

Estrategias nutricionales en lechones bajo estrés térmico: revisión sistemática de integridad intestinal y rendimiento zootécnico

Nutritional strategies in piglets under heat stress: a systematic review of intestinal integrity and zootechnical performance

Estratégias nutricionais em leitões sob estresse térmico: uma revisão sistemática da integridade intestinal e do desempenho zootécnico

Alcívar-Zambrano Elvis Leonardo¹
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
elvis.alcivar.0220@espam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-7536-5386>



De La Cruz-Macías Jeniffer Silvana²
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
jeniffer.delacruz.0220@espam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-5318-0332>



Alcívar-Martínez Marco Antonio³
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/n1/1502>

Como citar:

Alcívar-Zambrano, E. L., De la Cruz-Macías, J. S., & Alcívar-Martínez, M. A. (2026). Estrategias nutricionales en lechones bajo estrés térmico: revisión sistemática de integridad intestinal y rendimiento zootécnico. *Código Científico Revista de Investigación*, 7(1), 1227-1251.

Recibido: 12/05/2026

Aceptado: 09/06/2026

Publicado: 30/06/2026

Resumen

El estrés térmico constituye un desafío para la producción porcina debido a sus efectos negativos sobre el rendimiento productivo, la salud intestinal y el bienestar animal. En lechones, la exposición a altas temperaturas altera la microbiota intestinal, la respuesta inmunitaria y el estado oxidativo, comprometiendo el crecimiento y la eficiencia productiva. El objetivo de esta revisión sistemática fue sintetizar la evidencia sobre la eficacia de estrategias nutricionales para mitigar los efectos del estrés térmico en lechones. La investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo-documental, con alcance descriptivo y analítico documental, basado en una revisión sistemática de literatura. Se analizaron artículos científicos recuperados en Scopus, ScienceDirect y PubMed, siguiendo las directrices PRISMA 2020. De 173 registros identificados, 12 estudios cumplieron los criterios de elegibilidad. La síntesis de la evidencia se realizó mediante las directrices SWiM y el riesgo de sesgo se evaluó con la herramienta SYRCLE. Los resultados mostraron efectos favorables de las intervenciones nutricionales sobre la ganancia diaria de peso, el consumo de alimento, la integridad intestinal, la microbiota, la respuesta inmunitaria y la capacidad antioxidante. Se concluye que estas estrategias contribuyen a aumentar la resiliencia de los lechones frente al estrés térmico y preservar su desempeño productivo.

Palabras clave: Estrés térmico, microbiota intestinal, lechones, aditivos nutricionales, bienestar animal.

Abstract

Heat stress poses a challenge to swine production due to its negative effects on productive performance, gut health, and animal welfare. In piglets, exposure to high temperatures alters the gut microbiota, immune response, and oxidative status, compromising growth and productive efficiency. The objective of this systematic review was to synthesize the evidence on the effectiveness of nutritional strategies to mitigate the effects of heat stress in piglets. The research was conducted using a descriptive and analytical approach, based on a systematic literature review. Scientific articles retrieved from Scopus, ScienceDirect, and PubMed were analyzed, following the PRISMA 2020 guidelines. Of 173 records identified, 12 studies met the eligibility criteria. Evidence synthesis was performed using the SWiM guidelines, and the risk of bias was assessed with the SYRCLE tool. The results showed favorable effects of nutritional interventions on daily weight gain, feed intake, intestinal integrity, microbiota, immune response, and antioxidant capacity. It is concluded that these strategies contribute to increasing the resilience of piglets to heat stress and preserving their productive performance.

Keywords: Heat stress, gut microbiota, piglets, nutritional additives, animal welfare.

Resumo

O estresse térmico representa um desafio para a produção suína devido aos seus efeitos negativos sobre o desempenho produtivo, a saúde intestinal e o bem-estar animal. Em leitões, a exposição a altas temperaturas altera a microbiota intestinal, a resposta imune e o estado oxidativo, comprometendo o crescimento e a eficiência produtiva. O objetivo desta revisão

sistemática foi sintetizar as evidências sobre a eficácia de estratégias nutricionais para mitigar os efeitos do estresse térmico em leitões. A pesquisa foi conduzida utilizando uma abordagem descritiva e analítica, baseada em uma revisão sistemática da literatura. Artigos científicos recuperados das bases de dados Scopus, ScienceDirect e PubMed foram analisados, seguindo as diretrizes PRISMA 2020. De 173 registros identificados, 12 estudos atenderam aos critérios de elegibilidade. A síntese das evidências foi realizada utilizando as diretrizes SWiM e o risco de viés foi avaliado com a ferramenta SYRCLE. Os resultados mostraram efeitos favoráveis das intervenções nutricionais sobre o ganho de peso diário, o consumo de ração, a integridade intestinal, a microbiota, a resposta imune e a capacidade antioxidante. Conclui-se que essas estratégias contribuem para aumentar a resiliência dos leitões ao estresse térmico e preservar seu desempenho produtivo.

Palavras-chave: Estresse térmico, microbiota intestinal, leitões, aditivos nutricionais, bem-estar animal.

Introducción

El cambio climático ha incrementado significativamente la frecuencia e intensidad de las olas de calor a nivel global, consolidando al estrés térmico (HS, por sus siglas en inglés) como uno de los desafíos ambientales y económicos más severos para la industria porcina (Hörtenhuber et al., 2020; C. W. Wang et al., 2021). Para dimensionar la magnitud de este problema, estimaciones indican que este fenómeno genera pérdidas anuales que oscilan entre los 900 y 1,000 millones de dólares solo en la industria estadounidense, debido a la caída en el rendimiento y fallos reproductivos (Mayorga et al., 2019). A nivel de granja, el estrés de verano se traduce en caídas críticas, reportándose mermas promedio de 2.7 a 5.4 kg en el peso de la canal por cada cerdo enviado al mercado (Johnson & Stewart, 2025).

Desde una perspectiva zootécnica, estas mermas equivalen a reducciones del 10% al 30% en el consumo medio diario de alimento (ADFI) y del 15% al 25% en la ganancia media diaria de peso (ADG), según lo documentado a través de metaanálisis específicos (Renaudeau et al., 2011). Dentro de las diferentes etapas de producción, los lechones resultan particularmente vulnerables al HS, de acuerdo con Johnson & Lay (2017), esta fragilidad se

debe principalmente a la inmadurez de su sistema termorregulador y a su alta tasa metabólica basal. Durante los picos de calor, la morbilidad pre-destete experimenta un incremento alarmante, con tasas de mortalidad que pueden superar el 30%, además de provocar reducciones de hasta un 16% en el peso total de la camada al destete (Ross et al., 2015).

Este desafío es particularmente agudo en sistemas de producción en climas tropicales, donde las altas temperaturas y la humedad exceden la capacidad biológica de disipación de calor de los animales (Jongbo et al., 2026). A nivel fisiológico, la exposición prolongada al calor induce una redistribución del flujo sanguíneo hacia la periferia para disipar temperatura, lo que provoca isquemia e hipoxia severa en el tracto gastrointestinal (Yuan et al., 2023). Xiao et al. (2025) sostienen que este fenómeno desencadena una sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y estrés oxidativo, lo que degrada las proteínas de unión estrecha y origina el síndrome de "intestino permeable". Como consecuencia, se genera una disbiosis en la microbiota intestinal del lechón que facilita la traslocación de patógenos al torrente sanguíneo, deprimiendo el consumo de alimento y la ganancia de peso (Yuan et al., 2023; Yun et al., 2020).

Para mitigar estos efectos, las intervenciones nutricionales se han posicionado como una de las estrategias profilácticas más viables y sostenibles (Yoon et al., 2020). La literatura reciente ha explorado diversas alternativas, desde el uso de probióticos como *Lactobacillus* para restaurar el equilibrio microbiano benéfico (Yoon et al., 2020; Yuan et al., 2023), hasta la suplementación con minerales traza y aminoácidos funcionales (Lv et al., 2015; Yoon et al., 2020). En un enfoque innovador, Xiao et al. (2025) demostraron recientemente el potencial de las nanopartículas de cobre para mejorar la capacidad antioxidante, mientras que investigadores como (Hong et al., 2024) han propuesto que la intervención nutricional materna durante la gestación y lactancia es clave para transferir resiliencia térmica a la camada.

A pesar del creciente volumen de literatura evaluando estos aditivos modernos, existe una profunda brecha de conocimiento: la evidencia actual presenta una alta heterogeneidad metodológica. Las variaciones en los modelos de inducción térmica, la diversidad de dosis y estrategias nutricionales empleadas, así como las diferencias en las variables evaluadas, han dificultado la comparación entre estudios y han imposibilitado la realización de metaanálisis cuantitativos convencionales. Como consecuencia, la evaluación del impacto real de estas estrategias nutricionales permanece fragmentada y sin un consenso unificado.

La novedad de este trabajo radica en superar estas limitantes metodológicas mediante la aplicación de las directrices de Síntesis sin Metaanálisis (SWiM), permitiendo integrar y valorar estudios con diseños heterogéneos sin perder información relevante para la industria porcina. Este enfoque establece criterios explícitos de elegibilidad, agrupación por tipos de intervenciones nutricionales y análisis de la dirección del efecto, reduciendo la subjetividad en la interpretación de los resultados.

Considerando las limitaciones identificadas en la literatura, la presente revisión sistemática se orientó por las siguientes preguntas de investigación: (1) ¿Qué estrategias nutricionales han demostrado mayor eficacia para mitigar la reducción del rendimiento zootécnico en lechones sometidos a estrés térmico? y (2) ¿Qué mecanismos biológicos explican el efecto de estas intervenciones sobre la integridad intestinal, la microbiota, la respuesta inmunitaria y el estrés oxidativo?

En respuesta a estas preguntas, el objetivo de la presente revisión sistemática fue sintetizar de forma cualitativa la evidencia disponible sobre la eficacia de diversas estrategias nutricionales, estableciendo un marco de referencia sobre cómo estas intervenciones modulan el rendimiento productivo, la salud intestinal y los marcadores de estrés celular en lechones bajo estrés térmico.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo-documental, con alcance descriptivo y analítico, debido a que se orientó a caracterizar, organizar e interpretar la evidencia científica disponible sobre estrategias nutricionales en lechones bajo estrés térmico. El diseño fue no experimental, retrospectivo y de revisión sistemática, ya que no se manipularon variables ni se ejecutaron ensayos in vivo propios, sino que se analizaron estudios primarios previamente publicados. Para el tratamiento de la información se empleó estadística descriptiva mediante frecuencias, porcentajes y dirección del efecto. No se aplicó estadística inferencial ni metaanálisis cuantitativo debido a la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos, por lo que se adoptó la metodología SWiM para la síntesis cualitativa de la evidencia.

Diseño del estudio y protocolo

La presente revisión sistemática se llevó siguiendo las directrices de la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021). El protocolo de revisión, el proceso de cribado y la gestión documental se estructuraron mediante la plataforma Parsifal. Las referencias identificadas fueron gestionadas con el gestor bibliográfico Mendeley, utilizando sus algoritmos de detección automática combinados con el filtrado de Parsifal para la eliminación de registros duplicados previa a la selección.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

Se ejecutó una búsqueda sistemática exhaustiva en las bases de datos electrónicas Scopus, ScienceDirect y PubMed. El marco temporal abarcó estudios publicados entre enero de 2010 y diciembre de 2025. La ecuación de búsqueda se construyó combinando operadores booleanos (AND, OR) con términos estandarizados y palabras clave relacionadas con la etapa fisiológica, el desafío ambiental y qué las intervenciones. La cadena de búsqueda base (adaptada a la sintaxis específica de cada plataforma) fue: (piglet OR "weaned pig" OR

"weanling pig" OR swine) AND ("heat stress" OR "thermal stress" OR "high temperature") AND (probiotic OR supplement OR additive OR mineral OR "nutritional strateg")

Criterios de elegibilidad

La selección de literatura se basó en la estrategia PICOS (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study design*). Se incluyeron: 1) Ensayos experimentales *in vivo* realizados en lechones (*Sus scrofa domesticus*) menores de 45 días de edad o con un peso inferior a 20 kg; 2) Estudios que evaluaran la transferencia materno-filial de estrategias nutricionales en hembras bajo estrés térmico con resultados medidos en la camada; 3) Modelos traslacionales murinos que evaluaran suplementos bioactivos derivados de porcinos bajo estrés; 4) Investigaciones con una inducción térmica controlada o natural claramente definida; 5) Intervenciones basadas en suplementación dietética (probióticos, minerales traza, aditivos) comparadas frente a un grupo control basal; y 6) Estudios que reportaran parámetros de rendimiento zootécnico y/o variables del eje microbiota-intestino bajo estrés térmico en lechones.

Se excluyeron artículos de revisión, resúmenes de congresos y capítulos de libros; estudios enfocados en fases productivas de engorde o finalización (sin datos de lechones); ensayos carentes de un grupo control definido; y publicaciones con datos empíricos incompletos o cuyo texto completo no estuviese disponible.

Selección de estudios y extracción de datos

El cribado siguió el flujo de trabajo PRISMA (Identificación, Selección e Inclusión). Se evaluaron de manera independiente los títulos y resúmenes de los registros recuperados. Los artículos potencialmente elegibles fueron sometidos a una revisión a texto completo. Posteriormente, los datos fueron extraídos de forma independiente en una matriz estructurada (Microsoft Excel), documentando: autor y año, tamaño de la muestra, peso/edad inicial, modelo

de inducción de estrés térmico, dosis y tipo de intervención nutricional, duración del ensayo y las variables de respuesta principales (Ganancia Media Diaria, Consumo Medio Diario, integridad de barrera e índices microbiológicos/fisiológicos).

Evaluación de la calidad metodológica

El riesgo de sesgo de los estudios primarios se evaluó mediante la herramienta SYRCLE (*Systematic Review Centre for Laboratory animal Experimentation*) (Hooijmans et al., 2014), la cual es una adaptación validada de la herramienta *Risk of Bias* (RoB) de la Colaboración Cochrane, diseñada específicamente para mitigar los sesgos en ensayos *in vivo* con modelos animales. Se calificaron diez dominios metodológicos (incluyendo sesgo de selección, realización, detección, desgaste o deserción, reporte o notificación y otros), categorizando cada parámetro como "bajo riesgo", "alto riesgo" o "riesgo incierto".

Síntesis de la evidencia

Debido a la considerable heterogeneidad metodológica de los artículos seleccionados, la evidencia se sintetizó cualitativamente adoptando las directrices SWiM (Campbell et al., 2020). Los hallazgos se categorizaron según la dirección del efecto biológico de las intervenciones sobre el efecto productivo y la fisiología del lechón. Para proporcionar una síntesis estructurada y transparente, se emplearon gráficos de dirección del efecto (*effect direction plots*), en los cuales el impacto de la suplementación frente al control se estandarizó visualmente como: efecto biológicamente favorable o aumento (▲), efecto desfavorable o disminución (▼), y efecto neutro o ausencia de significancia estadística (◄ ►)

Resultados

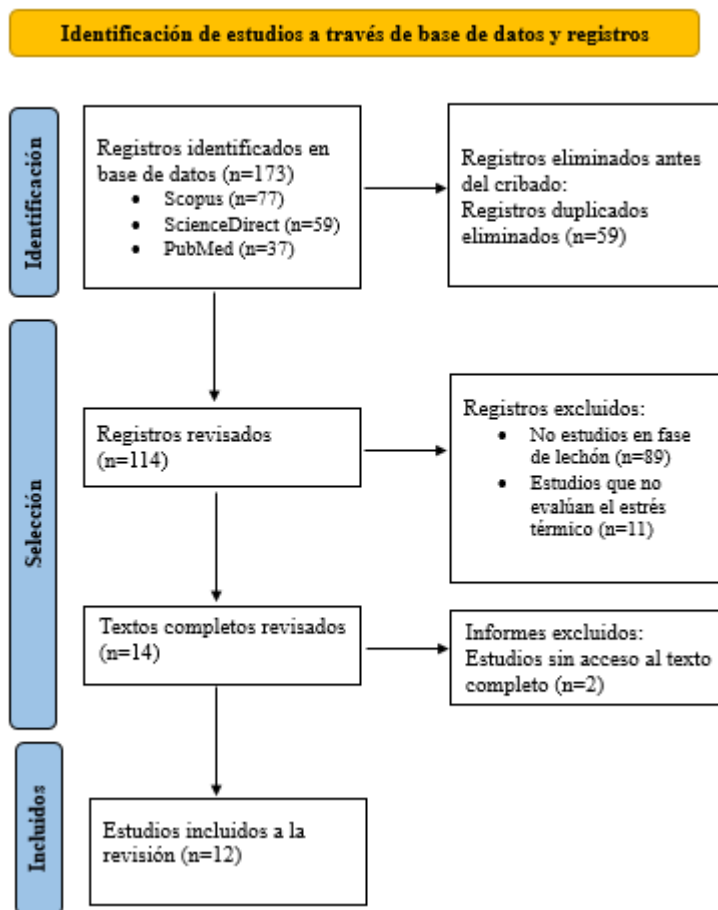
Selección de estudios y flujo PRISMA

La búsqueda bibliográfica inicial en las bases de datos electrónicas arrojó un total de 173 registros (77 en Scopus, 59 en ScienceDirect y 37 en PubMed). Tras la eliminación de 59 registros duplicados mediante las herramientas de filtrado de la plataforma Parsifal, se obtuvo un total de 114 artículos únicos. Durante la fase de cribado primario, se evaluaron los títulos y resúmenes de estos registros, lo que condujo a la exclusión de 100 documentos por no cumplir con los criterios de elegibilidad.

Posteriormente, los 14 artículos restantes fueron sometidos a una evaluación exhaustiva a texto completo. En esta etapa, se excluyeron 2 investigaciones adicionales debido a la indisponibilidad del documento para su análisis. Finalmente, un total de 12 estudios primarios cumplieron con todos los criterios de inclusión y fueron seleccionados para la extracción de datos, la evaluación de riesgo de sesgo y la síntesis cualitativa (Figura 1).

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA 2020 para nuevas revisiones sistemáticas que incluyeron búsqueda solo en base de datos y registros



Nota. El diagrama resume el proceso de selección de estudios sobre estrategias nutricionales para mitigar los efectos del estrés térmico en lechones. Elaboración propia con base en las directrices PRISMA 2020.

Características del estudio

Características de los estudios incluidos y distribución descriptiva

Las características principales, los modelos experimentales y la dirección del efecto de las intervenciones nutricionales de los 12 estudios incluidos se resumen en la (Tabla 1).

Modelos animales y condiciones de estrés térmico

El 100% (n=12) de los estudios basaron su justificación en la problemática porcina. Sin embargo, en cuanto al modelo experimental directo, la gran mayoría de los ensayos (83.3%, n=10) aplicó las intervenciones en lechones en etapa de lechón bajo estrés térmico en cámaras bioclimáticas o verano natural. Cabe destacar dos excepciones metodológicas valiosas: un 8.3%

(n=1) (Hong et al., 2024) aplicó la intervención en cerdas gestantes/lactantes para evaluar la transferencia pasiva de inmunidad a la camada, y otro 8.3% (n=1) (Yuan et al., 2023) utilizó un modelo murino inducido tras aislar cepas de lechones resistentes al calor.

Tipos de intervenciones nutricionales

Se observó una alta heterogeneidad clínica en las estrategias nutricionales evaluadas, las cuales se distribuyeron en cuatro categorías principales:

- Intervenciones Microbiológicas (n=4): Uso de probióticos, destacando cepas específicas de *Lactobacillus*.
- Minerales (n=6): Suplementación con elementos traza como selenio, óxido de zinc y tecnologías emergentes como el nano-cobre.
- Aminoácidos funcionales (n=3): Adición a la dieta de L-Glutamina y L-Arginina.
- Compuestos bioactivos y derivados (n=3): Uso de polifenoles como el resveratrol, extracto de algas (polisacáridos) y derivados proteicos como el plasma porcino (SDPP).

La suma total de intervenciones es mayor al número de estudios incluidos (N=12) debido a que algunos ensayos evaluaron intervenciones combinadas.

Efectos sobre el rendimiento productivo

En cuanto a los parámetros zootécnicos, el 91.7% (n=11) de los estudios midió directamente la Ganancia Media Diaria (ADG) y/o el Consumo Medio Diario de Alimento (ADFI). En su totalidad, la evidencia sintetizada demuestra una dirección del efecto positiva, evidenciando que la suplementación nutricional logró mitigar de manera significativa las caídas productivas provocadas por el estrés térmico.

Modulación de la microbiota intestinal y salud celular

Aproximadamente el 33.3% (n=4) de los artículos evaluó el eje microbiota-intestino, coincidiendo en que las intervenciones revirtieron la disbiosis por calor al aumentar la

abundancia relativa de bacterias benéficas promoviendo la producción de Ácidos Grasos de Cadena Corta (AGCC).

Impacto en marcadores inmunológicos y estrés oxidativo

A nivel fisiológico, el 91.7% (n=11) de los estudios analizó marcadores inmunológicos o de estrés. La síntesis revela un mecanismo protector constante: las intervenciones redujeron sistémicamente las citoquinas proinflamatorias e incrementaron factores antiinflamatorios (como IL-10). Asimismo, una proporción significativa de estos estudios demostró una modulación de la Proteína de Choque Térmico 70 (HSP70) y una mejora en la integridad de la barrera intestinal.

Tabla 1

Características de los estudios incluidos y dirección del efecto de las intervenciones nutricionales sobre el rendimiento productivo y marcadores fisiológicos en lechones bajo estrés térmico.

Estudio (Año)	Modelo Animal y Condiciones de HS	Intervención Nutricional (Dosis)	Rendimiento (ADG / ADFI)	Efecto en la Microbiota Intestinal	Marcadores Inmunológicos y Oxidativos
(Gan et al., 2013b)	<p>Lechones: N=48, peso inicial 7.9 kg (4 semanas de edad).</p> <p>HS Natural (Verano): Temperaturas diurnas entre 25-40°C durante 42 días en galpón.</p>	<p>Mineral + Probiótico: Probióticos enriquecidos con Selenio (0.46 mg + Probióticos Lactobacillus acidophilus (10¹¹ CFU/L) y Saccharomyces cerevisiae (10⁹ CFU/L)</p>	<p>(No reportado) / ◀ ▶ (ADFI fue de ~800g/día sin diferencias entre grupos).</p>	(No evaluado)	<p>▼ Expresión de Proteínas de Choque Térmico (Hsp70, Hsp27 en hígado, riñón y bazo) ▲ Enzimas antioxidantes (Actividad y ARNm de GPx1) ▲ Deposición de Se en tejidos</p>
(Gan et al., 2014)	<p>Lechones: N=48, peso inicial 7.9 kg (4 semanas de edad).</p> <p>HS Natural (Verano): 25-40°C durante 42 días en galpón.</p>	<p>Mineral + Probiótico: Probióticos enriquecidos con Selenio (0.46 mg Se/kg + Probióticos: L. acidophilus (3 × 10¹¹ CFU/kg) y S. cerevisiae (3 × 10⁹ CFU/kg) en la dieta final.).</p>	<p>▲ / ▶ ▶ (ADG mejoró de 321g a 387g; Consumo ADFI sin cambios)</p>	(No evaluado)	<p>▲ Función inmune (Proliferación de Linfocitos T, IL-2) ▲ Capacidad y enzimas antioxidantes (GPx, SOD, GSH) ▲ la expresión de ARNm de la tioredoxina reductasa 1 en hígado, riñón y bazo. ▼ Estrés oxidativo (MDA)</p>

(Dantas et al., 2014)	<p>Lechones: N=120 machos castrados, peso inicial ~15 kg.</p> <p>HS Inducido: Cámara climática a 34.1°C y 70% HR (THI: 86.7) por 25 días.</p>	<p>Mineral (Macromineral):</p> <p>Fósforo disponible vía Fosfato Bicálcico (Niveles: 0.107% basal, 0.214%, 0.321%, 0.428% y 0.535%).</p>	<p>▲ / (No reportado)</p> <p>(El mayor peso corporal final bajo estrés térmico se logró con la dosis de 0.428% de Fósforo).</p>	(No evaluado)	<p>▼ El estrés por calor disminuyó la glucosa y aumentó el lactato plasmático</p> <p>▼ Fosfatasa Alcalina Total y Ósea con la suplementación de fósforo</p> <p>▼ T4 libre tiroxina bajo estrés para reducir el metabolismo</p> <p>Modulación metabólica:</p> <p>▲ Niveles séricos de Fósforo y Fosfatasa alcalina ósea.</p>
(Lv et al., 2015)	<p>Lechones: N=48, peso inicial 7.9 kg (28 días de edad).</p> <p>HS Natural (verano): Temp. media de 38°C (35°C primeros 33 días y picos de 40°C los últimos 9) por 42 días.</p>	<p>Mineral + Probiótico:</p> <p>Probióticos enriquecidos con Selenio (0.3 mg Se/kg + 3×10¹¹ L. acidophilus + 3×10⁹ S. cerevisiae CFU/kg).</p>	<p>▲ / (No detallado)</p> <p>(Mejora significativa del peso final, ADG Aumentó significativamente a 548 g/día en el grupo SeP (frente a 447 g del control), ADFI de 955 g/día y reducción de la conversión alimenticia FCR)</p>	<p>▲ Lactobacillus</p> <p>▼ Escherichia coli</p> <p>(Mayor modificación positiva de la flora fecal global)</p>	<p>▲ Enzima antioxidante (GSH-Px en sangre)</p> <p>Modulación metabólica (▲ T3, ▼ T4)</p> <p>▼ Incidencia de diarrea</p>
(Johnson & Lay, 2017)	<p>Lechones: N=60, peso inicial 5.6 kg (destetados a los 18.8 días).</p> <p>HS Inducido: Transporte simulado con temperatura cíclica de 32 a 37°C por 12 horas (evaluación post-estrés de 14 días).</p>	<p>Aminoácido:</p> <p>L-Glutamina (0.20% de la dieta) vs. Grupo sin antibióticos (NA).</p>	<p>▲ / ▲</p> <p>(El consumo de alimento y la ganancia de peso mejoraron significativamente comparados con el control NA, igualando al grupo con antibióticos).</p>	(No evaluado)	<p>◀ ▶ Citoquinas séricas y Endotoxinas (TNF-α, IL-8 y LPS sin diferencias entre dietas).</p> <p>▲ Morfología intestinal (Mayor ratio de altura de vellosidad/profundidad de cripta en duodeno, yeyuno e íleon).</p>
(dos Santos Cerqueira et al., 2019b)	<p>Lechones: N=144, peso inicial 5.82 kg (28 días de edad).</p> <p>HS Inducido: Sala climatizada a 34°C vs. Control a 24°C durante 35 días.</p>	<p>Proteína Funcional:</p> <p>Plasma Porcino Secado por Aspersión (SDPP) a 0%, 2.5%, 5.0% y 7.5% de la dieta.</p>	<p>▲ / ▲</p> <p>(Bajo estrés térmico, el consumo de alimento ADFI mejoró de forma cuadrática, con un nivel óptimo calculado de 4.3% de inclusión de plasma. La</p>	(No evaluado)	<p>◀ ▶ Hormonas tiroideas (El HS redujo los niveles de T3 y T4, pero la dieta con plasma no logró revertir esta caída hormonal).</p> <p>(No se midieron citoquinas clásicas).</p>

			ganancia ADG mejoró al 5%).	
(Yoon et al., 2020)	<p>Lechones: N=180, peso inicial 10.45 kg (28 días de edad).</p> <p>HS Inducido: Sala climatizada a 35°C durante 10 horas diarias (07:00 a 17:00) por 14 días.</p>	<p>Aminoácido + Mineral: L-arginina (1.6%) combinada con diferentes niveles de Óxido de Zinc (ZnO) (desde 500 hasta 2500 mg/kg).</p>	<p>▲ / ▲ (La combinación mejoró significativamente la ganancia de peso ADG y previno la caída del consumo ADFI respecto al control basal).</p>	<p>▼ Clostridium spp. en el íleon. (Reducción significativa de bacterias potencialmente patógenas)</p> <p>▼ Citoquinas proinflamatorias (mRNA de TNF-α, IL-6, IFN-γ) en tejido. ▼ Expresión de Proteína de Choque Térmico (HSP27) en hígado. ▲ Integridad intestinal (Mayor altura de vellosidades).</p>
(Yun et al., 2020)	<p>Lechones: N=10 (o el total de tu diseño), peso inicial 16.0 kg.</p> <p>HS Inducido: Sala climatizada a 35°C durante 35 días.</p>	<p>Aminoácido: L-Arginina (0.4% de la dieta = 4000 mg/kg).</p>	<p>▲ / ▲ (La suplementación logró mitigar la caída del consumo ADFI y mejoró significativamente el ADG bajo calor).</p>	<p>(No evaluado)</p> <p>▼ Estrés fisiológico (Reducción de los niveles de Cortisol en sangre).</p> <p>▼ Estrés oxidativo (Reducción de d-ROMs, un marcador de especies reactivas de oxígeno).</p>
(Wang et al., 2021)	<p>Lechones: N=72, peso inicial 5.88 kg (30 días de edad).</p> <p>HS Natural (Verano): Galpón comercial a 34±4°C y 70±5% HR durante 21 días (Sur de China).</p>	<p>Extracto de algas (Polisacáridos): Polisacáridos de Laminaria japonica (LJP - 80% fucoídano) a niveles de 100, 200 y 400 mg/kg.</p>	<p>▲ / ◀ ▶ (La ganancia de peso ADG aumentó linealmente y la conversión alimenticia FCR mejoró con las dosis de 200 y 400 mg/kg).</p>	<p>(No evaluado)</p> <p>▼ Estrés celular (Reducción de niveles de Proteína de Choque Térmico HSP70 en suero).</p> <p>▲ Inmunidad innata (Aumento de Lisozima, Óxido Nítrico [NO] y Fosfatasa Ácida [ACP] en suero).</p>
(Yuan et al., 2023)	<p>Aislamiento: 20 Lechones de 35 días bajo HS crónico.</p> <p>HS inducido Temperatura máx. de 36 °C y mín de 20 °C</p> <p>Intervención: Modelo de ratones con colitis inducida por químicos (DSS).</p>	<p>Probiótico: Lactobacillus johnsonii N5 (cepa aislada de lechones resistentes al calor).</p>	<p>◀ ▶ / ◀ ▶</p>	<p>▲ Lactobacillus (asociado naturalmente a la resistencia al HS en lechones).</p> <p>▼ Citoquinas proinflamatorias (TNF-α, IL-6).</p> <p>▲ Antiinflamatorias (IL-10) y Células Treg.</p> <p>▲ Integridad intestinal y Proteína de Choque Térmico (HSP70).</p>

<p>(Hong et al., 2024)</p>	<p>Cerdas y sus camadas: N=20 cerdas multíparas.</p> <p>HS Natural (Verano): Temp. ambiente entre 27 a 30°C desde el día 75 de gestación hasta el día 21 de lactancia.</p>	<p>Polifenol / Antioxidante (Intervención Materna):</p> <p>Resveratrol (300 mg/kg en la dieta de la cerda).</p>	<p>▲ / (N/A)</p> <p>(La suplementación a la madre aumentó significativamente la ganancia diaria de peso total de los lechones lactantes bajo el calor del verano).</p>	<p>▲ Bacterias benéficas (Lactobacillus).</p> <p>▲ Producción de Ácidos Grasos de Cadena Corta (AGCC / SCFA) en el colon.</p>	<p>▲ Inmunidad pasiva y mucosal (Aumento de sIgA intestinal transmitida por el calostro).</p> <p>▲ Integridad intestinal (Aumento de proteínas de unión estrecha).</p> <p>(Modulación positiva de microRNAs derivados de exosomas de la leche).</p>
<p>(Xiao et al., 2025)</p>	<p>Lechones: N=40, peso inicial 6.49 kg (destetados a los 20 días).</p> <p>HS Inducido: 35°C máx, 28°C mín por 22 días.</p>	<p>Mineral:</p> <p>Nano-cobre (150 mg/kg).</p>	<p>▲ / ▲</p>	<p>(No evaluado)</p>	<p>▼ Citoquinas proinflamatorias (IL-1β, IL-6)</p> <p>▼ Estrés oxidativo (MDA)</p> <p>▲ Enzimas antioxidantes (SOD)</p>

Nota: ADG = Ganancia Media Diaria; ADFI = Consumo Medio Diario de Alimento. Las flechas indican la dirección del efecto en el grupo tratado respecto al control: (▲) Aumento significativo; (▼) Disminución significativa; (◄ ►) Sin efecto significativo o no evaluado. Elaboración propia a partir de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Evaluación de la calidad y riesgo de sesgo

Los resultados de la evaluación de calidad de sesgo mediante SYRCLE se muestran en la (Figura 2). Entre los 12 estudios, solo Xiao et al. (2025) obtuvo bajo riesgo en la generación de la secuencia (D1) al detallar su método de aleatorización, el resto resultó en riesgo poco claro por falta de especificidad técnica. Por el contrario, todos presentaron bajo riesgo en características iniciales (D2), (D3) presenta un ocultamiento de riesgo incierto al ser pocos claros en la homogeneidad en peso y edad antes del estrés térmico.

Respecto al sesgo de rendimiento, los trabajos mostraron riesgo poco claro en alojamiento aleatorio (D4) y cegamiento de cuidadores (D5) por omitir detalles sobre la rotación de corrales y el personal encargado.

En la evaluación aleatoria de resultados (D6), ocho estudios lograron bajo riesgo al confirmar la selección al azar de animales para muestreo biológico, dejando solo tres estudios

en riesgo poco claro y uno que es relevante dos Santos Cerqueira et al. (2019) presentó un alto riesgo, no eligieron al azar, sino que seleccionaron deliberadamente.

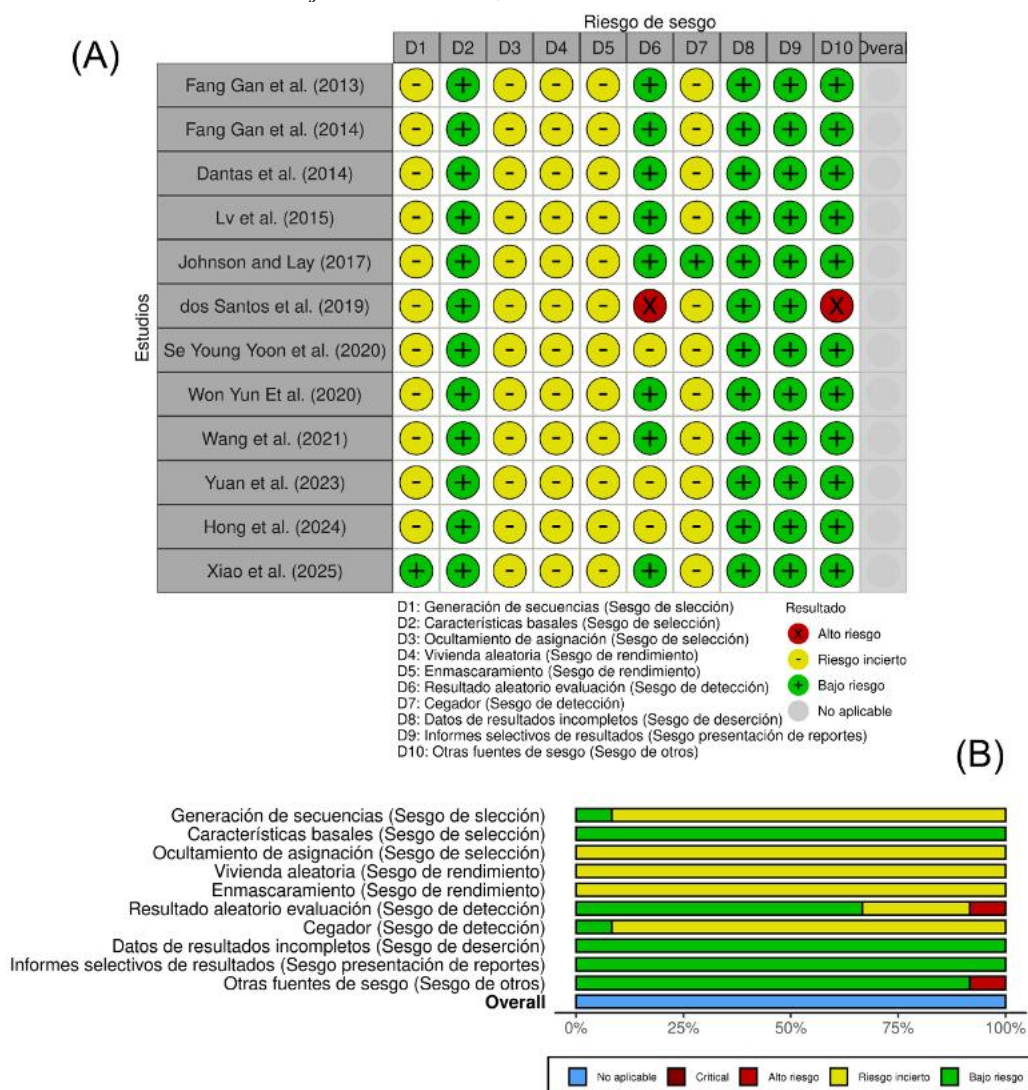
Para el cegamiento del evaluador (D7), la mayoría se clasificó con riesgo poco claro por no declarar si los técnicos de laboratorio desconocían el origen de las muestras al analizar citoquinas o microbiota.

Es fundamental resaltar que en el sesgo de desgaste (D8) la totalidad de los estudios alcanzó bajo riesgo, informando con transparencia que no hubo pérdida de datos. En el reporte selectivo (D9), todos obtuvieron bajo riesgo porque publicaron los datos de todas las variables prometidas, sin omitir resultados contradictorios. En otros sesgos (D10), casi todos fueron bajo riesgo, exceptuando a dos Santos et al. (2019) por factores críticos identificados en esta categoría.

Finalmente, la barra azul (Overall) del gráfico robvis indica que no se aplicó una evaluación de riesgo global, dado que la síntesis fue narrativa y visual (SWiM), sin fines de metaanálisis cuantitativo.

Figura 2

Riesgo de sesgo de los estudios incluidos en la revisión sistemática sobre estrategias nutricionales para modular la microbiota intestinal de lechones bajo estrés calórico, evaluado mediante la herramienta SYRCLE.



Nota. El panel (A) muestra la evaluación individual del riesgo de sesgo para cada estudio en los diez dominios de la herramienta SYRCLE. El panel (B) presenta la distribución porcentual de los estudios clasificados con bajo riesgo (verde), riesgo incierto (amarillo) y alto riesgo (rojo) en cada dominio evaluado. Elaboración propia a partir de la evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos mediante la herramienta SYRCLE.

Discusión

La mitigación del estrés térmico en la producción porcina exige enfoques multifactoriales, siendo la intervención nutricional una de las estrategias profilácticas más prometedoras y viables a nivel de campo e industrial. La presente revisión sistemática cualitativa demuestra que, a pesar de la considerable heterogeneidad en los modelos de

inducción de calor y las dosis administradas, la suplementación con probióticos, minerales traza, aminoácidos y compuestos bioactivos funcionales ejerce una dirección de efecto consistentemente positiva sobre la recuperación de la (ADG) y (ADFI) en lechones. Más allá del evidente rescate de los parámetros zootécnicos, la síntesis de la evidencia sugiere que la eficacia de estas intervenciones converge biológicamente en dos mecanismos protectores primarios: la preservación de la barrera intestinal y la modulación del sistema antioxidante e inmunológico.

Restauración del eje microbiota-intestino

Bajo condiciones de estrés térmico severo, la redirección del flujo sanguíneo hacia la periferia provoca isquemia e hipoxia celular en el epitelio digestivo del lechón, desencadenando una disbiosis caracterizada por la proliferación de *Enterobacteriaceae* y la degradación de los complejos de unión estrecha *tight junctions*, esta desnaturalización proteica altera el espacio paracelular, originando el síndrome de intestino permeable (Kinashi & Hase, 2021; Shu et al., 2023).

Para mitigar este daño, la suplementación con probióticos como *Lactobacillus* actúa mediante la interacción de sus componentes estructurales como peptidoglicanos, con los receptores tipo Toll (TLR) en la membrana de los enterocitos, activando cascadas de señalización intracelular a través de las vías de las quinasas PKC y MAPK (Hong et al., 2024; Yuan et al., 2023). Estas vías estimulan a nivel nuclear la transcripción de los genes que codifican para las proteínas Claudina-1, Ocludina y ZO-1 (Zónula Occludens-1); tras su posterior traducción y translocación a la región apical, estas macromoléculas se autoensamblan para restaurar la integridad de la barrera epitelial, bloqueando herméticamente la traslocación bacteriana y la endotoxemia hacia el torrente sanguíneo (Yuan et al., 2023).

Estos mecanismos han sido corroborados recientemente por (Zha et al., 2023), quienes demostraron que la combinación de selenio con oligosacáridos previene eficazmente el daño a la barrera mucosa y reduce la incidencia de diarrea al fortalecer las uniones estrechas. Además, la evidencia sintetizada respalda que estas estrategias promueven la exclusión competitiva de patógenos, incrementando la abundancia de bacterias benéficas productoras de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). De acuerdo con Dowley et al. (2023), el uso de compuestos bioactivos y selenio orgánico modula favorablemente los patrones de fermentación microbiana, proveyendo metabolitos como el butirato, los cuales sirven como sustrato energético principal para acelerar la regeneración de los enterocitos dañados por la hipertermia.

Antioxidante y la modulación inmunológica

El segundo pilar identificado en esta revisión es el control del estrés celular inducido por el calor. La exposición prolongada a altas temperaturas detona una sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que desencadena una cascada proinflamatoria sistémica (Xiao et al., 2025). Los estudios analizados revelan que el uso de minerales traza y aminoácidos funcionales (L-Arginina, L-Glutamina) logran mitigar este daño al actuar como potentes cofactores enzimáticos (Johnson & Lay, 2017; Yoon et al., 2020).

Resulta particularmente destacable la evolución tecnológica en la suplementación mineral. Mientras que los estudios pioneros utilizaban selenio inorgánico, investigaciones recientes como las de (Qiao et al., 2023) han confirmado que las nanopartículas de selenio biogénico (SeNPs) exhiben una biodisponibilidad superior, restaurando la homeostasis intestinal de manera más eficiente.

Esta eficacia ha sido validada bajo condiciones climáticas de estrés térmico natural por (Chilala et al., 2026), quienes demostraron que las SeNPs mejoran significativamente el estatus antioxidante de los lechones. Estos micronutrientes "encienden" los sistemas de defensa

endógenos, aumentando la actividad de enzimas antioxidantes clave como la Glutación Peroxidasa (GSH-Px) y la Superóxido Dismutasa (SOD). Al neutralizar las ROS, se previene la activación de vías inflamatorias, reduciendo la secreción de citoquinas proinflamatorias (TNF- α , IL-6) y modulando la Proteína de Choque Térmico 70 (HSP70). En conjunto, este "escudo" antioxidante evita que el animal desvíe exceso de energía hacia el sistema inmune, recanalizando los nutrientes hacia el crecimiento muscular (ADG).

Mecanismos: El eje materno-filial

Aunque la literatura enfocada exclusivamente en la suplementación directa al lechón bajo estrés térmico es aún emergente, la universalidad de los mecanismos protectores descritos en esta revisión está sólidamente respaldada por estudios recientes en hembras reproductoras. En modelos de cerdas bajo hipertermia, investigadores como (Wang et al., 2025) han demostrado que el selenio activa de forma análoga la capacidad antioxidante endógena, neutralizando el daño celular. De manera similar, (Moturi et al., 2022) confirmaron que la producción de AGCC en el intestino de cerdas estresadas por calor reduce biomarcadores de permeabilidad intestinal como la zonulina, replicando los efectos de reparación de la barrera que observamos en los lechones.

Más aún, la mitigación del estrés mediante la nutrición materna no se limita a la madre, sino que transfiere resiliencia térmica a la camada. Trabajos recientes confirman que la modulación nutricional reduce el estrés oxidativo y las citoquinas inflamatorias en la leche (Ogundare et al., 2024), lo que atenúa la inflamación sistémica y promueve directamente el desarrollo y la homeostasis intestinal de la cría lactante (Xiong et al., 2022). Estas homologías sugieren fuertemente que las estrategias profilácticas sobre el eje microbiota-intestino e inmunidad son altamente conservadas entre etapas productivas frente al desafío térmico.

Limitaciones de la evidencia actual y direcciones futuras

A pesar de los hallazgos prometedores, es imperativo interpretar estos resultados a la luz de las limitaciones metodológicas presentes en la literatura primaria. De acuerdo con nuestra evaluación de riesgo de sesgo mediante la herramienta SYRCLE, una proporción considerable de los estudios presentó un "riesgo alto" o "poco claro" en los dominios de sesgo de realización (*performance bias*) y detección (*detection bias*), impulsado principalmente por la falta de un cegamiento adecuado de los cuidadores y evaluadores durante los ensayos *in vivo*. Esta deficiencia subraya la necesidad de un mayor rigor en futuros ensayos clínicos veterinarios.

Adicionalmente, la recurrente omisión de medidas de dispersión estadísticas exactas representó una barrera insalvable para la ejecución de un metaanálisis cuantitativo formal de este tema en específico. Aunque la aplicación de las directrices SWiM garantizó una evaluación robusta de la dirección del efecto, hacemos un llamado crítico a la comunidad científica para estandarizar el reporte de datos crudos. Para futuras investigaciones, se recomienda la integración de tecnologías multiómicas (metagenómica, transcriptómica y metabolómica) junto con las intervenciones nutricionales. Esto permitirá confirmar los mecanismos de acción a nivel sistémico y definir con precisión matemática las dosis óptimas y las sinergias entre suplementos para maximizar la resiliencia del lechón frente al cambio climático global.

Conclusión

La evidencia analizada en esta revisión sistemática permitió identificar las principales estrategias nutricionales utilizadas para mitigar los efectos del estrés térmico sobre el rendimiento productivo y la salud intestinal de los lechones. Los resultados indican que los probióticos, los aminoácidos funcionales, los minerales traza y los compuestos bioactivos presentaron la evidencia más consistente para preservar el rendimiento zootécnico, reflejada en

mejoras de la ganancia diaria de peso y del consumo de alimento. Estos efectos se explican principalmente por la restauración de la integridad intestinal, la modulación favorable de la microbiota, la reducción de la respuesta inflamatoria y el fortalecimiento de los sistemas antioxidantes endógenos. En conjunto, estas intervenciones incrementan la resiliencia fisiológica del lechón frente al estrés térmico y representan una estrategia nutricional prometedora para mantener la productividad porcina en escenarios de altas temperaturas.

Referencias Bibliografías

- Campbell, M., McKenzie, J. E., Sowden, A., Katikireddi, S. V., Brennan, S. E., Ellis, S., Hartmann-Boyce, J., Ryan, R., Shepperd, S., Thomas, J., Welch, V., & Thomson, H. (2020). Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: reporting guideline. *BMJ*, 368. <https://doi.org/10.1136/BMJ.L6890>
- Chilala, P., Skalickova, S., & Horky, P. (2026). The effect of biogenic selenium nanoparticles (*Cissus quadrangularis*) on the performance and antioxidant status of piglets in the climatic conditions of Zambia. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1742829. <https://doi.org/10.3389/FVETS.2025.1742829/TEXT>
- Dantas, W. de M. F., Filho, J. D. R., Guimarães, J. D., & Guimarães, S. E. F. (2014). Perfil metabólico y peso corporal de lechones alimentados con diferentes niveles de fósforo en distintos ambientes térmicos.[Perfil metabólico e ponderal de leitões submetidos a dietas com diferentes teores de fósforo em ambientes térmicos distintos]. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(11), 901–910. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100009>
- Dos Santos Cerqueira, L. G., Schinckel, A. P., Silveira, H., Kuribayashi, T. H., Moreira, R. H. R., Lisboa, Í. de O., Cantarelli, V. de S., & Pospissil Garbossa, C. A. (2019). Spray-dried porcine plasma improves feed intake of weaned piglets subjected to heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(3), 836–845. <https://doi.org/10.1111/JPN.13071>
- Dowley, A., Sweeney, T., Conway, E., Vigors, S., Ryan, M. T., Yadav, S., Wilson, J., & O'Doherty, J. V. (2023). The effects of dietary supplementation with mushroom or selenium enriched mushroom powders on the growth performance and intestinal health of post-weaned pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/S40104-022-00808-X>
- Gan, F., Chen, X., Liao, S. F., Lv, C., Ren, F., Ye, G., Pan, C., Huang, D., Shi, J., Shi, X., Zhou, H., & Huang, K. (2014). Selenium-enriched probiotics improve antioxidant status, immune function, and selenoprotein gene expression of piglets raised under high ambient temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(20), 4502–4508. <https://doi.org/10.1021/JF501065D>

- Gan, F., Ren, F., Chen, X., Lv, C., Pan, C., Ye, G., Shi, J., Shi, X., Zhou, H., Shituleni, S. A., & Huang, K. (2013). Effects of selenium-enriched probiotics on heat shock protein mRNA levels in piglet under heat stress conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(10), 2385–2391. <https://doi.org/10.1021/JF300249J>
- Hong, C., Huang, Y., Yang, G., Wen, X., Wang, L., Yang, X., Gao, K., Jiang, Z., & Xiao, H. (2024). Maternal resveratrol improves the intestinal health and weight gain of suckling piglets during high summer temperatures: The involvement of exosome-derived microRNAs and immunoglobulin in colostrum. *Animal Nutrition*, *17*, 36–48. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2024.01.002>
- Hooijmans, C. R., Rovers, M. M., De Vries, R. B. M., Leenaars, M., Ritskes-Hoitinga, M., & Langendam, M. W. (2014). SYRCLE's risk of bias tool for animal studies. *BMC Medical Research Methodology*, *14*(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-43>
- Hörtenhuber, S. J., Schauburger, G., Mikovits, C., Schönhart, M., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., & Zollitsch, W. (2020). The Effect of Climate Change-Induced Temperature Increase on Performance and Environmental Impact of Intensive Pig Production Systems. *Sustainability 2020, Vol. 12, 12*(22), 1–17. <https://doi.org/10.3390/SU12229442>
- Johnson, J. S., & Lay, D. C. (2017). Evaluación del comportamiento, el rendimiento del crecimiento, los parámetros inmunitarios y la morfología intestinal de lechones destetados después de un transporte simulado y estrés por calor cuando se eliminan los antibióticos de la dieta o se reemplaza.... *Journal of Animal Science*, *95*(1), 91–102. <https://doi.org/10.2527/JAS.2016.1070>
- Johnson, J. S., & Stewart, K. R. (2025). Heat stress matters: insights from United States swine producers. *Translational Animal Science*, *9*. <https://doi.org/10.1093/TAS/TXAF001>
- Jongbo, A. O., de Borba, L. P., Pereira, R. M. M., Bello, Q. O., Gregoratto, L. L., de Souza, D. P., Adeyeye, O. A., & Vieira, F. M. C. (2026). Heat stress in livestock under tropical climates: impacts and mitigation strategies. *Tropical Animal Health and Production*, *58*(2), 65. <https://doi.org/10.1007/S11250-026-04848-7>
- Kinashi, Y., & Hase, K. (2021). Partners in Leaky Gut Syndrome: Intestinal Dysbiosis and Autoimmunity. *Frontiers in Immunology*, *12*, 673708. <https://doi.org/10.3389/FIMMU.2021.673708/FULL>
- Lv, C. H., Wang, T., Regmi, N., Chen, X., Huang, K., & Liao, S. F. (2015). Effects of dietary supplementation of selenium-enriched probiotics on production performance and intestinal microbiota of weanling piglets raised under high ambient temperature. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *99*(6), 1161–1171. <https://doi.org/10.1111/JPN.12326>
- Mayorga, E. J., Renaudeau, D., Ramirez, B. C., Ross, J. W., & Baumgard, L. H. (2019). Heat stress adaptations in pigs. *Animal Frontiers*, *9*(1), 54–61. <https://doi.org/10.1093/AF/VFY035>

- Moturi, J., Hosseindoust, A., Tajudeen, H., Mun, J. Y., Ha, S. H., & Kim, J. S. (2022). Influence of dietary fiber intake and soluble to insoluble fiber ratio on reproductive performance of sows during late gestation under hot climatic conditions. *Scientific Reports 2022 12:1*, 12(1), 19749-. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23811-8>
- Ogundare, W. O., Beckett, L. M., Reis, L. G., Stansberry, M. C., Roberts, S. N., Anele, U. Y., Schinckel, A. P., Casey, T. M., & Minor, R. C. (2024). The impact of cooling and Moringa supplementation on oxidative stress in serum and milk, including milk cytokines, in heat stressed lactating sows and their litters. *Translational Animal Science*, 9. <https://doi.org/10.1093/TAS/TXAE156>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 372. <https://doi.org/10.1136/BMJ.N71>
- Qiao, L., Dou, X., Song, X., Chang, J., Zeng, X., Zhu, L., Yi, H., & Xu, C. (2023). Replacing dietary sodium selenite with biogenic selenium nanoparticles improves the growth performance and gut health of early-weaned piglets. *Animal Nutrition*, 15, 99–113. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2023.08.003>
- Renaudeau, D., Gourdine, J. L., & St-Pierre, N. R. (2011). A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 89(7), 2220–2230. <https://doi.org/10.2527/JAS.2010-3329>
- Ross, J. W., Hale, B. J., Gabler, N. K., Rhoads, R. P., Keating, A. F., & Baumgard, L. H. (2015). Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 55(12), 1381–1390. <https://doi.org/10.1071/AN15267>
- Shu, L. Z., Ding, Y. D., Xue, Q. M., Cai, W., & Deng, H. (2023). Direct and indirect effects of pathogenic bacteria on the integrity of intestinal barrier. *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, 16, 17562848231176428. <https://doi.org/10.1177/17562848231176427>
- Wang, C. W., Jiang, Y., Chen, W. N., Liu, Q., Cheng, X. F., Zhang, Y. H., Yuan, D. D., & Jiang, X. R. (2021). El polisacárido de Laminaria japonica en la dieta regula la propiedad de defensa sistémica de los lechones destetados, mejorando el rendimiento del crecimiento en condiciones de alta temperatura. *Revista India de Investigación Animal*, 55(7), 827–830. <https://doi.org/10.18805/IJAR.B-1340>
- Wang, J., Sun, H., Peng, Z., Wang, S. Q., Yan, Y. Q., Luo, W. C., Yang, R. G., Bei, W. C., Sun, L. H., & Yang, J. C. (2025). Hydroxy-Selenomethionine Supplementation During Gestation and Lactation Improve Reproduction of Sows by Enhancing the Antioxidant Capacity and Immunity Under Heat Stress Conditions. *Antioxidants 2025*, Vol. 14, 14(5). <https://doi.org/10.3390/ANTIOX14050525>

- Xiao, X., Xu, D., Zhang, H., Xing, Q., Chen, D., Mao, X., Wang, Q., Wang, H., & Yan, H. (2025). La suplementación con nanocobre reduce la excreción fecal de cobre y mejora el rendimiento de los lechones bajo estrés térmico. *Agricultura (Suiza)*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/agriculture15121296>
- Xiong, L., Zhang, W. F., Zhao, H., Tian, Z. Z., Ren, M., Chen, F., Guan, W. T., & Zhang, S. H. (2022). Dietary Supplementation of Enzymatically Treated *Artemisia annua* L. Improves Lactation Performance, Alleviates Inflammatory Response of Sows Reared Under Heat Stress, and Promotes Gut Development in Prewearing Offspring. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/FVETS.2022.843673>
- Yoon, S. Y., Sa, S. J., Cho, E. S., Ko, H. S., Choi, J. W., & Kim, J. S. (2020). Efectos del óxido de zinc y la arginina sobre la microbiota intestinal y el estado inmunitario de lechones destetados sometidos a altas temperaturas ambientales. *Animales*, 10(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ani10091537>
- Yuan, L., Zhu, C., Gu, F., Zhu, M., Yao, J., Zhu, C., Li, S., Wang, K., Hu, P., Zhang, Y., Cai, D., & Liu, H. Y. (2023). *Lactobacillus johnsonii* N5 from heat stress-resistant pigs improves gut mucosal immunity and barrier in dextran sodium sulfate-induced colitis. *Animal Nutrition*, 15, 210–224. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2023.04.012>
- Yun, W., Song, M., Lee, J., Oh, H., An, J., Kim, G., Lee, S., Lee, S., Kim, H. B., & Cho, J. (2020). Arginine addition in a diet for weaning pigs can improve the growth performance under heat stress. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(4), 460–467. <https://doi.org/10.5187/JAST.2020.62.4.460>
- Zha, A., Tu, R., Qi, M., wang, J., Tan, B., Liao, P., Wu, C., & Yin, Y. (2023). Mannan oligosaccharides selenium ameliorates intestinal mucosal barrier, and regulate intestinal microbiota to prevent Enterotoxigenic *Escherichia coli* -induced diarrhea in weaned piglets. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 264, 115448. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2023.115448>