P. D. (2020). How Probiotics Affect the Microbiota. In *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2019.00454>
- Yang, H., Fan, X., Mao, X., Yu, B., He, J., Yan, H., & Wang, J. (2024). The protective role of prebiotics and probiotics on diarrhea and gut damage in the rotavirus-infected piglets. In *Journal of Animal Science and Biotechnology* (Vol. 15, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01018-3>
- Yuan, L., Zhu, C., Gu, F., Zhu, M., Yao, J., Zhu, C., Li, S., Wang, K., Hu, P., Zhang, Y., Cai, D., & Liu, H. Y. (2023). *Lactobacillus johnsonii* N5 from heat stress-resistant pigs improves gut mucosal immunity and barrier in dextran sodium sulfate-induced colitis. *Animal Nutrition*, 15, 210–224. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.04.012>
- Zhang, L. L., Wu, Z. C., Li, J. Y., Li, H. K., Liu, Z. M., Wang, J., & Tan, B. E. (2024). Ningxiang pig-derived *Enterococcus hirae* HNAU0516 ameliorates postweaning diarrhoea by promoting intestinal health and modulating the gut microbiota in piglets. *Animal*, 18(9). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101220>
- Zhou, Y., Gong, W., Xu, C., Zhu, Z., Peng, Y., & Xie, C. (2022). Probiotic assessment and antioxidant characterization of *Lactobacillus plantarum* GXL94 isolated from fermented chili. *Frontiers in microbiology*, 13, 997940. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.997940>