



Review [Revisión]

PROBIÓTICOS: ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDA EN CONDICIONES DE ESTRÉS POR CALOR†

[PROBIOTICS: ALTERNATIVE FOR BROILER PRODUCTION UNDER HEAT STRESS CONDITIONS]

Ana Cecilia Hernández-Coronado, Miguel Cervantes-Ramírez
and Adriana Morales-Trejo*

Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas,
Carretera a Delta s/n C.P. 21705. Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California,
México. E-mail: ana.hernandez16@uabc.edu.mx,
miguel_cervantes@uabc.edu.mx, adriana_morales@uabc.edu.mx *

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Currently, poultry industry faces the challenge of maintaining high production levels even with the prohibition on the use of antibiotics as growth promoters, and the direct effects of heat stress on birds. The above leads to search for natural alternatives that contribute to maintain production without compromising the health of the birds or the consumer. With this problem, probiotics are considered safe and natural additives that are beginning to be used in poultry diets, whose results may vary depending on the climatic conditions and the response variables analyzed. **Objective:** To present a review regarding the impact of probiotics on broiler production, their mechanisms of action and their effects on animal health, with emphasis on poultry production under heat stress conditions. **Methodology:** An exhaustive literature search related to the topics mentioned in the objective was done using digital means for scientific information inquiry, especially in journals with high scientific impact. Original research and review articles published during the last five years, as well as articles considered as classical, were selected. The results of this search were discussed and analyzed for the preparation of the review. **Results:** The probiotic concept is defined, the species of microorganisms used to prepare a probiotic for animal nutrition are mentioned, and the characteristics and mode of action of probiotics are described. The results observed consistently upon the inclusion of probiotics in the diets of broilers reared under both thermoneutral and heat stress conditions are discussed. In addition, advantages and disadvantages of probiotics in the diet as well as changes in international regulations favoring their dietary inclusion to promote a safe and sustainable poultry production are included in this review. **Implications:** Scientific evidences support the use of probiotics as a suitable alternative to improve the wellbeing of broilers and the efficiency of the poultry industry under heat stress conditions; however, it is important to know the microorganism type, its characteristics, dosage and benefits of using it with regards to the probiotic being used, in relation to the production system where it will be used. **Conclusion:** The use of probiotics in diets for broilers reared under heat stress conditions is an interesting alternative aimed at reducing economical losses and improving the wellbeing of the birds.

Key words: Probiotics; feed additives; poultry; thermal stress.

RESUMEN

Antecedentes: Actualmente la avicultura enfrenta el desafío de mantener niveles elevados de producción aun ante problemas como la prohibición en el uso de antibióticos como promotores de crecimiento, y ante los efectos directos del estrés por calor en las aves. Lo anterior ha llevado a la búsqueda de alternativas naturales para mantener la producción sin comprometer la salud de las aves ni del consumidor. Ante esta problemática, los probióticos se consideran aditivos seguros y naturales que comienzan a ser utilizados en las dietas de las aves, cuyos resultados pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas en que se evalúan y las variables analizadas. **Objetivo:** presentar una revisión acerca del impacto de los probióticos en la producción de pollos de engorda, sus mecanismos de acción y sus efectos en la salud animal, con énfasis en la producción de aves realizada en condiciones de estrés por calor. **Metodología:** Se realizó una búsqueda exhaustiva de publicaciones relacionadas con los temas descritos en el objetivo empleando medios digitales de consulta de información científica, específicamente en revistas científicas de alto impacto. Se seleccionaron los artículos de investigación y revisiones publicadas en los últimos cinco años, aunque también se incluyeron artículos que por su trascendencia son considerados clásicos. Los

† Submitted October 13, 2024 – Accepted May 27, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5922>



Copyright © the authors. Work licensed under a [CC-BY 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = A.C. Hernández-Coronado: <https://orcid.org/0000-0001-8312-054X>; M. Cervantes Ramírez: <https://orcid.org/0000-0003-3713-8305>; A. Morales Trejo: <https://orcid.org/0000-0002-6721-2257>

resultados de la búsqueda fueron discutidos y analizados para integrar el presente documento de revisión. **Resultados:** Se define el concepto de probiótico y se mencionan las especies probióticas empleadas en nutrición animal, se describen sus características y mecanismos de acción, y se discute acerca de resultados observados consistentemente tras la administración de probióticos en aves de engorda tanto en ambiente termoneutral como en condiciones de estrés por calor. Se incluyen ventajas y desventajas de su administración y se mencionan algunos cambios en la legislación internacional que favorecen el uso de probióticos para fomentar una producción animal segura. **Implicaciones:** Las evidencias científicas respaldan el uso de probióticos como alternativa viable para mejorar el bienestar de las aves y la eficiencia de la producción avícola en condiciones de estrés por calor; sin embargo, antes de elegir un producto en particular se debe revisar la cepa que contiene, sus características particulares, dosis y beneficios, en relación al sistema de producción en donde se vaya a utilizar. **Conclusión:** La administración de probióticos a aves de engorda criadas en condiciones de estrés por calor constituye una alternativa para reducir las pérdidas en la producción y mejorar el bienestar de las aves.

Palabras clave: Probióticos; aditivos; aves; estrés térmico.

INTRODUCCIÓN

La carne de pollo es actualmente la más demandada en el mundo debido a su bajo costo y a que representa una excelente fuente de proteína animal; con un consumo per cápita anual de alrededor de 15 kg, en comparación con otras fuentes de carne, incluidas cerdo, res, oveja y cabra (Choi *et al.*, 2023). A consecuencia de la demanda, la producción de carne de pollo aumentó de 9 a 133 millones de toneladas entre 1961 y 2020 (FAO, 2023). Para lograr este nivel de producción, la industria avícola ha desarrollado una extensa selección genética y sistemas de alimentación que permite obtener pollos con peso final 2.5 a 3 kg en ciclos de producción de entre 35 y 42 días. Lo anterior exige a las aves mantener un metabolismo acelerado (Fernandes *et al.*, 2023; Lee and Mienaltowski, 2023); pero se han vuelto más sensibles al estrés derivado de cambios en las condiciones ambientales, y a la presencia de enfermedades en la parvada (Perricone *et al.*, 2022).

La temperatura ambiental es un factor estresante de importancia en la industria avícola que paulatinamente se ha ido intensificando a consecuencia del cambio climático (Oladokun *et al.*, 2023). En este sentido, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, documentó un aumento de 1.53 °C en la temperatura ambiental durante 2006-2015, y prevé que seguirá aumentando gradualmente hacia finales del siglo XXI. En consecuencia, el estrés por calor en las aves también se continuará intensificando (Casanueva *et al.*, 2023).

Las aves de engorda son capaces de demostrar su máximo potencial de producción cuando la temperatura ambiental en donde se crían fluctúa entre 18 a 22°C, si esta temperatura se incrementa por arriba de este rango las aves comienzan a padecer estrés por calor (Moustafa *et al.*, 2021). Además, el problema se vuelve más importante, ya que la ausencia de glándulas sudoríparas y la cobertura de plumas dificulta la pérdida de calor en las aves (Abd El-Ghany and Babazadeh, 2022).

Existen diversas alternativas para solventar el estrés derivado de la producción intensiva de aves, tales como la administración de antibióticos en el alimento como promotores de crecimiento,

programas de bioseguridad, y vacunas para la prevención y control de enfermedades (Mehmood *et al.*, 2023). El uso de antibióticos para aves en estrés por calor podría parecer una alternativa viable debido a que en esta condición se compromete el sistema inmunitario y los pollos de engorda se vuelven más susceptibles a infecciones bacterianas (Cole and Desphande, 2019); sin embargo, su administración en el alimento incrementa su acumulación residual en la carne, favorece la generación de bacterias resistentes (Haque *et al.*, 2020), y puede provocar reacciones alérgicas y debilitamiento del sistema inmunitario de los consumidores (Mohammadi, Saghalian and Boccia, 2023). Por lo anterior, los consumidores demandan cada vez más productos cárnicos libres de antibióticos, lo cual cambia la perspectiva futura en la producción avícola (Park *et al.*, 2020).

Una alternativa al uso de antibióticos en la producción avícola es el uso de probióticos, éstos no generan residuos ni efectos secundarios (Zhang, Liu and Jia, 2022), además, de que pueden mejorar la eficiencia alimenticia, la salud intestinal, y mantener el crecimiento rápido de los pollos, asegurando una producción de carne libre de antibióticos (Haque *et al.*, 2020; Ismail *et al.*, 2023).

El objetivo de esta revisión fue documentar las características y mecanismos de acción de los probióticos en las aves de engorda; así como describir los principales efectos derivados de la inclusión de probióticos en la dieta de las aves en su producción y salud, con énfasis en aves alojadas en condiciones de estrés por calor.

METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda de publicaciones científicas relacionadas con el objetivo del trabajo. Para la búsqueda se emplearon medios digitales de información como las bases de datos de PubMed, Science Direct; o directamente en páginas de revistas científicas (p. ej., Animals, Journal of Animal Science, Journal of Poultry Science, Microorganisms), empleando diferentes combinaciones de las palabras clave “probiotic”, “broiler”, “poultry”, “chicken”, “heat stress”, “small intestine”, “microbiota”, “bacillus”, “lactobacillus”

(“probiótico”, “pollo de engorda”, “ave de corral”, “estrés por calor”, “intestino delgado”, “microbiota”, “*bacillus*”, “*lactobacillus*”). Se seleccionaron publicaciones recientes, la mayoría de los últimos cinco años (2019 a 2024). Aunque para cuestión de definiciones básicas del problema, se consultaron cinco publicaciones clásicas de mayor antigüedad. Para el análisis y discusión de la información se seleccionaron únicamente artículos de investigación y revisiones bibliográficas de revistas científicas de alto impacto incluidas en el índice de JCR, todos ellos escritos en idioma inglés. Inicialmente se seleccionaron alrededor de 150 publicaciones, de las cuales se hace referencia a 83 en el presente documento. Para el apartado de legislación se consultaron los reglamentos vigentes relacionados con el uso de probióticos en animales. Se excluyeron aquellos artículos en los cuales no fue posible acceder a sus versiones originales completas.

La información contenida en los documentos obtenidos de la búsqueda bibliográfica fue clasificada de acuerdo con los siguientes temas: 1) características generales y mecanismos de acción de los probióticos; 2) trabajos de investigación en los que se hubiera evaluado el uso de probióticos en aves en producción en condición termoneutral con y sin desafío inmunológico; 3) trabajos de investigación que hubieran aplicado probióticos a aves en producción bajo condiciones de estrés por calor; 4) misceláneos. Toda la información seleccionada fue discutida y analizada para integrar el presente documento de revisión.

CONCEPTOS GENERALES DE PROBIÓTICOS

La definición de probiótico proviene de las palabras griegas “pro” y “bios”, que significan “para toda la vida”, y se ha referido a microorganismos vivos que naturalmente ayudan a mejorar la salud del huésped, cuando se consumen en cantidades apropiadas y como parte de una dieta equilibrada (Camacho, Macedo and Malacata, 2019). De acuerdo con la FAO/OMS, los probióticos también se definen como “microorganismos vivos que, administrados en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped” (Abd El-Hack *et al.*, 2022).

La industria avícola ha observado a los probióticos como promotores de crecimiento saludables, que también podrían contribuir en el control de algunas enfermedades en las aves (Ruvalcaba-Gómez *et al.*, 2022). Específicamente, uno de los atributos más importantes de los probióticos es su capacidad para estabilizar el ecosistema intestinal ya que estos microorganismos compiten con patógenos entéricos por los nutrientes y los sitios de unión intestinal, estableciendo un equilibrio en la microbiota, lo que favorece la integridad del epitelio, mejorando la capacidad de la barrera intestinal (Abou-Kassem *et al.*, 2021; El-saadony *et al.*, 2022).

Las especies autorizadas para ser empleadas como aditivos alimentarios, o probióticos, por la Unión Europea son: *Bacillus cereus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici*, *Lactobacillus farciminis*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus infantarius* y *Saccharomyces cerevisiae* (Applegate *et al.*, 2010). En aves de engorda las especies probióticas incluyen a los géneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*, *Lactococcus* y *Enterococcus*, que pueden ser empleadas en forma de cepas únicas o multicepa (Rasaei *et al.*, 2023). En particular, *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* son habitantes naturales del tracto gastrointestinal y son clasificados como seguros (Soni *et al.*, 2022). Otro género ampliamente utilizado como probiótico es *Bacillus ssp.*, que se caracteriza por su resistencia a altas temperaturas y facilidad de almacenamiento. Además, están disponibles comercialmente *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 y *Bacillus subtilis* DSM 32315, entre otros. Estas cepas también han sido utilizadas para disminuir o eliminar los efectos negativos causados por *Escherichia coli* y *Clostridium perfringens* (Karppegiane De Oliveira *et al.*, 2019; Sokale *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2021; Larsberg *et al.*, 2023).

Mecanismos de acción

Se ha demostrado que los probióticos ofrecen múltiples efectos benéficos a los pollos que, en su mayoría, están relacionados con la mejora en el estado de salud y en la capacidad de las aves para adaptarse al estrés ambiental (Ramlucken *et al.*, 2020; Zou *et al.*, 2022). No obstante, sus beneficios varían dependiendo de la especie, cepa, método de aplicación, dosis, factores ambientales y desafíos de enfermedades (Fuhrmann *et al.*, 2022). Algunos de los principales mecanismos de acción propuestos para los probióticos se describen a continuación:

Protección por exclusión

Las bacterias probióticas compiten por los sitios de unión y por los nutrientes del intestino con otros microorganismos de la microbiota intestinal, limitando el crecimiento de otras bacterias, incluidas algunas cepas patógenas (Idrees *et al.*, 2022; Mehmood *et al.*, 2023). Existen dos estrategias competitivas: por explotación y por interferencia. La primera resulta del consumo rápido de nutrientes debido a la secreción de moléculas extracelulares, restringiendo la disponibilidad de recursos para los competidores. Por ejemplo, algunas especies de *Bifidobacterium* compiten con *Porphyromonas gingivalis* por la vitamina K como factor de crecimiento, inhibiendo el crecimiento de este patógeno (Ma, Suzuki and Luo, 2018). En la segunda estrategia, los probióticos actúan directamente sobre los patógenos mediante la producción de compuestos antimicrobianos (Rabetafika, Ebenso and

Razafindralambo, 2023). En el caso de *Lactobacillus*, éstos se adhieren a los enterocitos y modulan la respuesta inmunitaria del huésped con su producción de metabolitos como el ácido láctico que inhibe el crecimiento de patógenos en el tracto intestinal (Juricova *et al.*, 2022). A su vez, se ha demostrado la efectividad de inhibición de bacterias del género *Campylobacter* con diferentes especies de *Lactobacillus*: *L. salivarius*, *L. johnsonii*, *L. reuteri*, *L. crispatus* y *L. gasseri* (Taha-Abdelaziz *et al.*, 2023).

Secreción de péptidos y compuestos antimicrobianos

Algunos probióticos inhiben el crecimiento de patógenos a través de la producción de compuestos tóxicos o antimicrobianos, que incluyen bacteriocinas, ácidos orgánicos, ácidos grasos de cadena corta y peróxido de hidrógeno (Ma, Suzuki and Luo, 2018; Idrees *et al.*, 2022). En conjunto, estos compuestos antimicrobianos, reducen el pH intestinal y crean un ambiente selectivo que inhibe el crecimiento de patógenos (Siddique *et al.*, 2021). *Bifidobacterium*, por ejemplo, produce acetato importante para el mantenimiento de las células epiteliales intestinales que además previene la translocación de las toxinas producidas por *E. coli* (Fukuda *et al.*, 2011). *Bacillus subtilis*, genera péptidos antimicrobianos que debilitan la membrana de otras bacterias (Popov *et al.*, 2021), y consume oxígeno, con lo que contribuye a mantener un ambiente anaerobio e inhibir el crecimiento de bacterias aeróbicas dañinas (Zhang *et al.*, 2021).

Secreción de enzimas digestivas

Se ha evidenciado la capacidad de las cepas probióticas para producir o estimular la secreción de enzimas endógenas en los pollos de engorda (Luo *et al.*, 2022). Se ha observado que los microorganismos del género *Bacillus*, tienen la particularidad de secretar enzimas que degradan la fibra y pueden mejorar la digestibilidad de nutrientes (Bromfield *et al.*, 2024). Por ejemplo, un estudio con *Bacillus coagulans* NJ0516 demostró un incremento en la secreción de amilasa en los pollos de engorda (Wang and Gu, 2010), mientras que otros trabajos demostraron que los microorganismos del género *Bacillus* son capaces de secretar fitasas y mejorar la disponibilidad del fósforo (Fu *et al.*, 2008). Por otro lado, es conocida la capacidad de microorganismos del género *Lactobacillus* para producir diversas enzimas como lactasa, proteasas, peptidasas amilasa, fitasa y esterases que contribuyen positivamente en los procesos de digestión en el lumen intestinal (Maske *et al.*, 2021).

Estimulación del sistema inmunológico

Los probióticos interactúan con enterocitos y otras células del sistema inmune intestinal, tales como

células dendríticas y linfocitos T (Rabetafika, Ebenso and Razafindralambo, 2023). Así, mediante su interacción con receptores en las células epiteliales, los probióticos provocan la transcripción de citocinas, que finalmente influyen en la producción de inmunoglobulinas y la activación de los tejidos linfoides asociados al intestino (Ma, Suzuki and Luo, 2018; Racines *et al.*, 2023).

Se ha observado que la administración de probióticos se asocia con un incremento en la actividad de macrófagos, regulación de la secreción de inmunoglobulinas en células de la barrera epitelial intestinal, y regulación de la secreción de moco, lo que contribuye con la exclusión competitiva de otras bacterias patógenas (La Fata, Weber and Mohajeri, 2018). Además, es probable que el incremento de algunas inmunoglobulinas como IgA y la abundancia de células caliciformes, esté relacionado con la disminución de patógenos oportunistas y con el incremento de bacterias benéficas en respuesta a la suplementación de las dietas con probióticos (Ma, Suzuki and Luo, 2018).

PROBIÓTICOS EN PRODUCCIÓN AVÍCOLA

Desde la década de 1980 se han utilizado antibióticos en las dietas para aves con la finalidad de mejorar el rendimiento, controlar y prevenir enfermedades (Szabó *et al.*, 2023). No obstante, debido a que los antibióticos provocan resistencia bacteriana y a las estrictas restricciones sobre su uso, se ha optado por buscar nuevas alternativas que funcionen como promotores de crecimiento y para el control de patógenos sin comprometer los parámetros productivos de las aves (Racines *et al.*, 2023). De esta manera, los probióticos representan una alternativa eficiente a los antibióticos ya que pueden mejorar el rendimiento productivo de los pollos al conservar una microbiota intestinal saludable y prevenir enfermedades entéricas (Atela, Mlambo and Mnisi, 2019), además de protegerlos contra patógenos como *C. jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *E. coli* enteropatógena, *Yersinia enterocolitica*, y *C. perfringens* (Kouhounde *et al.*, 2022).

Numerosas investigaciones han demostrado que la administración de probióticos a las aves tiene efecto positivo en su comportamiento productivo e incluso en la calidad del huevo (Zhang *et al.*, 2023), por lo que se recomienda su uso para optimizar la producción y salud de las aves. Entre las especies microbianas con capacidad probiótica para aves destaca *Bacillus subtilis*, que ha demostrado su capacidad para mejorar la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia alimenticia (Wang *et al.*, 2022). En la Tabla 1 se resumen algunos de los efectos benéficos observados tras la suplementación con distintas especies de *Bacillus* a aves en producción expuestas o no a desafíos inmunológicos.

Tabla 1. Efectos benéficos observados en la producción y salud de aves de corral tras la suplementación con probióticos del género *Bacillus*, con y sin desafío inmunológico.

Probiótico	Aves (línea genética)	Resultados en el desempeño de las aves	Referencia
<i>Bacillus subtilis</i> DSM 32315	Pollos de engorda (Cobb 500) expuestas a enteritis necrótica	Incrementó la ganancia de peso y eficiencia alimenticia Redujo la mortalidad Mejóro las características histomorfológicas del epitelio intestinal	(Sokale <i>et al.</i> , 2019)
<i>Bacillus coagulans</i>	Pollos de engorda (Ross 308) Sin desafío	Incrementó la ganancia de peso y eficiencia alimenticia Mejóro la calidad de la carne y el rendimiento de canal Incrementó la población de bacterias ácido-lácticas en intestino	(Khajeh Bami <i>et al.</i> , 2020)
<i>Bacillus subtilis</i>	Pollos de engorda (Arbor Acres) Sin desafío	Incrementó la ganancia de peso y eficiencia alimenticia Redujo la mortalidad Aumentó la diversidad de la microbiota intestinal	(Zhang <i>et al.</i> , 2021)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Pollos de engorda (Ross 308) Desafiados con <i>Campylobacter jejuni</i>	Incrementó la ganancia de peso y conversión alimenticia Redujo la mortalidad Incremento la abundancia de <i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterias</i> , y redujo la población de <i>Clostridium</i> en intestino	(Ismail <i>et al.</i> , 2023)
<i>Bacillus</i> y <i>Lactobacillus</i>	Pollos de engorda (Ross 308) Infectados con influenza aviar H9N2	Incrementó la ganancia de peso y eficiencia alimenticia Disminuyó los signos clínicos y lesiones	(Rasaei <i>et al.</i> , 2023)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Pollos de engorda (Ross 308) Sin desafío	Incrementó las variables de crecimiento Aumentó la población cecal de <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Faecalibacterium</i> y <i>Ruminococcus</i>	(Cao <i>et al.</i> , 2018)
<i>Bacillus subtilis</i>	Gallinas de postura (Hy-Line Brown) Sin desafío	Mejóro la calidad del huevo Aumentó la altura de vellosidades intestinales Incrementó la expresión de proteínas fijadoras de calcio	(Wang <i>et al.</i> , 2022)
<i>Bacillus subtilis</i>	Pollos de engorda (Cobb) Sin desafío	Incrementó el peso al nacimiento Mejóro las características histomorfológicas de epitelio intestinal Aumentó abundancia de <i>Firmicutes</i> y <i>proteobacteria</i> en ciegos	(Oladokun <i>et al.</i> , 2021)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Pollos de engorda (Arbor Acres) Sin desafío	Incrementó las variables de crecimiento Mejóro las características histomorfológicas de epitelio intestinal Incrementó la expresión de ocludina, claudina y ZO-1. Aumentó la población cecal de <i>Firmicutes</i> y <i>Bacteroidetes</i>	(Bao <i>et al.</i> , 2022)
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Pollo de engorda (No especificado) Desafiados con <i>E. tenella</i>	Mejóro la conversión alimenticia Disminuyó la presencia de Ooquistes Aumentó los valores de IgG Incrementó la expresión de ZO1	(Mohsin, Zhang and Yin, 2022)
<i>Bifidobacterium</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Streptococcus faecalis</i> y levaduras	Pollos de engorda (Jiangsu Huaxigen Co) Sin desafío	Mejóro las variables productivas Mejóro las características histomorfológicas de epitelio intestinal Aumentó la presencia de <i>Bacteroides</i> y <i>Barnesiella</i> .	(Feng <i>et al.</i> , 2023)

Salud del epitelio intestinal

La salud intestinal depende de la interacción de diversos factores, entre los que destacan las condiciones de la barrera intestinal, la microbiota y la actividad del sistema inmune (Wu *et al.*, 2022). Se ha observado que la administración de probióticos a los animales contribuye a mantener en ellos un intestino saludable y repercute en un desempeño productivo adecuado (Abd El-Hack *et al.*, 2022).

El estado de la mucosa intestinal se asocia directamente con la capacidad del intestino para la absorción de nutrientes, mientras más altas y abundantes sean las vellosidades intestinales, existirá una mayor superficie de contacto de las células epiteliales con los nutrientes de la dieta y éstos podrán ser absorbidos; así también, una menor profundidad de criptas, y mayor relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas indican que el epitelio intestinal se encuentra en equilibrio produciendo y madurando suficientes enterocitos capaces de asimilar la mayoría de los nutrientes digeridos de los alimentos (Ahmad *et al.*, 2022). Es por lo anterior que diversos estudios reportan mejora en las condiciones histomorfológicas del epitelio intestinal como un efecto importante tras la administración de probióticos (Sokale *et al.*, 2019; Oladokun *et al.*, 2021; Bao *et al.*, 2022; Juricova *et al.*, 2022; Zou *et al.*, 2022). Es probable que en esos trabajos los probióticos contribuyeran a establecer una microbiota intestinal equilibrada, lo que a su vez pudo incrementar la altura de vellosidades intestinales y mejorar las otras variables histomorfológicas, aún en presencia de algún desafío inmunológico para las aves.

Microbiota intestinal

Además del estado de la mucosa intestinal, es importante que la microbiota del intestino sea equilibrada y contenga diversas especies bacterianas que contribuyan a modular correctamente las funciones del intestino. Algunas de estas funciones en las que participa la microbiota intestinal son favorecer la digestión del alimento y la producción de metabolitos importantes para el huésped (vitaminas, enzimas, etc.), activar al sistema inmunológico y contribuir con la exclusión de patógenos del intestino (Shehata *et al.*, 2021). Las aves de engorda poseen un tracto gastrointestinal corto, por lo que el tiempo de tránsito digestivo es muy rápido. Por tanto, es importante asegurarse de que se mantenga la diversidad y estabilidad de la microbiota intestinal para asegurar que todas sus

funciones se lleven a cabo correctamente (Shehata *et al.*, 2022).

Una microbiota intestinal equilibrada es importante para mantener la función de exclusión o eliminación de patógenos del tracto gastrointestinal (Abd El-Hack *et al.*, 2022); en caso de disbiosis, los probióticos contribuyen a restaurar el equilibrio de la microbiota, reducir la proliferación de especies patógenas e incrementar la proliferación de bacterias benéficas (Jha *et al.*, 2020; Ayalew *et al.*, 2022). Por lo anterior, dentro de las granjas de aves se sugiere el uso de probióticos para contrarrestar la presencia de patógenos como *Eimeria* spp., *Clostridium perfringens*, *Campylobacter jejuni* y *Salmonella enteritidis* (Abd El-Hack *et al.*, 2022).

ESTRÉS POR CALOR

Las aves de granja son muy susceptibles a los cambios en la temperatura ambiente. En particular, cuando éstas se crían en regiones donde la temperatura ambiental y humedad relativa son elevadas, es común observar estrés por calor. Este problema compromete la salud y bienestar de las aves, debido a su baja tolerancia al calor y a la limitada capacidad que tienen las aves para regular la pérdida de calor (Saeed *et al.*, 2019; Abdel-Moneim *et al.*, 2021).

Son varias las consecuencias del estrés por calor en las aves de granja. En primer lugar, se altera el bienestar de los animales y se reduce la ingesta de alimento, lo que en consecuencia afecta a otros parámetros como la tasa de crecimiento, eficiencia alimenticia y tasa de mortalidad dentro de la granja. Además, se eleva la producción de radicales libres y disminuye la capacidad antioxidante celular; en conjunto, estos factores comprometen la calidad de la carne y su aceptación por parte del consumidor (Choi *et al.*, 2023). Por lo anterior, es importante contar con alternativas que permitan contrarrestar estos efectos de manera rentable, por ello se propone el uso de probióticos para restaurar el daño oxidativo a consecuencia del estrés e incrementar el rendimiento productivo de las aves criadas (Jiang *et al.*, 2021). En la Tabla 2 se presentan los efectos de algunos probióticos que fueron empleados para analizar su efecto en aves en condiciones de estrés por calor. En resumen, los estudios referidos demuestran que los probióticos constituyen una alternativa viable con efectos positivos en la producción de aves en condiciones de calor, aunque su efecto benéfico dependería de la especie contenida en el probiótico y el tiempo de administración del mismo.

Tabla 2. Probióticos evaluados en dietas para aves de corral sometidos a estrés por calor.

Probiótico	Aves (línea genética) Condiciones del estudio	Desempeño positivo	Referencia
<i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , y <i>Lactobacillus plantarum</i>	Pollos de engorda (Ross 308) Condiciones: 33 °C / 10 horas diarias / 42 días	Mejóro las características histomorfológicas de epitelio intestinal Incrementó el recuento total de <i>Bifidobacterium</i> , <i>Lactobacillus</i> y coliformes Aumento de la expresión de la proteína de unión estrecha ocludina,	(Song <i>et al.</i> , 2014)
<i>Bacillus subtilis</i> y <i>Enterococcus faecium</i>	Gallinas (Hy-Line Brown) Condiciones: 33 °C / 20 días	Incrementó la producción de huevo Disminuyó el recuento de coliformes Mejóro las características histomorfológicas de epitelio intestinal Aumentó la expresión de proteínas de unión estrecha ocludina y zonoccludina	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)
<i>Bacillus subtilis</i>	Pollos de engorda (Ross 308) Condiciones: 32 °C / 10 horas diarias / 43 días	Mejóro la ganancia de peso de las aves Modificó la concentración de interleucinas	(Wang <i>et al.</i> , 2018)
<i>Bacillus subtilis</i>	Pollos de engorda (Ross 308) Condiciones: 33 °C / 35 días	Mejóro las variables productivas de las aves Redució la presencia de <i>Clostridium</i> y coliformes Mejóro las características histomorfológicas de epitelio intestinal	(Abdelqader <i>et al.</i> , 2020)
<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>Enterococcus faecalis</i>	Pollos de engorda (Arbor Acres) Condiciones: 35 °C / 12 horas diarias /42 días	Mejóro las variables de comportamiento productivo Mejóro las características histomorfológicas de epitelio intestinal Disminuyó la concentración de endotoxinas	(Li <i>et al.</i> , 2020)
<i>Bacillus subtilis</i> KC1	Pollos de engorda (Arbor Acres) Condiciones: 38 °C / 10 horas diarias / 28 días	Mejóro las variables productivas de las aves y la resistencia a infecciones por <i>Mycoplasma</i> y <i>Salmonella</i> Mejóro la capacidad y actividad de enzimas antioxidantes	(Wang <i>et al.</i> , 2022)

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE PROBIÓTICOS

Como ya fue mencionado, los probióticos son una alternativa viable a los antibióticos, que administrados en la dieta y/o agua de bebida, influyen positivamente en el crecimiento y contribuyen a mejorar la salud intestinal en las aves de granja (Chowdhury *et al.*, 2023). Sin embargo, se debe tener cuidado en el manejo de los probióticos para evitar el daño por procesamiento, transporte y almacenamiento (Moretti *et al.*, 2023). A continuación, se mencionan algunas de las ventajas y desventajas del uso y manipulación de probióticos.

Ventajas

- **Procesamiento.** En el caso de microorganismos como *Bacillus* que tienen la capacidad para formar endosporas resistentes al calor, éstos pueden sobrevivir al procesamiento térmico y

almacenamiento, lo que facilita su manejo e incrementa su tiempo de vida útil (Ogbuewu *et al.*, 2022; Soni *et al.*, 2022).

- **Proceso digestivo.** En general, los microorganismos probióticos tienen la capacidad de sobrevivir en ambientes extremos como el que ocurre dentro del tracto gastrointestinal, además de que pueden activarse o permanecer viables cuando se exponen a condiciones de acidez en el estómago, y alcalinidad como ocurre con las secreciones pancreáticas (Abd El-Hack *et al.*, 2020).
- **Estabilidad.** Los probióticos conservan su viabilidad en el tracto gastrointestinal y pueden colonizarlo rápidamente hasta concentración mínima de 1×10⁶ UFC gramo⁻¹ (Ramlucken *et al.*, 2021). Es posible incrementar la estabilidad de los probióticos al aplicarlos por medio de

nanopartículas diseñadas para una liberación lenta en el tracto gastrointestinal (Sionek *et al.*, 2023).

Desventajas

- **Procesamiento.** Con la finalidad de conservar sus propiedades benéficas, los probióticos comerciales deben ser estables durante los procesos de transformación de los alimentos, en donde implica exposición a presiones elevadas (138-552 kPa), altas temperaturas (76.7-93.3°C), y a una amplia mecánica de corte (Ramlucken *et al.*, 2020; Shehata *et al.*, 2022).
- **Trasporte y almacenamiento.** Comúnmente los probióticos se transportan y almacenan a temperatura ambiente, sin embargo, esto puede provocar una pérdida de estabilidad. Por lo anterior, las condiciones ideales de almacenamiento son a baja temperatura (4 °C), lo que permite conservar su viabilidad y características biotecnológicas (Moretti *et al.*, 2023).
- **Proceso digestivo.** El tracto gastrointestinal representa un desafío para la supervivencia de los probióticos. La exposición al ácido gástrico puede provocar inactivación y muerte celular (Zhang *et al.*, 2023); además, en duodeno, su exposición a las sales biliares puede alterar la composición lipídica de la membrana celular de los microorganismos (Wendel, 2022).

LEGISLACIÓN

En el año 2000, la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasificó la resistencia a antibióticos como un problema de salud pública mundial (Abreu, Semedo-lemasdek and Cunha, 2023). A partir de entonces, la Unión Europea ha generado nuevos reglamentos, como en 2003 el Reglamento del Consejo y Parlamento Europeo EC/1831/2003 sobre aditivos de uso en producción animal (DOCE, 2003) y, en 2019, el Reglamento para el uso de Medicamentos Veterinarios UE 2019/6 con la finalidad de disminuir la incidencia de la resistencia de los antimicrobianos (DOUE, 2018). Así también, en el año 2020, la FDA (Food and Drug Administration, en Estados Unidos) actualizó su guía n°263, estableciendo una reducción en el uso de antibióticos para preservar el bienestar animal sin comprometer la salud del consumidor (FDA. Center for Veterinary Medicine, 2023). Ante estas regulaciones, se buscan alternativas naturales y seguras, que puedan aplicarse para resolver las problemáticas de la producción aviar, sin comprometer al consumidor. Para ello se han evaluado alternativas como: antioxidantes naturales, probióticos, prebióticos, simbióticos, derivados fitogénicos, minerales y electrolitos (Abdel-Moneim *et al.*, 2021). Algunas de estas alternativas, como los probióticos, pueden ser aplicadas para combatir los

efectos negativos del estrés por calor en las aves de granja.

Los probióticos han sido reconocidos y se clasifican como GRAS (Generalmente reconocido como seguro) por la FAO y QPS (Presunción calificada de seguridad) por EFSA (European Food Safety Authority). Ambas clasificaciones son de importancia para identificar las cepas probióticas a nivel de especie. En la clasificación GRAS, predomina el género de *Lactobacillus*, así como otros géneros como *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus* (Markowiak and Śliżewska, 2018).

CONCLUSIONES

La eficiencia de producción, la resistencia bacteriana, y el estrés por calor, se han convertido en problemas desafiantes para la industria avícola, pero todos ellos pueden ser atacados desde distintos ángulos, incluido el uso de probióticos. Los probióticos son una alternativa segura al uso de antibióticos, que además aseguran beneficios económicos al reducir las pérdidas por bajo rendimiento y problemas de salud en las aves. Sin embargo, para elegir un producto en particular, antes se debe revisar las cepas probióticas que contiene y los efectos potenciales en el bienestar y la producción de las aves de acuerdo con las características del sistema de producción específico en donde se vaya a aplicar.

Acknowledgments

A.C. Hernández-Coronado thanks to CONAHCYT-México for the scholarship provided for her doctorate studies.

Funding. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public or private sectors.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable to this document.

Data availability. Not applicable to this article as not datasets were generated or analyzed during the study.

Author contribution statement (CRediT). A.C. Hernández-Coronado – Investigation, Writing-original draft. M. Cervantes-Ramírez – Supervision, Writing-review & editing. A. Morales-Trejo – Conceptualization, Supervision, Validation, Writing-review & editing.

REFERENCES

- Abd El-Ghany, W.A. and Babazadeh, D., 2022. Betaine: A Potential Nutritional Metabolite in the Poultry Industry. *Animals*, 12(19),

- p.2624.
<https://doi.org/10.3390/ani12192624>
- Abd El-Hack, M.E., El-Saadony, M.T., Salem, H.M., El-Tahan, A.M., Soliman, M.M., Youssef, G.B.A., Taha, A.E., Soliman, S.M., Ahmed, A.E., El-kott, A.F., Al Syaad, K.M. and Swelum, A.A., 2022. Alternatives to antibiotics for organic poultry production: types, modes of action and impacts on bird's health and production. *Poultry Science*, 101(4), p.101696. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101696>
- Abd El-Hack, M.E., El-Saadony, M.T., Shafi, M.E., Qattan, S.Y.A., Batiha, G.E., Khafaga, A.F., Abdel-Moneim, A.M.E. and Alagawany, M., 2020. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(6), pp.1835–1850. <https://doi.org/10.1111/jpn.13454>
- Abdel-Moneim, A.M.E., Shehata, A.M., Khidr, R.E., Paswan, V.K., Ibrahim, N.S., El-Ghoul, A.A., Aldhumri, S.A., Gabr, S.A., Mesalam, N.M., Elbaz, A.M., Elsayed, M.A., Wakwak, M.M. and Ebeid, T.A., 2021. Nutritional manipulation to combat heat stress in poultry – A comprehensive review. *Journal of Thermal Biology*, 98(February), p.102915. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102915>
- Abdelqader, A., Abuajamieh, M., Hayajneh, F. and Al-Fataftah, A.R., 2020. Probiotic bacteria maintain normal growth mechanisms of heat stressed broiler chickens. *Journal of Thermal Biology*, 92(April), p.102654. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102654>
- Abou-Kassem, D.E., Elsadek, M.F., Abdel-Moneim, A.E., Mahgoub, S.A., Elaraby, G.M., Taha, A.E., Elshafie, M.M., Alkhawtani, D.M., Abd El-Hack, M.E. and Ashour, E.A., 2021. Growth, carcass characteristics, meat quality, and microbial aspects of growing quail fed diets enriched with two different types of probiotics (*Bacillus toyonensis* and *Bifidobacterium bifidum*). *Poultry Science*, 100(1), pp.84–93. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.04.019>
- Abreu, R., Semedo-lemsaddek, T. and Cunha, E., 2023. Antimicrobial Drug Resistance in Poultry Production: Current Status and Innovative Strategies for Bacterial Control. *Microorganisms*, 11, p.953. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11040953>
- Ahmad, R., Yu, Y., Hsiao, F.S., Dybus, A., Ali, I., Hsu, H. and Cheng, Y., 2022. Probiotics as a Friendly Antibiotic Alternative: Assessment of Their Effects on the Health and Productive Performance of Poultry. *Fermentation*, 8, p.672. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120672>
- Applegate, T.J., Klose, V., Steiner, T., Ganner, A. and Schatzmayr, G., 2010. Probiotics and phytochemicals for poultry: Myth or reality? 1. *The Journal of Applied Poultry Research*, 19(2), pp.194–210. <https://doi.org/10.3382/japr.2010-00168>
- Atela, J.A., Mlambo, V. and Mnisi, C.M., 2019. A multi-strain probiotic administered via drinking water enhances feed conversion efficiency and meat quality traits in indigenous chickens. *Animal Nutrition*, 5(2), pp.179–184. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.08.002>
- Ayalew, H., Zhang, H., Wang, J., Wu, S., Qiu, K. and Qi, G., 2022. Potential Feed Additives as Antibiotic Alternatives in Broiler Production. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, p.916473. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.916473>
- Bao, C., Zhang, W., Wang, J., Liu, Y., Cao, H., Li, F., Liu, S., Shang, Z., Cao, Y. and Dong, B., 2022. The Effects of Dietary *Bacillus amyloliquefaciens* TL106 Supplementation, as an Alternative to Antibiotics, on Growth Performance, Intestinal Immunity, Epithelial Barrier Integrity, and Intestinal Microbiota in Broilers. *Animals*, 12, p.3085. <https://doi.org/10.3390/ani12223085>
- Bromfield, J.I., Niknafs, S., Chen, X., Hellens, J. Von, Horyanto, D., Sun, B., Yu, L., Hai, V., Navarro, M. and Roura, E., 2024. The evaluation of next-generation probiotics on broiler growth performance, gut morphology, gut microbiome, nutrient digestibility, in addition to enzyme production of *Bacillus* spp. in vitro. *Animal Nutrition*, 18, pp.133–144. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.03.013>
- Camacho, F., Macedo, A. and Malacata, F., 2019. Potential Industrial Applications and Commercialization of Microalgae in the Functional Food and Feed Industries: A Short Review. *Marine Drugs*, 17, p.312. <https://doi.org/10.3390/md17060312>
- Cao, G.T., Zhan, X.A., Zhang, L.L., Zeng, X.F., Chen, A.G. and Yang, C.M., 2018. Modulation of broilers' caecal microflora

- and metabolites in response to a potential probiotic *Bacillus amyloliquefaciens*. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(2), pp.e909–e917. <https://doi.org/10.1111/jpn.12856>
- Casanueva, A., Kotlarski, S., Liniger, M.A., Schwierz, C. and Fischer, A.M., 2023. Climate change scenarios in use: Heat stress in Switzerland. *Climate Services*, 30(June 2022), p.100372. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100372>
- Choi, J., Kong, B., Bowker, B.C., Zhuang, H. and Kim, W.K., 2023. Nutritional Strategies to Improve Meat Quality and Composition in the Challenging Conditions of Broiler Production: A Review. *Animals*, 13, p.1386. <https://doi.org/10.3390/ani13081386>
- Chowdhury, M.A.H., Ashrafudoulla, M., Mevo, S.I.U., Mizan, M.F.R., Park, S.H. and Ha, S.D., 2023. Current and future interventions for improving poultry health and poultry food safety and security: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), pp.1555–1596. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13121>
- Cole, J. and Desphande, J., 2019. Comment Poultry farming, climate change, and drivers of antimicrobial resistance in India. *The Lancet Planetary Health*, 3(12), pp.e494–e495. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30236-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30236-0)
- DOCE, 2003. Reglamento del Consejo y Parlamento Europeo EC/1831/2003, sobre aditivos de uso en producción animal. *DOCE L 286/29*, 18/10/2003
- DOUE, 2018. Reglamento (UE) 2019/6 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre medicamentos veterinarios y por el que se deroga la Directiva 2001/82/CE. *DOUE-L-2019-80010*.
- El-saadony, M.T., Salem, H.M., El-tahan, A.M., El-mageed, T.A.A., Soliman, S.M., Khafaga, A.F., Swelum, A.A., Ahmed, A.E., Alshammari, F.A. and El-hack, M.E.A., 2022. The control of poultry salmonellosis using organic agents : an updated overview. *Poultry Science*, 101(4), p.101716. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101716>
- FAO, 2023. *Gateway to Poultry Production and Products*. [online] Available at: <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/en/>
- La Fata, G., Weber, P. and Mohajeri, M.H., 2018. Probiotics and the Gut Immune System : Indirect Regulation. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(1), pp.11–21. <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9322-6>.
- FDA. Center for Veterinary Medicine, 2023. *Timeline of FDA Action on Antimicrobial Resistance*. [online] Available at: <https://www.fda.gov/animal-veterinary/antimicrobial-resistance/timeline-fda-action-antimicrobial-resistance>
- Feng, Y., Wu, X., Hu, D., Wang, C., Chen, Q. and Ni, Y., 2023. Comparison of the Effects of Feeding Compound Probiotics and Antibiotics on Growth Performance, Gut Microbiota, and Small Intestine Morphology in Yellow-Feather Broilers. *Microorganisms*, 11, p.2308. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11092308>
- Fernandes, E., Raymundo, A., Louro Martins, L., Lordelo, M. and de Almeida, A.M., 2023. The Naked Neck Gene in the Domestic Chicken: A Genetic Strategy to Mitigate the Impact of Heat Stress in Poultry Production — A Review. *Animals*, 13, p.1007. <https://doi.org/10.3390/ani13061007>.
- Fu, S., Sun, J., Qian, L. and Li, Z., 2008. *Bacillus* phytases: present scenario and future perspectives. *Appl Biochem Biotechnol*, 151(1), pp.1–8. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8158-7>
- Fuhrmann, L., Vahjen, W., Zentek, J. and Günther, R., 2022. The Impact of Pre- and Probiotic Product Combinations on Ex Vivo Growth of Avian Pathogenic *Escherichia coli* and *Salmonella Enteritidis*. *Microorganisms*, 10, p.121. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010121>
- Fukuda, S., Toh, H., Hase, K., Oshima, K., Nakanishi, Y., Yoshimura, K., Tobe, T., Clarke, J.M., Topping, D.L., Suzuki, T., Taylor, T.D., Itoh, K., Kikuchi, J., Morita, H., Hattori, M. and Ohno, H., 2011. Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate. *Nature*, 469(7331), pp.543–547. <https://doi.org/10.1038/nature09646>

- Haque, H., Sarker, S., Islam, S., Islam, A. and Anwer, M.S., 2020. Sustainable Antibiotic-Free Broiler Meat Production: Current Trends, Challenges, and Possibilities in a Developing Country Perspective. *Biology*, 9, p.0411. <https://doi.org/10.3390/biology9110411>
- Idrees, M., Imran, M., Atiq, N., Zahra, R., Abid, R., Alreshidi, M., Roberts, T., Abdelgadir, A., Tipu, M.K., Farid, A., Olawale, O.A. and Ghazanfar, S., 2022. Probiotics, their action modality and the use of multi-omics in metamorphosis of commensal microbiota into target-based probiotics. *Frontiers in Nutrition*, 9, p.959941. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.959941>
- Ismail, H., Ibrahim, D., Sayed, S. El, Wahdan, A., El-tarabili, R.M., El-ghareeb, W.R., Alhawas, B.A., Alahmad, B.A.Y., Abdel-raheem, S.M. and El-hamid, M.I.A., 2023. Prospective Application of Nanoencapsulated *Bacillus amyloliquefaciens* on Broiler Chickens' Performance and Gut Health with Efficacy against *Campylobacter jejuni* Colonization. *Animals*, 13, p.775. <https://doi.org/10.3390/ani13050775>
- Jha, R., Das, R., Oak, S. and Mishra, P., 2020. Probiotics (Direct-Fed Microbials) in Poultry Nutrition and Their Effects on Nutrient Utilization, Growth and Laying Performance, and Gut Health: A Systematic Review. *Animals*, 10, p.863. <https://doi.org/10.3390/ani10101863>
- Jiang, S., Yan, F., Hu, J., Mohammed, A. and Cheng, H., 2021. *Bacillus subtilis* -Based Probiotic Improves Skeletal Health and Immunity in Broiler Chickens Exposed to Heat Stress. *Animals*, 11, p.1494. <https://doi.org/10.3390/ani11061494>
- Juricova, H., Matiasovicova, J., Faldynova, M., Sebkova, A., Kubasova, T., Prikrylova, H., Karasova, D., Crhanova, M., Havlickova, H. and Rychlik, I., 2022. Probiotic Lactobacilli Do Not Protect Chickens against *Salmonella* Enteritidis Infection by Competitive Exclusion in the Intestinal Tract but in Feed, Outside the Chicken Host. *Microorganisms*, 10, p.219. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020219>
- Karppegiane De Oliveira, M.J., Sakomura, N.K., Dorigam, D.P., Doranalli, K., Soares, L. and Da Silva Viana, G., 2019. *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 alone or in combination with antibiotic growth promoters improves performance in broilers under enteric pathogen challenge. *Poultry Science*, 98(10), pp.4391–4400. <https://doi.org/10.3382/ps/pez223>
- Khajeh Bami, M., Afsharmanesh, M. Ebrahimnejad, H., 2020. Effect of Dietary *Bacillus* coagulans and Different Forms of Zinc on Performance, Intestinal Microbiota, Carcass and Meat Quality of Broiler Chickens. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12(2), pp.461–472. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09558-1>
- Kouhonde, S., Ad, K., Mounir, M., Giusti, A., Refinetti, P., Otu, A., Effa, E., Ebenso, B., Adetimirin, V.O. and Mercader, J., 2022. Applications of Probiotic-Based Multi-Components to Human, Animal and Ecosystem Health: Concepts, Methodologies, and Action Mechanisms. *Microorganisms*, 10, p.1700. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091700>
- Larsberg, F., Spreichert, M., Hesse, D., Loh, G., Brockmann, G.A. and Kreuzer-redmer, S., 2023. Probiotic *Bacillus* Strains Enhance T Cell Responses in Chicken. *Microorganisms*, 11, p.269. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020269>
- Lee, J. and Mienaltowski, M.J., 2023. Broiler White Striping: A Review of Its Etiology, Effects on Production, and Mitigation Efforts. *Poultry*, 2(2), pp.292–304. <https://doi.org/10.3390/poultry2020022>
- Li, Q., Wan, G., Peng, C., Xu, L., Yu, Y., Li, L. and Li, G., 2020. Effect of probiotic supplementation on growth performance, intestinal morphology, barrier integrity, and inflammatory response in broilers subjected to cyclic heat stress. *Animal Science Journal*, 91(1), p.e13433. <https://doi.org/10.1111/asj.13433>
- Luo, C., Wang, L., Chen, Y. and Yuan, J., 2022. Supplemental Enzyme and Probiotics on the Growth Performance and Nutrient Digestibility of Broilers Fed with a Newly Harvested Corn Diet. *Animals*, 12, p.2381. <https://doi.org/10.3390/ani12182381>
- Ma, T., Suzuki, Y. and Luo, L., 2018. Dissect the mode of action of probiotics in affecting host-microbial interactions and immunity in food producing animals. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 205(July), pp.35–48. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2018.10.004>

- Markowiak, P. and Śliżewska, K., 2018. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*, 10, p.21. <https://doi.org/10.1186/s13099-018-0250-0>
- Maske, B.L., Melo, G.V. De, Vale, S., Neto, D.C., Grace, S., Viesser, A., Dea, J. De, Giovana, M., Thomaz, V. and Soccol, C.R., 2021. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process : From metabolism to application. *Enzyme and Microbial Technology*, 149, p.109836. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2021.109836>
- Mehmood, A., Nawaz, M., Rabbani, M. and Mushtaq, M.H., 2023. In Vitro Characterization of Probiotic Potential of *Limosilactobacillus fermentum* against *Salmonella Gallinarum* Causing Fowl Typhoid. *Animals*, 13, p.1284. <https://doi.org/10.3390/ani13081284>
- Mohammadi, H., Saghaian, S. and Boccia, F., 2023. Antibiotic-Free Poultry Meat Consumption and Its Determinants. *Foods*, 12, p.1776. <https://doi.org/10.3390/foods12091776>
- Mohsin, M., Zhang, Z. and Yin, G., 2022. Effect of Probiotics on the Performance and Intestinal Health of Broiler Chickens Infected with *Eimeria tenella*. *Vaccines*, 10, p.97. <https://doi.org/10.3390/vaccines10010097>
- Moretti, A.F., Brizuela, N.S., Bravo-Ferrada, B.M., Tymczyszyn, E.E. and Golowczyc, M.A., 2023. Current Applications and Future Trends of Dehydrated Lactic Acid Bacteria for Incorporation in Animal Feed Products. *Fermentation*, 9, p.742. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080742>
- Moustafa, E.S., Alsanie, W.F., Gaber, A., Kamel, N.N., Alaqil, A.A. and Abbas, A.O., 2021. Blue-Green Algae (*Spirulina platensis*) Alleviates the Negative Impact of Heat Stress on Broiler Production Performance and Redox Status. *Animals*, 11, p.1243. <https://doi.org/10.3390/ani11051243>
- Ogbuewu, I.P., Mabelebele, M., Sebola, N.A. and Mbajorgu, C., 2022. *Bacillus* Probiotics as Alternatives to In-feed Antibiotics and Its Influence on Growth, Serum Chemistry, Antioxidant Status, Intestinal Histomorphology, and Lesion Scores in Disease-Challenged Broiler Chickens. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, p.876725. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.876725>
- Oladokun, S., Dridi, S., Adewole, D., Edh, T.A.G. and Tag, I., 2023. Tag edH1 An evaluation of the thermoregulatory potential of in ovo delivered bioactive substances (probiotic, folic acid, and essential oil) in broiler chickens Tag edEn. *Poultry Science*, 102(5), p.102602. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102602>
- Oladokun, S., Koehler, A., Macisaac, J., Ibeagha-awemu, E.M. and Adewole, D.I., 2021. *Bacillus subtilis* delivery route : effect on growth performance, intestinal morphology, cecal short-chain fatty acid concentration, and cecal microbiota in broiler chickens. *Poultry Science*, 100(3), p.100809. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.063>
- Park, I., Lee, Y., Goo, D., Zimmerman, N.P., Smith, A.H., Rehberger, T. and Lillehoj, H.S., 2020. IMMUNOLOGY, HEALTH AND DISEASE The effects of dietary *Bacillus subtilis* supplementation, as an alternative to antibiotics, on growth performance, intestinal immunity, and epithelial barrier integrity in broiler chickens infected with *Eimeria maxima*. *Poultry Science*, 99(2), pp.725–733. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.002>
- Perricone, V., Sandrini, S., Irshad, N., Savoini, G., Comi, M. and Agazzi, A., 2022. Yeast-Derived Products : The Role of Hydrolyzed Yeast and Yeast Culture in Poultry Nutrition — A Review. *Animals*, 12, p.1426. <https://doi.org/10.3390/ani12111426>
- Popov, I. V., Algburi, A., Prazdnova, E. V., Mazanko, M.S., Elisashvili, V., Bren, A.B., Chistyakov, V.A., Tkacheva, E. V., Trukhachev, V.I., Donnik, I.M., Ivanov, Y.A., Rudoy, D., Ermakov, A.M., Weeks, R.M. and Chikindas, M.L., 2021. A Review of the Effects and Production of Spore-Forming Probiotics for Poultry. *Animals*, 11, p.1941. <https://doi.org/10.3390/ani11071941>
- Rabetafika, H.N., Ebenso, B. and Razafindralambo, H.L., 2023. Probiotics as Antibiotic Alternatives for Human and Animal Applications. *Encyclopedia*, 3, pp.561–581. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3020040>
- Racines, M.P., Solis, M.N., Anna, M., Herich, R., Á, M.L.- and Revajov, V., 2023. An Overview

- of the Use and Applications of *Limosilactobacillus fermentum* in Broiler Chickens. *Microorganisms*, 8, p.1944. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11081944>
- Ramlucken, U., Ramchuran, S.O., Moonsamy, G., Jansen, C., Rensburg, V., Thantsha, M.S. and Laloo, R., 2021. Production and stability of a multi-strain *Bacillus* based probiotic product for commercial use in poultry. *Biotechnology Reports*, 29, p.e00575. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00575>
- Ramlucken, U., Thantsha, M.S., Laloo, R., Roets, Y., Moonsamy, G. and Rensburg, C.J. Van, 2020. Advantages of *Bacillus*- based probiotics in poultry production. *Livestock Science*, 241(January), p.104215. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104215>
- Rasaei, D., Hosseini, S.A., Asasi, K., Shekarforoush, S.S. and Khodakaram-tafti, A., 2023. The beneficial effects of spraying of probiotic *Bacillus* and *Lactobacillus* bacteria on broiler chickens experimentally infected with avian influenza virus H9N2. *Poultry Science*, 102, p.102669. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102669>
- Ruvalcaba-Gómez, J.M., Villagrán, Z., Valdez-Alarcón, J.J., Martínez-Núñez, M., Gomez-Godínez, L.J., Ruesga-Gutiérrez, E., Anaya-Esparza, L.M., Arteaga-Garibay, R.I. and Villarruel-López, A., 2022. Non-Antibiotics Strategies to Control *Salmonella* Infection in Poultry. *Animals*, 12, p.102. <https://doi.org/10.3390/ani12010102>
- Saeed, M., Abbas, G., Alagawany, M., Kamboh, A.A., El-hack, M.E.A., Khafaga, A.F. and Chao, S., 2019. Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. *Journal of Thermal Biology*, 84(February), pp.414–425. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.025>
- Shehata, A.A., Yalçın, S., Latorre, J.D., Basiouni, S., Attia, Y.A., El-wahab, A.A., Visscher, C., El-seedi, H.R., Huber, C. and Hafez, H.M., 2022. Probiotics, Prebiotics, and Phytochemical Substances for Optimizing Gut Health in Poultry. *Microorganisms*, 10, p.395. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020395>
- Shehata, A.M., Paswan, V.K., Attia, Y.A., Abdelmoneim, A.E., Abougabal, M.S., Sharaf, M., Elmazoudy, R., Alghafari, W.T., Osman, M.A., Farag, M.R. and Alagawany, M., 2021. Managing Gut Microbiota through In Ovo Nutrition Influences Early-Life Programming in Broiler Chickens. *Animals*, 11, p.3491. <https://doi.org/10.3390/ani11123491>
- Siddique, A., Azim, S., Ali, A., Adnan, F., Arif, M., Imran, M., Ganda, E. and Rahman, A., 2021. *Lactobacillus reuteri* and *Enterococcus faecium* from Poultry Gut Reduce Mucin Adhesion and Biofilm Formation of *Salmonella enterica*. *Animals*, 11, p.3435. <https://doi.org/10.3390/ani11123435>
- Sionek, B., Szydłowska, A., Zielińska, D., Neffe-Skocińska, K. and Kołożyn-Krajewska, D., 2023. Beneficial Bacteria Isolated from Food in Relation to the Next Generation of Probiotics. *Microorganisms*, 11, p.1714. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071714>
- Sokale, A.O., Menconi, A., Mathis, G.F., Lumpkins, B., Sims, M.D., Whelan, R.A. and Doranalli, K., 2019. Effect of *Bacillus subtilis* DSM 32315 on the intestinal structural integrity and growth performance of broiler chickens under necrotic enteritis challenge. *Poultry Science*, 98(11), pp.5392–5400. <https://doi.org/10.3382/ps/pez368>
- Song, J., Xiao, K., Ke, Y.L., Jiao, L.F., Hu, C.H., Diao, Q.Y., Shi, B. and Zou, X.T., 2014. Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress. *Poultry Science*, 93(3), pp.581–588. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03455>
- Soni, R., Keharia, H., Ph, D., Dunlap, C. and Pandit, N., 2022. Functional annotation unravels probiotic properties of a poultry isolate, *Bacillus velezensis* CGS1.1. *LWT. Food Science and Technology*, 153, p.112471. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112471>
- Szabó, R.T., Kovács-Weber, M., Zimborán, Á., Kovács, L. and Erdélyi, M., 2023. Effects of Short- and Medium-Chain Fatty Acids on Production, Meat Quality, and Microbial Attributes—A Review. *Molecules*, 28, p.13. <https://doi.org/10.3390/molecules28134956>
- Taha-Abdelaziz, K., Singh, M., Sharif, S., Sharma, S., Kulkarni, R.R., Alizadeh, M., Yitbarek, A. and Helmy, Y.A., 2023. Intervention Strategies to Control *Campylobacter* at Different Stages of the Food Chain.

- Microorganisms*, 11, p.113.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11010113>
- Wang, J., Ishfaq, M., Miao, Y., Liu, Z., Hao, M., Wang, C., Wang, J., Chen, X. and Al, W.E.T., 2022. Dietary administration of *Bacillus subtilis* KC1 improves growth performance, immune response, heat stress tolerance, and disease resistance of broiler chickens. *Poultry Science*, 101, p.101693.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101693>
- Wang, W.C., Yan, F.F., Hu, J.Y., Amen, O.A. and Cheng, H.W., 2018. Supplementation of *Bacillus subtilis*-based probiotic reduces heat stress-related behaviors and inflammatory response in broiler chickens 1. *Journal of Animal Science*, 96(5), pp.1654–1666.
<https://doi.org/10.1093/jas/sky092>
- Wang, Y. and Gu, Q., 2010. Effect of probiotic on growth performance and digestive enzyme activity of Arbor Acres broilers. *Research in Veterinary Science*, 89(2), pp.163–167.
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.03.009>
- Wendel, U., 2022. Assessing Viability and Stress Tolerance of Probiotics — A Review. *Frontiers in Microbiology*, 12(January), p.818468.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.818468>
- Wu, Y., Wu, C., Che, Y., Zhang, T., Dai, C., Duan, K., Huang, Y., Li, N., Zhou, H., Wan, X., Wang, Y., Lei, H., Hao, P., Li, C. and Wu, Y., 2022. Effects of Glycyrrhiza Polysaccharides on Chickens ' Intestinal Health and Homeostasis. *Frontiers in Veterinary Science*, 9(May), p.891429.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2022.891429>
- Zhang, G., Yang, N., Liu, Z., Chen, X., Li, M., Fu, T. and Zhang, D., 2023. Genome-Assisted Probiotic Characterization and Application of *Lactiplantibacillus plantarum* 18 as a Candidate Probiotic for Laying Hen Production. *Microorganisms*, 11, p.2373.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11102373>
- Zhang, L., Liu, X. and Jia, H., 2022. WGCNA Analysis of Important Modules and Hub Genes of Compound Probiotics Regulating Lipid Metabolism in. *Animals*, 12, p.2644.
<https://doi.org/10.3390/ani12192644>
- Zhang, P., Yan, T., Wang, X., Kuang, S., Xiao, Y., Lu, W. and Bi, D., 2017. Probiotic mixture ameliorates heat stress of laying hens by enhancing intestinal barrier function and improving gut microbiota. *Italian Journal of Animal Science*, 16(2), pp.292–300.
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1264261>
- Zhang, S., Zhong, G., Shao, D., Wang, Q., Hu, Y., Wu, T. and Ji, C., 2021. Dietary supplementation with *Bacillus subtilis* promotes growth performance of broilers by altering the dominant microbial community Experimental Design and Animal. *Poultry Science*, 100(3), p.100935.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.032>
- Zou, X.Y., Zhang, M., Tu, W.J., Zhang, Q., Jin, M.L., Fang, R.D. and Jiang, S., 2022. *Bacillus subtilis* inhibits intestinal inflammation and oxidative stress by regulating gut flora and related metabolites in laying hens. *Animal*, 16(3), p.100474.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100474>