

Importancia de la microbiota intestinal en el desempeño productivo de cerdos: revisión sistemática y metaanálisis

Importance of intestinal microbiota in the productive performance of pigs: systematic review and meta-analysis

Importância da microbiota intestinal no desempenho produtivo dos suínos: revisão sistemática e metaanálise

Dominique Daniela Capa Bernita¹

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí-Manuel Félix López

dominique.capa.0220@espam.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-6130-8567>



Marco Antonio Alcívar Martínez³

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

marco.alcivar@espam.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-7292-6099>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/nE1/1310>

Como citar:

Melany Juleidi A, I., Julian Antonio M, N., Pablo Alexandre L, Z. (2026). Importancia de la microbiota intestinal en el desempeño productivo de cerdos: revisión sistemática y metaanálisis. *Código Científico Revista de Investigación*, 7(E1), 606-628.

Recibido: 17/12/2025

Aceptado: 12/01/2026

Publicado: 31/03/2026

Resumen

La microbiota intestinal influye en el crecimiento, la salud y la respuesta inmune de los cerdos, integrándose con la dieta, manejo y fisiología. El estudio se desarrolló bajo el objetivo de analizar la evidencia científica sobre el impacto de la modulación de la microbiota intestinal en el desempeño productivo de los cerdos. Se desplegó un diseño no experimental, con enfoque cuali-cuantitativo, empleando los métodos analítico, sintético e inductivo, mediante una revisión sistemática y metaanálisis. La recolección de datos se realizó a través de una búsqueda bibliográfica estructurada en bases de datos de alto impacto, considerando estudios publicados entre 2020 y 2025, y seleccionados mediante el protocolo PRISMA. Los datos cuantitativos fueron extraídos y analizados mediante metaanálisis de efectos aleatorios, evaluando la heterogeneidad con Q , Tau^2 e I^2 , y el sesgo de publicación mediante gráficos de embudo y la prueba de Egger. Los resultados muestran que la modulación de la microbiota intestinal en cerdos incrementa de manera significativa el peso corporal ($d = 0,49$; $p = 0,033$) y la ganancia diaria de peso ($d = 0,53$; $p = 0,037$), con heterogeneidad moderada entre estudios ($I^2 = 52-59\%$). El consumo de alimento y la conversión alimenticia presentaron efectos variables y no significativos ($p < 0,05$), reflejando heterogeneidad alta en ingesta ($I^2 = 71\%$) y mínima en conversión alimenticia ($I^2 = 2\%$). La evaluación del sesgo de publicación mediante la prueba de Egger no indicó asimetrías significativas ($p > 0,05$). Se concluye que la microbiota intestinal incide en el crecimiento y desempeño productivo porcino.

Palabras clave: Producción porcina, microbiota intestinal, modulación microbiota intestinal, metaanálisis.

Abstract

The gut microbiota influences the growth, health, and immune response of pigs, integrating with diet, management, and physiology. The study was developed with the objective of analyzing the scientific evidence on the impact of gut microbiota modulation on the productive performance of pigs. A non-experimental design with a qualitative-quantitative approach was deployed, using analytical, synthetic, and inductive methods through a systematic review and meta-analysis. Data collection was performed through a structured literature search in high-impact databases, considering studies published between 2020 and 2025 and selected using the PRISMA protocol. Quantitative data were extracted and analyzed using random effects meta-analysis, evaluating heterogeneity with Q , Tau^2 , and I^2 , and publication bias using funnel plots and the Egger test. The results show that modulation of the intestinal microbiota in pigs significantly increases body weight ($d = 0.49$; $p = 0.033$) and daily weight gain ($d = 0.53$; $p = 0.037$), with moderate heterogeneity between studies ($I^2 = 52-59\%$). Feed intake and feed conversion had variable and non-significant effects ($p < 0.05$), reflecting high heterogeneity in intake ($I^2 = 71\%$) and minimal heterogeneity in feed conversion ($I^2 = 2\%$). The assessment of publication bias using Egger's test did not indicate significant asymmetries ($p > 0.05$). It is concluded that the intestinal microbiota affects pig growth and productive performance.

Keywords: Pig production, gut microbiota, gut microbiota modulation, meta-analysis.

Resumo

A microbiota intestinal influencia o crescimento, a saúde e a resposta imunitária dos suínos, integrando-se com a dieta, o manejo e a fisiologia. O estudo foi desenvolvido com o objetivo de

analisar as evidências científicas sobre o impacto da modulação da microbiota intestinal no desempenho produtivo dos suínos. Foi utilizado um desenho não experimental, com enfoque qualitativo-quantitativo, empregando métodos analíticos, sintéticos e indutivos, por meio de uma revisão sistemática e metanálise. A coleta de dados foi realizada por meio de uma pesquisa bibliográfica estruturada em bases de dados de alto impacto, considerando estudos publicados entre 2020 e 2025 e selecionados pelo protocolo PRISMA. Os dados quantitativos foram extraídos e analisados por meio de meta-análise de efeitos aleatórios, avaliando a heterogeneidade com Q , Tau^2 e I^2 , e o viés de publicação por meio de gráficos de funil e do teste de Egger. Os resultados mostram que a modulação da microbiota intestinal em suínos aumenta significativamente o peso corporal ($d = 0,49$; $p = 0,033$) e o ganho diário de peso ($d = 0,53$; $p = 0,037$), com heterogeneidade moderada entre os estudos ($I^2 = 52-59\%$). O consumo de alimentos e a conversão alimentar apresentaram efeitos variáveis e não significativos ($p < 0,05$), refletindo alta heterogeneidade na ingestão ($I^2 = 71\%$) e mínima na conversão alimentar ($I^2 = 2\%$). A avaliação do viés de publicação por meio do teste de Egger não indicou assimetrias significativas ($p > 0,05$). Conclui-se que a microbiota intestinal influencia o crescimento e o desempenho produtivo dos suínos.

Palavras-chave: Produção suína, microbiota intestinal, modulação da microbiota intestinal, meta-análise.

Introducción

El uso prolongado de antibióticos en la producción porcina, en los últimos años, ha generado un problema creciente de resistencia bacteriana, lo que pone en riesgo la salud humana a través de la cadena alimentaria (Barton, 2014). Este escenario también afecta la salud y productividad de los cerdos, al impactar directamente en aspectos como el crecimiento, la calidad de la carne y la respuesta del sistema inmunológico. Esto demuestra que dicho factor desempeña un papel clave en la eficiencia de la producción (Knecht et al., 2020).

Las alteraciones del equilibrio microbiano intestinal son conocidas como disbiosis, y esta condición aumenta las incidencias de enfermedades diarreicas, especialmente aquellas provocadas por patógenos. Este desequilibrio no ocurre al azar, sino que responde a factores como la alimentación, el manejo en la granja e incluso la genética de los animales (Saha et al., 2024).

En este contexto, usar probióticos y algunos suplementos nutricionales para cambiar la microbiota es una estrategia prometedora para cuidar la salud intestinal y evitar problemas

digestivos. Esto ayuda al bienestar y al rendimiento de los cerdos (Chaucheyras y Durand, 2010).

En este marco, la microbiota intestinal se reconoce como un ecosistema dinámico que regula la inmunidad, el metabolismo y el comportamiento del huésped (Huang y Chen, 2023). En cerdos, el intestino delgado resulta clave para comprender la interacción entre la dieta, la microbiota y el organismo, al ser el principal sitio de digestión, absorción y defensa inmunológica (Duarte y Kim, 2022).

Esta relación es bidireccional; el sistema inmune y la microbiota se regulan mutuamente, puesto que la producción de IgA inducida por la microbiota ayuda a controlar la colonización bacteriana y evita la translocación de patógenos (Gutzeit et al., 2014). Además, algunas bacterias intestinales metabolizan toxinas alimentarias o sintetizan vitaminas esenciales para el epitelio intestinal (Yang et al., 2016).

La salud intestinal en los cerdos ha recibido creciente atención dentro de la investigación veterinaria, ya que impacta directamente tanto en su bienestar como en su rendimiento productivo. Un intestino sano no solo garantiza una digestión adecuada, sino que también participa activamente en la regulación del sistema inmunológico, la prevención de enfermedades, el metabolismo y el crecimiento (Wang et al., 2025). Por lo tanto, su relación con la productividad lo convierte en un pilar fundamental para fortalecer la salud de los lechones y, al mismo tiempo, reducir el uso de antimicrobianos en las prácticas de cría porcina (Mahmud et al., 2023).

Mantener un intestino sano es fundamental para que los cerdos digieran y absorban nutrientes de manera eficiente (Liao y Nyachoti, 2017). Estrategias como los probióticos, prebióticos, enzimas, el trasplante de microbiota fecal y los suplementos dietéticos tienen muchos beneficios. Estos incluyen el tratamiento de enfermedades, la regulación del sistema inmunológico y la mejora de la nutrición (Veerapagu et al., 2025). Un microbioma estable,

junto con mecanismos de defensa como la función de barrera intestinal y la inmunidad mucosal, resulta esencial para proteger al animal frente a patógenos (Pluske et al., 2018).

En línea con esto, diversos estudios han evidenciado la importancia del microbioma intestinal en la eficiencia alimentaria y la protección contra patógenos en cerdos (Vásquez et al., 2022). El uso de probióticos como *Bacillus spp.*, bacterias ácido-lácticas, *Enterococcus* y *Saccharomyces cerevisiae* mejoran la salud intestinal, fortalecen el sistema inmune y optimizan la absorción de nutrientes, impactando positivamente en la producción porcina (Singh, 2024).

Además, minerales, prebióticos, simbióticos, ácidos orgánicos y enzimas contribuyen a mantener el equilibrio de la microbiota (Zentek et al., 2024). En la práctica, usar agua con cepas beneficiosas como *L. acidophilus* y *B. subtilis* ha mostrado que ayuda a la interacción entre microorganismos, mejora la digestión de los alimentos, reduce la cantidad de diarreas y aumenta la producción (Vera et al., 2024).

A pesar de los progresos en el manejo de la microbiota intestinal de los cerdos, todavía se necesita evidencia clara sobre cómo estas intervenciones afectan la producción y la salud intestinal en condiciones reales de cría. Con base en lo anterior, este estudio tiene como objetivo analizar la evidencia científica sobre cómo la modulación de la microbiota intestinal afecta el rendimiento productivo de los cerdos, a través de una revisión sistemática y un metaanálisis. Además, de manera particular, se busca responder si:

¿La modulación de la microbiota intestinal tiene un efecto significativo sobre el desempeño productivo de los cerdos?

¿Los efectos de las intervenciones nutricionales orientadas a la modulación de la microbiota intestinal son consistentes entre los estudios incluidos?

¿Existe heterogeneidad entre los estudios respecto a la magnitud del efecto de la modulación de la microbiota intestinal sobre el desempeño productivo de los cerdos?

Metodología

El estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental de carácter documental, dado que no implicó la manipulación de variables, sino la recopilación y síntesis de evidencia científica previamente publicada. Se empleó un enfoque cuantitativo, mediante una revisión sistemática con metaanálisis, orientada a integrar de forma objetiva los efectos reportados sobre la modulación de la microbiota intestinal en sistemas productivos porcinos.

Desde el punto de vista estadístico, la investigación adoptó un enfoque inferencial, utilizando modelos de efectos aleatorios para estimar tamaños de efecto combinados, intervalos de confianza y medidas de heterogeneidad, complementados con estadística descriptiva para caracterizar los estudios incluidos. El alcance fue descriptivo – analítico, dado que se buscó, por un lado, sistematizar la evidencia disponible y, por otro, analizar cuantitativamente la magnitud, dirección y consistencia de los efectos observados entre estudios.

Estrategias de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó en las principales bases de artículos de alto impacto como MPDI, ScienceDirect, PubMed, Scopus, Taylor y Francis, Frontiers, entre otras. Para garantizar la exhaustividad de la búsqueda, se emplearon palabras clave tales como “microbiota intestinal”, “modulación de la microbiota”, “probióticos”, “prebióticos”, “simbióticos”, “cerdos” y “rendimiento productivo”, junto con sus equivalentes en inglés: intestinal microbiota, microbiota modulation, probiotics, prebiotics, synbiotics, pigs, productive performance. Estas se combinaron mediante operadores booleanos (“AND”, “OR”, “NOT”) (Tabla 1) con el fin de optimizar la recuperación de artículos científicos relevantes.

Tabla 1.

Combinaciones de términos de búsqueda y operadores booleanos empleados en las bases de datos.

Términos en español	Términos en inglés	Combinación booleana
“microbiota intestinal” AND “cerdos”	“intestinal microbiota” AND “pigs”	(“intestinal microbiota” AND “pigs”)
“modulación de la microbiota” OR “probióticos” OR “prebióticos” OR “simbióticos”	“microbiota modulation” OR “probiotics” OR “prebiotics” OR “synbiotics”	(“microbiota modulation” OR “probiotics”) AND “productive performance” (“prebiotics” OR “synbiotics”) AND “pigs” NOT “ruminants”

Nota: (Autores, 2026).

Selección para criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron investigaciones publicadas entre 2020 y 2025, en idioma español o inglés; estos debían evaluar el efecto de estrategias de modulación de la microbiota en parámetros productivos porcinos como el peso, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia. Asimismo, se seleccionaron exclusivamente investigaciones que reportaran información cuantitativa suficiente para el metaanálisis, incluyendo el tamaño muestral (n), medias y medidas de dispersión, tales como desviación estándar (DE), error estándar (EE) o intervalos de confianza, necesarios para el cálculo de los tamaños de efecto.

Se excluyeron estudios duplicados, revisiones narrativas, editoriales, resúmenes de congresos y tesis; de la misma manera, se descartaron estudios aplicados en otra especie animal, metodología no especificada, estudios que no evaluaran parámetros productivos y aquellos que no reportaran datos cuantitativos suficientes para el cálculo del tamaño de efecto.

Tabla 2.

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Estudios publicados entre 2020 y 2025	Artículos duplicados
Idioma español o inglés	Revisiones narrativas, editoriales, tesis o resúmenes de congresos
Estudios en cerdos	Estudios aplicados en otras especies animales
Evaluación de estrategias de modulación de la microbiota (probióticos, prebióticos, simbióticos, ácidos orgánicos, etc.)	Estudios sin intervención sobre microbiota
Reporte de variables productivas (peso, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia)	Estudios que no reporten parámetros productivos
Datos cuantitativos disponibles (n, media y DE/EE/IC) para metaanálisis	Falta de datos estadísticos suficientes para calcular tamaños de efecto

Diseño experimental o cuasi-experimental

Metodología no especificada o no experimental (ej. observacional sin control)

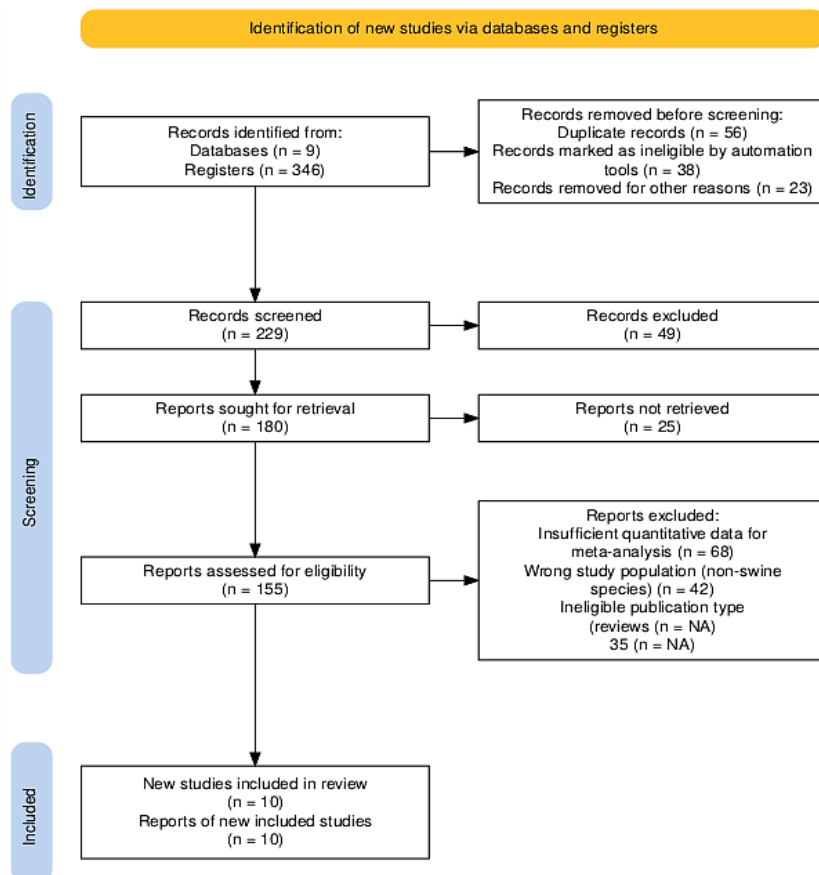
Nota: (Autores, 2026).

Cribado y selección de estudios

La selección de estudio se ejecutó mediante un cribado sistemático siguiendo las directrices de la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Figura 1), a fin de asegurar la calidad y pertinencia de los artículos recuperados. La recopilación de artículos en 9 bases de datos permitió identificar 355 registros relacionados al objeto de estudio. En la primera revisión, se eliminaron 56 estudios duplicados, además de 38 documentos que se descartaron automáticamente y 23 registros que se excluyeron por otras razones. Esto dejó 229 estudios listos para la etapa de selección.

Posteriormente, se intentó la recuperación de 180 informes a texto completo, de los cuales 25 no pudieron ser obtenidos, dejando 155 artículos para la evaluación detallada. Se revisaron 155 artículos completos, pero se excluyeron 145 estudios porque no tenían suficientes datos cuantitativos para un metaanálisis ($n = 68$), la población de investigación no era adecuada o el tipo de publicación no era correcto ($n = 35$). Finalmente, 10 estudios cumplieron con todos los criterios de elegibilidad y fueron incluidos en la revisión sistemática y el metaanálisis. Las características generales de los estudios incluidos se registraron en una matriz (Tabla 3) con elementos como: Autor (año), país, diseño del estudio, tipo de intervención, grupo control y variables evaluadas.

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020 del proceso de identificación, selección e inclusión de estudios.



Nota: Diagrama de flujo del proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de estudios según la metodología PRISMA 2020. El diagrama muestra las etapas de selección desde la búsqueda inicial (n = 355) hasta la inclusión final (n = 10). Basado en las directrices de Haddaway et al. (2022).

Tabla 3. Características generales de los estudios incluidos en la revisión sistemática y metaanálisis

Autor (año)	País	Diseño del estudio	Tipo de intervención	Grupo control	VARIABLES evaluadas
Dong et al. (2025)	China / EE. UU.	Ensayo experiment al controlado	Ácidos grasos de cadena corta y media (monolaurato de glicerol y tributirina)	Dieta basal sin suplementación	Peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, digestibilidad, microbiota intestinal, respuesta inmune.
Boston et al. (2024)	EE. UU.	Ensayo experiment al	Prebiótico (galactooligosac áridos)	Dieta basal	Rendimiento productivo (peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia), salud intestinal, microbiota.
Tang et al. (2021)	China	Ensayo experiment al comparativ o	Probióticos (<i>Lactobacillus plantarum</i> y <i>L. reuteri</i>)	Dieta basal sin probióticos	Peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, actividad antioxidante, inmunidad

Lin & Yu (2023)	Sudáfrica	Estudio experimental de campo	Productos fermentados con <i>Bacillus licheniformis</i>	Dieta basal	intestinal. Rendimiento (peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia).
Kim et al. (2021)	EE. UU.	Ensayo experimental con desafío	Exposición a antibióticos en dosis subterapéuticas	Dieta basal sin antibiótico	Peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, diarrea, inflamación, parámetros inmunológicos.
Cai et al. (2024)	Bélgica	Ensayo experimental	Mezcla de ácidos orgánicos	Dieta basal.	Peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, antioxidantes.
Sadurní et al. (2023)	España	Ensayo experimental	Dieta con proteína reducida + butirato protegido	Dieta basal	Rendimiento (peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia), salud intestinal, microbiota.
Michiels et al. (2023)	Bélgica	Ensayo experimental	Suplementación con ácido glucónico	Dieta basal sin suplementación	Peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, fermentación colónica, microbiota.
Moita et al. (2021)	EE. UU.	Ensayo experimental	Aceites funcionales	Dieta basal	Peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, microbiota mucosa, salud intestinal, desempeño productivo.
Garavito et al. (2025)	EE. UU.	Ensayo experimental con desafío	Fitobióticos y aceites esenciales bajo desafío con <i>E. coli</i> F18+	Dieta basal no desafiada	Peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, salud intestinal, respuesta inmune.

Nota: La tabla presenta un resumen de las características generales de los estudios incluidos en la revisión sistemática y metaanálisis, indicando autor y año, país de realización, diseño del estudio, tipo de intervención, presencia de grupo control y las variables evaluadas en cada investigación.

Análisis estadístico (metaanálisis)

Previo análisis de datos, se extrajeron los datos cuantitativos de los estudios elegidos y se registraron en una base de datos en hojas electrónicas, se distribuyó la información (n, media y desviación estándar) en correspondencia a las variables de estudio (peso corporal, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia), cuando fue necesario, se realizaron transformaciones estadísticas para homogeneizar las unidades de medida.

Los datos fueron procesados y analizados usando IBM SPSS Statistics v31. Para el metaanálisis, se utilizaron modelos de efectos aleatorios con intervalos de confianza (IC) del

95%, tomando en cuenta la variabilidad dentro y entre los estudios (Hartung & Knapp, 2001; Halme et al., 2023; Veroniki & McKenzie, 2024).

Para las variables continuas, se calcularon las diferencias de medias estandarizadas (SMD). La heterogeneidad se evaluó usando la prueba Q de Cochran, el estimador de varianza τ^2 y el estadístico I^2 . Se consideró que había heterogeneidad sustancial cuando el valor de I^2 era mayor del 50% (Higgins & Thompson, 2002; Shuster, 2016; Borenstein, 2023).

El sesgo de publicación se examinó mediante inspección visual de gráficos de embudo (funnel plots) y la aplicación de la prueba de regresión de Egger, considerando significativa la asimetría con ($p < 0,05$) (Simmonds, 2015; Lin & Chu, 2017). Los resultados se representaron mediante diagramas de bosque (forest plots) con sus respectivos estadísticos relacionados al metaanálisis.

Resultados

La revisión sistemática (Tabla 3) recabo estudios publicados entre el 2021 y 2025, desarrollados en diversas áreas globales como América, África, Europa y Asia. Las investigaciones plantearon generalmente diseños experimentales controlados, incluyendo ensayos prácticos, estudios comparativos y estudios de campo.

Las intervenciones evaluadas estuvieron basadas en estrategias de suplementación nutricional mediante probióticos, prebióticos, ácidos orgánicos, aceites funcionales, fitobióticos y productos fermentados, dirigidas a modular la microbiota intestinal, y comparadas frente a grupos control alimentados con dietas basales sin aditivos. Asimismo, los estudios abordaron múltiples variables relacionadas con el rendimiento productivo, la salud intestinal, la microbiota y la respuesta inmune.

Metaanálisis de las estrategias de modulación de la microbiota intestinal sobre el desempeño productivo en cerdos

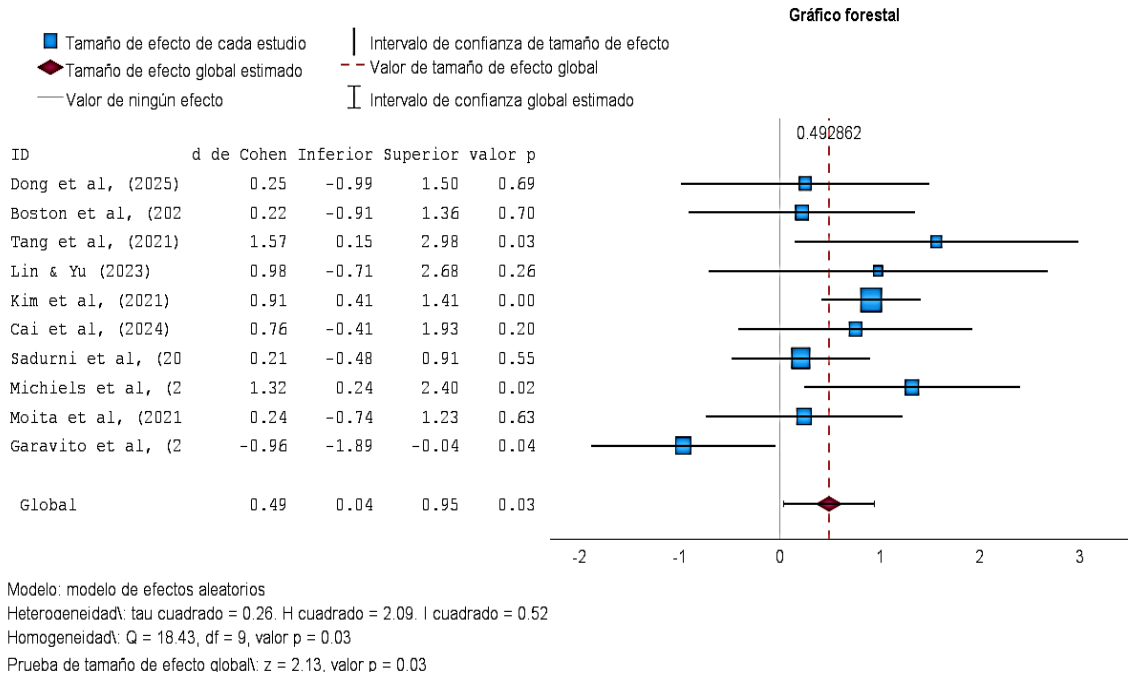
Peso corporal.

El metaanálisis (Figura 2), bajo un modelo de efectos aleatorios, integró 10 estudios que evaluaron el peso corporal, los parámetros del Forest plot muestran que el tamaño de efecto combinado fue positivo y de magnitud moderada ($d = 0,49$; IC 95%: 0,04–0,95), con significancia estadística ($p = 0,033$), lo que evidencia que las intervenciones dirigidas a la modulación de la microbiota intestinal se asocia consistentemente con un aumento del peso corporal en cerdos respecto a los grupos control; este efecto, aunque de magnitud intermedia, refleja una ganancia biológicamente relevante en el desempeño productivo.

La variabilidad entre los estudios fue moderada ($I^2 = 52\%$; $\text{Tau}^2 = 0,26$; $Q = 18,43$; $p = 0,03$), lo que significa que hay una diferencia real en el tamaño del efecto que no se debe solo al error en las muestras. Esta variabilidad se debe a diferencias en las formulaciones, las dosis, la duración de las intervenciones y las condiciones de producción. La mayoría de los estudios reportaron efectos positivos, aunque con amplitudes diversas; Tang et al. (2021), Kim et al. (2021) y Michaels et al. (2023) evidenciaron los incrementos más marcados en el peso corporal, mientras que el estudio de Garavito et al. (2025) mostró un tamaño de efecto modesto y no significativo, con un intervalo de confianza amplio que refleja incertidumbre en la dirección del efecto.

Figura 2.

Forest plot del efecto de la modulación de la microbiota intestinal sobre el peso corporal en cerdos.



Nota: La figura muestra el efecto de intervenciones sobre la microbiota intestinal en el peso corporal de cerdos. Los cuadrados representan los efectos individuales de cada estudio, las líneas horizontales indican los intervalos de confianza del 95 %, y el diamante refleja el efecto combinado del metaanálisis, incluyendo la heterogeneidad entre estudios.

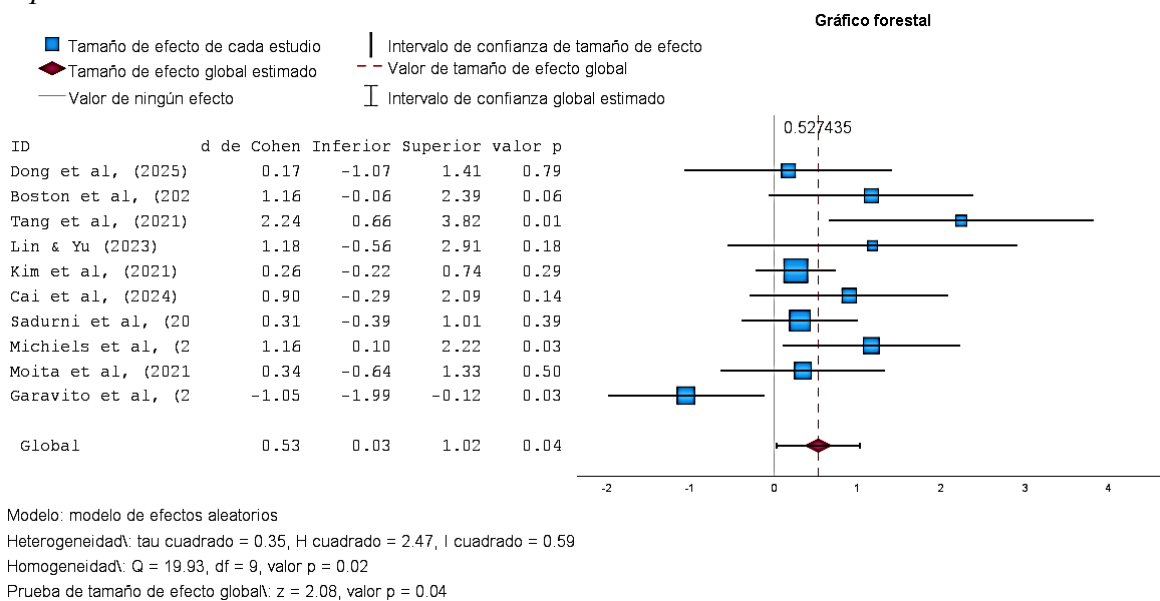
Ganancia de peso.

Para evaluar la ganancia diaria de peso (ADG), se realizó un metaanálisis (Figura 3) bajo un modelo de efectos aleatorios con datos de 10 estudios. El tamaño del efecto total fue positivo y de tamaño moderado ($d = 0,53$; IC 95%: 0,03 a 1,02), y fue estadísticamente significativo ($p = 0,037$). Esto indica que, en promedio, las intervenciones dirigidas a modular la microbiota se asocian con un incremento significativo en la ganancia diaria de peso de los cerdos en comparación con los grupos control.

Entre los estudios, la heterogeneidad fue moderada-alta ($I^2 = 59\%$; $Tau^2 = 0,35$; $Q = 19,93$; $p = 0,02$), evidenciando una variabilidad considerable en la magnitud del efecto, conforme al forest plot, la mayoría de los estudios presentaron tamaños de efecto favorables, aunque con amplitud variable en sus intervalos de confianza.

Los estudios de Tang et al. (2021) y Michiels et al. (2023) encontraron efectos más claros y consistentes. Otros estudios, como el de Garavito et al. (2025) presentaron estimaciones casi sin efecto, con intervalos de confianza amplios. Esto muestra más incertidumbre, pero no significa que haya un efecto negativo real. Los parámetros observados sugieren que la modulación de la microbiota intestinal tiende a favorecer la ganancia diaria de peso. No obstante, la variación observada refleja que la magnitud de respuesta puede estar condicionada por aspectos como el tipo de intervención, el estado sanitario, la dieta basal y las condiciones de manejo experimental.

Figura 3.
Forest plot del efecto de la modulación de la microbiota intestinal sobre la ganancia diaria de peso



Nota: La Figura muestra cómo las intervenciones sobre la microbiota intestinal inciden en la ganancia de peso corporal de los cerdos. Cada cuadrado representa el efecto de un estudio, las líneas horizontales muestran el intervalo de confianza del 95 %, y el diamante indica el efecto global del metaanálisis, considerando la heterogeneidad entre estudios.

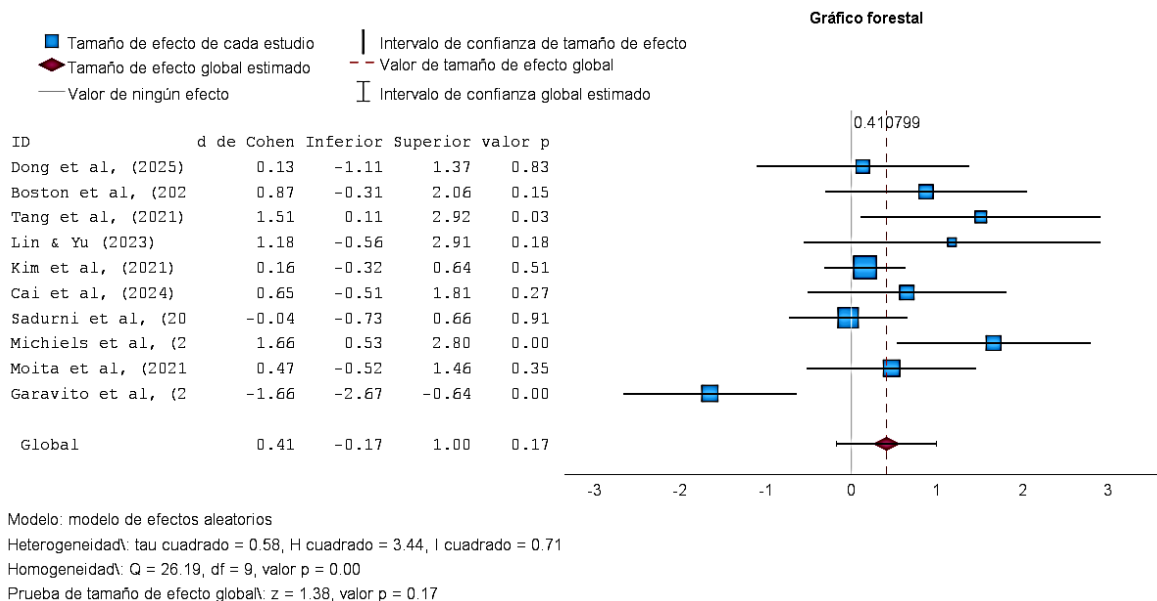
Consumo de alimento

El metaanálisis sobre el consumo diario de alimentos (Figura 4), realizado con un modelo de efectos aleatorios, mostró un efecto positivo moderado ($d = 0,41$; IC 95%: $-0,17$ a $0,99$), pero no fue estadísticamente significativo ($p = 0,17$). Estos resultados indican que,

aunque la estimación inicial sugiere que los animales que reciben tratamientos para cambiar su microbiota suelen comer más, la evidencia actual no permite afirmar que esto sea un efecto constante en comparación con los grupos de control.

La heterogeneidad entre estudios fue elevada ($I^2 = 71\%$; $\text{Tau}^2 = 0,58$; $Q = 26,19$; $p < 0,001$), lo que refleja una marcada variabilidad en la dirección y magnitud de los efectos individuales. El gráfico muestra una dispersión considerable de los tamaños de efecto; solo Tang et al. (2021) presenta incrementos relevantes en el consumo de alimento, mientras que otros estudios ofrecieron efectos cercanos a cero, con intervalos de confianza amplios en varios casos, lo que indica una alta incertidumbre en las estimaciones.

Figura 4.
Forest plot del efecto de la modulación de la microbiota intestinal sobre el consumo de alimento.



Nota: La figura representa el impacto de la modulación de la microbiota intestinal sobre el consumo de alimento en cerdos. Cada estudio está indicado por un cuadrado con su intervalo de confianza del 95 %, y el diamante señala el efecto promedio del metaanálisis, incorporando la variabilidad entre estudios.

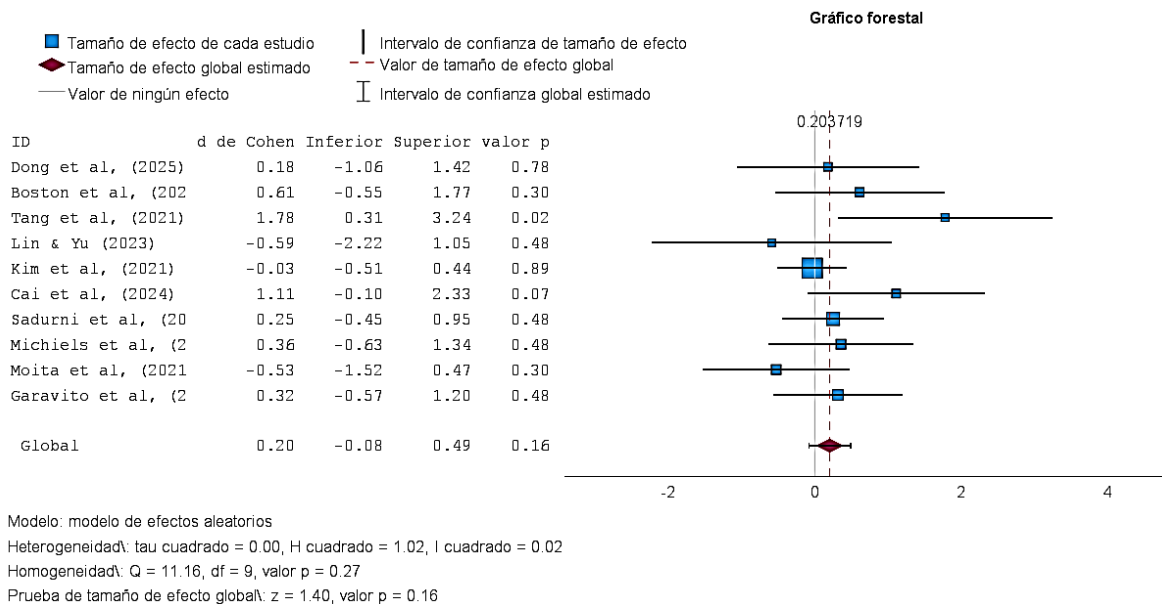
Conversión alimenticia

El metaanálisis de efectos aleatorios sobre la conversión alimenticia (Figura 5) mostró que el efecto general fue negativo y pequeño ($d = -0.20$; IC 95%: -0.49 a 0.10). Esto indica que no fue estadísticamente significativo ($p = 0.16$). Esto significa que, en general, las

intervenciones para modificar la microbiota no mejoran de manera constante la eficiencia alimenticia de los cerdos en comparación con los grupos de control.

La heterogeneidad entre estudios fue mínima ($I^2 = 2\%$; $\text{Tau}^2 = 0.00$; $Q = 11.16$; $p = 0.27$), reflejando que los resultados individuales fueron altamente consistentes. Estudios como Moita et al. (2021), Cai et al. (2020) y Tang et al. (2021) reportaron reducciones significativas en la conversión alimenticia, mientras que Lin & Xu (2023) presentó una mejora leve no significativa. En general, estos resultados indican que, a diferencia de otros factores de crecimiento como el peso corporal o el aumento diario de peso, el cambio en la microbiota tiene un efecto leve y, en algunos casos, puede ser negativo en cuanto a la conversión de alimentos.

Figura 5. Forest plot del efecto de la modulación de la microbiota intestinal sobre la conversión alimenticia.



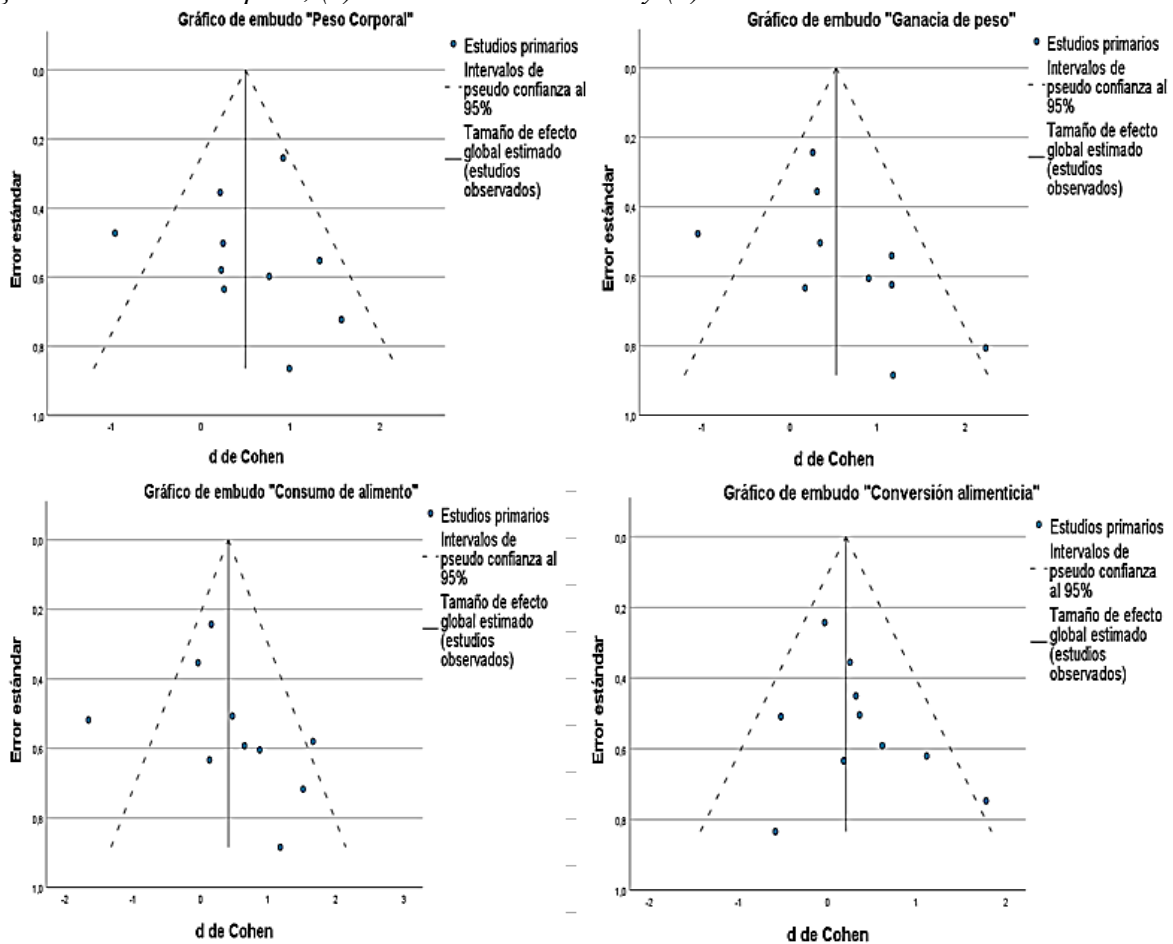
Nota: La figura muestra el impacto de la modulación de la microbiota intestinal sobre la conversión alimenticia en cerdos. Los resultados individuales de cada estudio se señalan mediante cuadrados, con líneas que indican su rango de confianza del 95 %, mientras que el diamante refleja el efecto agregado obtenido del metaanálisis, incluyendo la dispersión entre los estudios.

Sesgo de publicación

Para asegurar que los resultados del metaanálisis sean válidos, se revisó si había sesgo de publicación usando la prueba de regresión de Egger. Esto se hizo para encontrar asimetrías en la distribución de los estudios que se incluyeron. Todos los estudios que se incluyeron en los metaanálisis sobre peso corporal, ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión de este se distribuyeron de forma equilibrada alrededor del efecto global estimado en sus gráficos de embudo (Figura 6).

Figura 6.

Gráficos de embudo para la evaluación del sesgo de publicación en (a) peso corporal, (b) ganancia diaria de peso, (c) consumo de alimento y (d) conversión alimenticia.



Nota: Gráficos de embudo para evaluar el sesgo de publicación mediante la prueba de Egger en las variables del metaanálisis: (a) peso corporal, (b) ganancia diaria de peso, (c) consumo de alimento y (d) conversión alimenticia. Cada punto representa un estudio primario. Las líneas discontinuas indican los límites de pseudointervalo de confianza al 95% y la línea vertical representa el tamaño de efecto global estimado.

Esta distribución indica que no existe concentración sistemática de estudios hacia un lado del gráfico, lo que sugiere un bajo riesgo de sesgo de publicación, los resultados de la

prueba de regresión de Egger (Tabla 4) para cada variable fueron no significativos ($p > 0,05$), reforzando la ausencia de sesgo detectable en los datos analizados.

Tabla 4.

Resultados de la prueba de regresión de Egger para evaluar el sesgo de publicación.

Variable	Intersección (coef)	SEb	t	p (bilateral)	IC 95% inferior	IC 95% superior
Peso corporal	-0,788	0,9561	-0,824	0,434	-2,993	1,417
Ganancia de peso	-0,682	0,7222	-0,945	0,373	-2,348	0,983
Consumo de alimento	-0,788	0,9561	-0,824	0,434	-2,993	1,417
Conversión alimenticia	-0,297	0,3868	-0,769	0,464	-1,189	0,595

Nota: La intersección (Coef) indica la presencia de sesgo de publicación; valores cercanos a 0 y no significativos ($p > 0,05$) sugieren ausencia de sesgo. SEb representa el error estándar de la pendiente, t es el estadístico asociado a la intersección o pendiente, p la significancia bilateral, e IC 95% el intervalo de confianza de la estimación.

Discusión

Los resultados de la revisión sistemática y el metaanálisis indican que las intervenciones para cambiar la microbiota intestinal de los cerdos generalmente mejoran aspectos de producción, como el peso y el aumento de peso, aunque hay variaciones entre los estudios. Los efectos más pronunciados se divisaron en los estudios de Tang et al. (2021) y Michiels et al. (2023), quienes alcanzaron aumentos significativos en estas variables.

Otros estudios como el de Boston et al. (2024), Lin & Yu (2023) y Dong et al. (2025), evidenciaron incrementos moderados, mientras que Kim et al. (2021), Cai et al. (2024), Sadurní et al. (2023) y Moita et al. (2021) reportaron efectos más variables o no significativos. Esta variabilidad muestra cómo factores como la dieta, la genética de los lechones y las condiciones de manejo pueden afectar la respuesta a las acciones que se toman para mejorar el desarrollo corporal y el aumento de peso diario.

En relación al consumo de alimento, los parámetros fueron heterogéneos; Tang et al. (2021) mostró un aumento significativo, mientras que estudios como Garavito et al. (2025), Sadurní et al. (2023), Moita et al. (2021) y Michiels et al. (2021) reportaron reducciones, lo que

sugiere que la modulación de la microbiota en los cerdos no siempre se traduce en aumentos lineales de ingesta y que la respuesta puede depender de factores como el ambiente y condiciones experimentales (Gardiner et al., 2020; Duarte & Kim, 2021; Liao et al., 2024).

Respecto a la conversión alimenticia, la mayoría de los estudios mostró efectos limitados o incluso negativos, con reducciones significativas reportadas por Tang et al. (2021), Cai et al. (2020) y Moita et al. (2021), mientras que Lin & Xu (2023) evidenció mejoras leves, pero estas no fueron significativas. Pese a que la modulación de la microbiota en los cerdos favorece el peso y crecimiento, su efecto sobre la eficiencia alimenticia es variable y, en algunos casos, potencialmente adverso.

En general, la evidencia disponible indica que la microbiota juega un papel importante al conectar el ambiente, la dieta y el hospedador. Además, cambiarla puede ser una buena estrategia para mejorar los sistemas de producción de cerdos (Kiernan et al., 2023; Wang et al., 2025). No obstante, la magnitud del efecto es variable y depende de múltiples factores, incluyendo la etapa fisiológica, la composición de la dieta, el estado sanitario de los animales, las condiciones ambientales y el tipo de estrategia de modulación aplicada (Das et al., 2020; Knecht et al., 2020; Upadhaya & Kim, 2022).

Conclusiones

La modulación de la microbiota intestinal mejora significativamente el desempeño productivo de los cerdos, evidenciado principalmente en el aumento del peso corporal y la ganancia diaria de peso.

Los efectos de las intervenciones sobre la microbiota intestinal varían según la variable evaluada, el peso corporal y la ganancia diaria presentan respuestas favorables y relativamente uniformes, mientras que el consumo de alimento muestra resultados heterogéneos y la conversión alimenticia no registra cambios significativos respecto a los controles.

Se observa heterogeneidad entre los estudios en relación con los efectos de la modulación de la microbiota intestinal, siendo moderada para peso y ganancia diaria, alta para consumo de alimento y mínima para conversión alimenticia.

Factores como tipo de intervención, dosis, duración y condiciones de manejo influyen en la respuesta observada en los cerdos, además, para modificar su salud intestinal es necesario un enfoque completo que considere los factores ambientales, genéticos y de manejo que afectan la producción y salud de los lechones

Referencias bibliográficas

- Barton, M. (2014). Impact of antibiotic use in the swine industry. *Current Opinion in Microbiology*, 19, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2014.05.017>
- Borenstein, M. (2023). How to understand and report heterogeneity in a meta-analysis: The difference between I-squared and prediction intervals. *Integrative Medicine Research*, 12(4), 101014. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2023.101014>
- Boston, E., Wang, F., Lin, X., Kim, W., Fellner, V., Scott, F., Ziegler, L., Van Landeghem, L., Blikslager, A. T., & Odle, J. (2024). Prebiotic galactooligosaccharide improves piglet growth performance and intestinal health associated with alterations of the hindgut microbiota during the peri-weaning period. *Journal Of Animal Science And Biotechnology/Journal Of Animal Science And Biotechnology*, 15(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01047-y>
- Cai, L., Zhao, Y., Chen, W., Li, Y., Han, Y., Zhang, B., Pineda, L., Li, X., & Jiang, X. (2024). Effect of an organic acid blend as an antibiotic alternative on growth performance, antioxidant capacity, intestinal barrier function, and fecal microbiota in weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 102. <https://doi.org/10.1093/jas/skae149>
- Chaucheyras, F., y Durand, H. (2010). Probiotics in animal nutrition and health. *Beneficial Microbes*, 1(1), 3–9. <https://doi.org/cd5rxw>
- Das, A., Chowdhury, N., Nanda, P., Dandapat, P., Batabyal, S., Biswas, S., & Das, P. (2020). Role of gut microbiota modulation in health and production of pigs. *Indian Journal Of Animal Health*, 59(2-Spl), 75-88. <https://doi.org/10.36062/ijah.59.2spl.2020.75-88>
- Dong, S., Zhang, N., Wang, J., Cao, Y., Johnston, L. J., & Ma, Y. (2025). Effects of Medium- and Short-Chain Fatty Acids on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Gut Microbiota and Immune Function in Weaned Piglets. *Animals*, 15(1), 37. <https://doi.org/10.3390/ani15010037>
- Duarte, M., & Kim, S. (2021). Intestinal microbiota and its interaction to intestinal health in nursery pigs. *Animal Nutrition*, 8(1), 169-184. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.05.001>
- Garavito, Y., Duarte, E., & Kim, S. W. (2025). Efficacy of ground herb-based and essential oil-based phytobiotics on the intestinal health and performance of nursery pigs challenged with F18+Escherichia coli. *Journal of Animal Science*, 103. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf018>

- Gardiner, G., Metzler, B., & Lawlor, P. (2020). Impact of intestinal microbiota on growth and feed efficiency in pigs: A review. *Microorganisms*, 8(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121886>
- Halme, A., McAlpine, K., & Martini, A. (2023). Fixed-effect versus random-effects models for meta-analyses: Random-effects models. *European Urology Focus*, 9(5), 693–694. <https://doi.org/10.1016/j.euf.2023.10.023>
- Hartung, J., & Knapp, G. (2001). On tests of the overall treatment effect in meta-analysis with normally distributed responses. *Statistics In Medicine*, 20(12), 1771-1782. <https://doi.org/10.1002/sim.791>
- Higgins, J., & Thompson, S. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Statistics In Medicine*, 21(11), 1539-1558. <https://doi.org/10.1002/sim.1186>
- Huang, L., y Chen, C. (2023). Employing pigs to decipher the host genetic effect on gut microbiome: advantages, challenges, and perspectives. *Gut Microbes*, 15(1), 2205410. <https://doi.org/10.1080/19490976.2023.2205410>
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis Campbell Systematic Reviews, 18, e1230. <https://doi.org/10.1002/cl2.1230>
- Kiernan, D., Doherty, J., & Sweeney, T. (2023). The Effect of Maternal Probiotic or Synbiotic Supplementation on Sow and Offspring Gastrointestinal Microbiota, Health, and Performance. *Animals*, 13(19), 2996. <https://doi.org/10.3390/ani13192996>
- Kim, K., He, Y., Jinno, C., Kovanda, L., Li, X., Song, M., & Liu, Y. (2021). Trace amounts of antibiotic exacerbated diarrhea and systemic inflammation of weaned pigs infected with a pathogenic *Escherichia coli*. *Journal of Animal Science*, 99(3). <https://doi.org/10.1093/jas/skab073>
- Knecht, D., Cholewińska, P., Jankowska, A., & Czyż, K. (2020). Development of swine's digestive tract microbiota and its relation to production indices. A review. *Animals*, 10(3), 527. <https://doi.org/10.3390/ani10030527>
- Liao, S., Ji, F., Fan, P., & Denryter, K. (2024). Swine Gastrointestinal Microbiota and the Effects of Dietary Amino Acids on Its Composition and Metabolism. *International Journal Of Molecular Sciences*, 25(2), 1237. <https://doi.org/10.3390/ijms25021237>
- Liao, S., y Nyachoti, M. (2017). Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. *Nutrición Animal*, 3(4), 331–343. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.06.007>
- Lin, K. y Yu, Y. (2023). Estudio de campo sobre productos fermentados con *Bacillus licheniformis* en el crecimiento y la microbiota fecal de lechones destetados. *Revista Sudafricana de Ciencia Animal*, 52 (5), 718–730. <https://doi.org/10.4314/sajas.v52i5.15>
- Lin, L., & Chu, H. (2017). Quantifying Publication Bias in Meta-Analysis. *Biometrics*, 74(3), 785-794. <https://doi.org/10.1111/biom.12817>
- Mahmud, M. R., Jian, C., Uddin, K., Huhtinen, M., Salonen, A., Peltoniemi, O., Venhoranta, H., y Oliviero, C. (2023). Impact of Intestinal Microbiota on Growth Performance of Suckling and Weaned Piglets. *Microbiology Spectrum*, 11(3), e03744-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.03744-22>
- Michiels, J., Truffin, D., Majdeddin, M., Van Poucke, M., Van Liefferinge, E., Van Noten, N., Vandaele, M., Van Kerschaver, C., Degroote, J., Peelman, L., & Linder, P. (2023). Gluconic acid improves performance of newly weaned piglets associated with alterations in gut microbiome and fermentation. *Porcine Health Management*, 9(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40813-023-00305-1>

- Moita, C., Duarte, E., Da Silva, N., & Kim, W. (2021). Supplemental effects of functional oils on the modulation of Mucosa-Associated microbiota, intestinal health, and growth performance of nursery pigs. *Animals*, 11(6), 1591. <https://doi.org/10.3390/ani11061591>
- Pluske, J., Turpin, D., y Kim, J. (2018). Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig. *Nutrición Animal*, 4(2), 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.12.004>
- Sadurní, M., Barroeta, A., Sol, C., Puyalto, M., & Castillejos, L. (2023). Effects of dietary crude protein level and sodium butyrate protected by medium-chain fatty acid salts on performance and gut health in weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 101. <https://doi.org/10.1093/jas/skad090>
- Saha, S., Namai, F., Nishiyama, K., et al. (2024). Role of immunomodulatory probiotics in alleviating bacterial diarrhea in piglets: a systematic review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 15, 112. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01070-z>
- Shuster, J. (2016). Discussion of ‘Misunderstandings about Q and “Cochran’s Q Test” in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 35(4), 498–500. <https://doi.org/10.1002/sim.6762>
- Simmonds, M. (2015). Quantifying the risk of error when interpreting funnel plots. *Systematic Reviews*, 4(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s13643-015-0004-8>
- Singh, S. (2024). Use of probiotics in swine nutrition: A review. *International Journal of Agriculture Extension and Social Development*, 7(1), 422–429. <https://doi.org/10.33545/26180723.2024.v7.i1.f.242>
- Tang, Q., Yi, H., Hong, W., Wu, Q., Yang, X., Hu, S., Xiong, Y., Wang, L., & Jiang, Z. (2021). Comparative Effects of *L. plantarum* CGMCC 1258 and *L. reuteri* LR1 on Growth Performance, Antioxidant Function, and Intestinal Immunity in Weaned Pigs. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 728849. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.728849>
- Upadhaya, S., & Kim, I. (2022). Maintenance of gut microbiome stability for optimum intestinal health in pigs – a review. *Journal Of Animal Science And Biotechnology/Journal Of Animal Science And Biotechnology*, 13(1), 140. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00790-4>
- 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. *Journal of Animal Science and Technology*, 64(4), 671–695. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e58>
- Veerapagu, S., Jeya, K. R., y Sankara Narayanan, A. (2025). Ingeniería del microbioma gastrointestinal en cerdos. En Ingeniería del microbioma humano y animal (pp. 265–290). <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-22348-8.00016-7>
- Vera, J., & Álvarez, A. (2024). Uso de microorganismos eficientes en una producción sostenible de cerdos destinados a engorde. *Revista Científica De La Facultad De Ciencias Veterinarias*, 34(1), 5. <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e34312>
- Veroniki, A., & McKenzie, J. (2024). A brief note on the common (fixed)-effect meta-analysis model. *Journal of Clinical Epidemiology*, 169, 111281. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2024.111281>
- Wang, J., Tong, T., Yu, C., & Wu, Q. (2025). The research progress on the impact of pig gut microbiota on health and production performance. *Frontiers In Veterinary Science*, 12, 1564519. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1564519>
- Zentek, J., Vahjen, W., Grześkowiak, Ł., Martínez-Vallespín, B., Holthausen, JS, Saliu, EM. (2024). El microbioma intestinal en cerdos y su impacto en la salud animal. En: Gross, JJ (eds.) Enfermedades de producción en animales de granja. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51788-4_8

