

Granja inteligente para la Gestión de residuos pecuários avícolas, bovinos y porcinos para la mitigación del cambio climático

Smart farm for managing poultry, cattle, and pig waste to mitigate climate change

Fazenda inteligente para gerenciamento de resíduos de aves, bovinos e suínos para mitigar as mudanças climáticas

Recibido: 02/06/2025 | Revisado: 24/06/2025 | Aceptado: 25/06/2025 | Publicado: 27/06/2025

Mayra Zambrano

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2543-3232>

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”. Ingeniería Ambiental, Ecuador

E-mail: mayra.zambrano.41@espam.edu.ec

Carlos Banchón

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0388-1988>

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”. Ingeniería Ambiental, Ecuador

E-mail: carlos.banchon@espam.edu.ec

Resumen

El objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar el potencial de las tecnologías avanzadas y la digitalización en el contexto de las “granjas inteligentes” para optimizar la gestión de residuos en el sector ganadero, con especial atención a los procesos de estabilización de desechos sólidos. Esta revisión de la literatura analiza tecnologías aplicadas al manejo de desechos fecales en la industria ganadera, con énfasis en el tratamiento de estiércol de aves, vacunos y porcinos. Se abordan los beneficios de una gestión adecuada, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución en la propagación de patógenos, así como las consecuencias ambientales de un manejo deficiente, entre ellas la contaminación del agua, y su impacto en el cambio climático. Se hipotetiza que la adopción de tecnologías avanzadas y la digitalización de procesos que permitiría una gestión más eficiente de los residuos, minimizando la pérdida de nutrientes, controlando los patógenos y reduciendo el impacto ambiental. Asimismo, se examinan los factores operativos de las tecnologías de estabilización, sus ventajas, limitaciones y la viabilidad de adoptar sistemas automatizados a gran escala.

Palabras clave: Granjas Inteligentes; Gestión de Desechos; Contaminación Ambiental; Biogás; Compostaje.

Abstract

The objective of this literature review is to analyze the potential of advanced technologies and digitalization in the context of “smart farms” to optimize waste management in the livestock sector, with special attention to solid waste stabilization processes. This literature review analyzes technologies applied to fecal waste management in the livestock industry, with emphasis on poultry, cattle and swine manure treatment. The benefits of proper management, such as reduction of greenhouse gas emissions and reduction in the spread of pathogens, as well as the environmental consequences of poor management, including water contamination, and its impact on climate change are discussed. It is hypothesized that the adoption of advanced technologies and digitization of processes that would allow for more efficient waste management, minimizing nutrient loss, controlling pathogens and reducing environmental impact. The operational factors of stabilization technologies, their advantages, limitations and the feasibility of adopting large-scale automated systems are also discussed.

Keywords: Smart Farms; Waste Management; Environmental Pollution; Biogas; Composting.

Resumo

O objetivo desta revisão da literatura é analisar o potencial das tecnologias avançadas e da digitalização no contexto das “fazendas inteligentes” para otimizar o gerenciamento de resíduos no setor pecuário, com foco especial nos processos de estabilização de resíduos sólidos. Esta revisão da literatura analisa as tecnologias aplicadas ao gerenciamento de resíduos fecais no setor pecuário, com ênfase no tratamento de dejetos de aves, bovinos e suínos. São abordados os benefícios do gerenciamento adequado, como a redução das emissões de gases de efeito estufa e a redução da disseminação de patógenos, bem como as consequências ambientais do gerenciamento inadequado, incluindo a poluição da água e seu impacto nas mudanças climáticas. A hipótese é que a adoção de tecnologias avançadas e a digitalização dos processos permitiriam um gerenciamento de resíduos mais eficiente, minimizando a perda de nutrientes, controlando os agentes patogênicos e reduzindo o impacto ambiental. Também examina os fatores operacionais das tecnologias de estabilização, suas vantagens, limitações e a viabilidade da adoção de sistemas automatizados em grande escala.

Palavras-chave: Fazendas Inteligentes; Gestão de Resíduos; Poluição Ambiental; Biogás; Compostagem.

1. Introducción

La gestión de los desechos pecuarios generados por el ganado bovino, porcino y avícola constituye una fuente significativa de contaminación ambiental, especialmente cuando no se aplica un tratamiento adecuado. Esta deficiencia contribuye directamente a la emisión de carbono y otros gases perjudiciales para el medio ambiente. En este contexto, la implementación de granjas inteligentes orientadas a la mitigación del cambio climático se vuelve fundamental. Los residuos sólidos y líquidos, como el estiércol y el purín, representan una fuente importante de gases de efecto invernadero durante el proceso de compostaje, pudiendo llegar a generar hasta el 95% de las emisiones producidas en dicho proceso (Liu et al., 2023). Estos desechos contienen comúnmente materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), cuyas concentraciones varían considerablemente según el peso y tipo del animal (Gourlez et al., 2024). A nivel mundial, se estima una producción anual de más de 55 000 millones de toneladas de estiércol, de las cuales el ganado bovino genera alrededor del 60%, mientras que los cerdos y las aves de corral contribuyen con el 10% y el 9%, respectivamente (Giroto & Cossu, 2017). En España, por ejemplo, se producen aproximadamente 70 millones de kilogramos de estiércol diariamente (Franco et al., 2020). Aunque su aplicación en la agricultura puede aportar beneficios agronómicos, también representa un riesgo ambiental, principalmente por la posible contaminación con metales pesados que afectan tanto aguas superficiales como subterráneas (Li et al., 2024). Además, la actividad agrícola en general contribuye de manera importante a las emisiones de CO₂, especialmente debido a la deforestación y los cambios en el uso del suelo (Paz et al., 2021). Una gestión inadecuada del estiércol animal intensifica estos impactos negativos, provocando contaminación del suelo y del agua a través de lixiviados, así como emisiones atmosféricas de partículas, gases de efecto invernadero y olores, producto de procesos digestivos anaeróbicos (Pinos et al., 2012; Okpaga et al., 2024).

El sector agrícola consume aproximadamente el 70% del agua dulce a nivel mundial, destinando gran parte de esta al riego de cultivos, mientras que el sector pecuario utiliza cerca del 8%, principalmente para la irrigación de forraje (Organización para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019). Las actividades agrícolas, en particular las ganaderas, contribuyen de forma significativa al calentamiento global, generando alrededor del 18% del total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) atribuibles a actividades humanas (Barba y Andreu, 2020). Una gestión inadecuada de los recursos y residuos agropecuarios puede agravar la contaminación del suelo, del agua y del aire, incrementando la emisión de GEI (Gómez et al., 2013). En este contexto, el modelo de Granjas Inteligentes cobra relevancia al incorporar herramientas técnicas y digitales orientadas a optimizar la producción, el procesamiento y el transporte en el sector agropecuario. Este enfoque promueve prácticas ambientalmente sostenibles e impulsa innovaciones destinadas a aumentar la resiliencia del sector y mitigar su impacto ambiental, especialmente a través de la reducción de emisiones contaminantes (Callejo Ramos, 2020; Opio & Sangoluisa, 2022). Sin embargo, pese a sus ventajas, en Ecuador cerca del 95% de las fincas ganaderas operan con bajos niveles de tecnificación, lo que limita el aprovechamiento de todo el potencial que ofrece este modelo. Por ello, se requieren políticas públicas eficaces que fomenten la adopción de tecnologías en el sector agrícola y ganadero (Zambrano & Plaza, 2024).

Para el tratamiento de los desechos generados por la industria ganadera, se emplean diversas tecnologías orientadas a la estabilización de la materia orgánica, con el objetivo de reducir los componentes nocivos y optimizar la recuperación de nutrientes (Dong et al., 2022). Entre los métodos más relevantes se encuentran la separación sólido-líquido, la digestión anaeróbica, el compostaje y el vermicompostaje, los cuales contribuyen de manera significativa a una gestión más eficiente de los residuos y a la protección del medio ambiente (Matthews, 2023). Uno de los productos resultantes de la descomposición de la biomasa es el biogás, un gas cuya composición depende del tipo de desecho introducido en el biodigestor. Generalmente, está formado por un 50–70% de metano y un 30–45% de dióxido de carbono (Gutman, 2023). Aunque la aplicación de fertilizantes químicos ha mejorado considerablemente los rendimientos agrícolas, su uso excesivo ha provocado efectos negativos sobre el medio ambiente (Saucedo et al., 2024). El perfil nutricional del estiércol varía según el tipo de animal; se ha evidenciado que el estiércol porcino permite una mayor producción de biogás en comparación con otros tipos de residuos ganaderos (Halmaciu et

al., 2024). Además, la digestión anaeróbica puede modificar la composición de los nutrientes del estiércol, facilitando su reutilización (Gourlez et al., 2024). La implementación de esta tecnología también puede reducir hasta en un 30% las inversiones de capital en sistemas de producción porcina (Piskun et al., 2024). En este proceso, la producción de biogás se lleva a cabo en reactores herméticos alimentados con materia orgánica, como purines, estiércol bovino y restos vegetales (Barasa et al., 2024), lo que refuerza su potencial como una alternativa sostenible para la gestión de residuos ganaderos.

El objetivo de esta revisión bibliográfica es analizar el potencial de las tecnologías avanzadas y la digitalización aplicadas en el contexto de las granjas inteligentes para optimizar la gestión de residuos en el sector ganadero, con énfasis en los procesos de estabilización de desechos sólidos. Como hipótesis central, se plantea que la implementación de estas tecnologías puede mejorar significativamente dicha gestión, al reducir la pérdida de nutrientes, controlar la proliferación de patógenos y mitigar el impacto ambiental. Asimismo, se examinan los principales factores operativos asociados a las tecnologías de estabilización, sus beneficios, limitaciones y la factibilidad de incorporar sistemas automatizados a gran escala. La revisión concluye que las granjas inteligentes constituyen una alternativa sostenible frente a los desafíos ambientales del sector pecuario, al integrar innovación tecnológica con prácticas orientadas a la sostenibilidad.

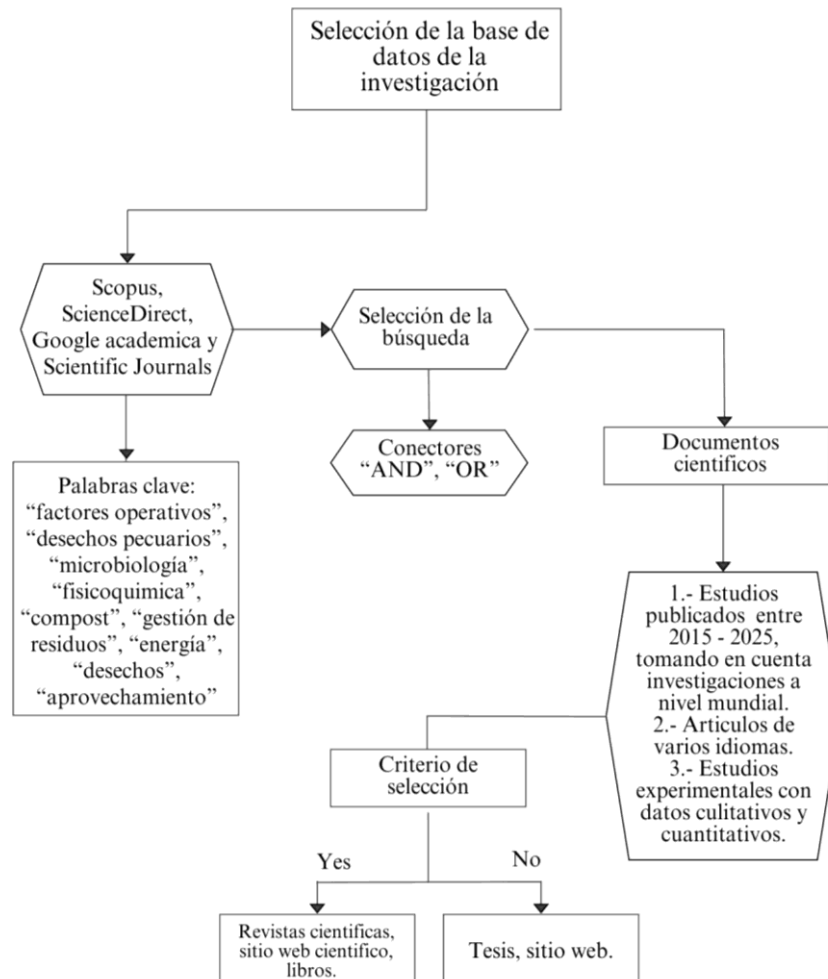
2. Metodología

La presente revisión sistemática aborda el uso de tecnologías asociadas a las granjas inteligentes en la gestión de desechos pecuarios —avícolas, bovinos y porcinos. El propósito principal de este tipo de revisión es recopilar toda la evidencia disponible que cumpla con criterios de inclusión previamente definidos, con el fin de responder a una pregunta de investigación específica o comprobar una hipótesis determinada (Page et al., 2021). Los criterios de inclusión se centraron en estudios publicados que analizaran los factores operativos en los procesos de estabilización de desechos pecuarios desde una perspectiva fisicoquímica y microbiológica. Se excluyeron tesis, estudios con enfoques cualitativos, investigaciones que no cumplieron con estándares metodológicos de calidad y publicaciones en idiomas distintos al inglés. Para la búsqueda de literatura, se emplearon palabras clave como: “factores operativos”, “desechos pecuarios”, “microbiología de los desechos pecuarios”, “compostaje de desechos pecuarios” y “gestión de residuos”, además de términos relacionados con los desechos sólidos específicos —avícolas, bovinos y porcinos, como manure. La estrategia de búsqueda combinó estos términos para identificar estudios relevantes en bases de datos científicas especializadas. La revisión se enfocará en la selección rigurosa de estudios que cumplan con los criterios de calidad establecidos. Los artículos seleccionados serán analizados en profundidad, prestando especial atención a los métodos de estabilización aplicados a los desechos pecuarios y sus efectos sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de estos residuos. En el marco de esta investigación, el término “desechos pecuarios” se refiere específicamente al estiércol generado por aves, bovinos y porcinos. Con la evolución de la ganadería hacia modelos de producción intensiva, el reciclaje y tratamiento de los nutrientes contenidos en estos residuos se ha convertido en una estrategia clave para su manejo eficiente, permitiendo a su vez generar valor económico para las granjas (Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural [FEADER], 2018). Asimismo, se analizarán características fisicoquímicas de los residuos, como el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el carbono y el fósforo, así como aspectos biológicos relevantes, incluyendo la presencia de parásitos y bacterias, basándose en investigaciones publicadas en los últimos diez años.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del Esquema 1, elaborado conforme a la metodología PRISMA. Inicialmente, se realizaron tres búsquedas independientes utilizando palabras clave como “poultry”, “bovine” y “swine”, las cuales arrojaron un total de 5,824 artículos. Al aplicar un filtro temporal correspondiente al período 2020–2025, la cantidad de publicaciones se redujo a 2,365. Posteriormente, se refinaron los criterios de búsqueda mediante la incorporación de términos adicionales como “nitrogen”, “organic matter” y “manure”, lo que permitió identificar 1,591 artículos relevantes para su revisión detallada. En lo que respecta a fuentes web, se consideró la plataforma Farmonaut, la cual proporciona información precisa sobre

la salud de los cultivos y ofrece soluciones agrícolas basadas en tecnología satelital. Esta herramienta facilita la adopción de prácticas agrícolas inteligentes y contribuye a la implementación de granjas inteligentes mediante tecnologías avanzadas.

Esquema 1 - Diagrama de flujo según la metodología PRISMA.



Fuente: Autores.

3. Resultados y Discusión

Para la discusión de los resultados, se adoptó un enfoque cualitativo mediante metaanálisis, con el objetivo de integrar y comparar los hallazgos de diversos estudios. Se revisaron artículos publicados en los últimos diez años, identificándose inicialmente 1,591 documentos, de los cuales el 90 % provino de la base de datos Scopus y el 10 % restante de sitios web especializados en tecnología aplicada a granjas. Estas fuentes incluyeron imágenes y descripciones de granjas inteligentes avícolas, bovinas y porcinas, en las que se evidencia el uso de tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT) para la gestión eficiente de las unidades productivas y la optimización del manejo de residuos pecuarios. Asimismo, se analizó la caracterización físicoquímica y microbiológica de los desechos generados por ganado bovino, aves de corral y cerdos, considerando parámetros como pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica, nitrógeno, fósforo, carbono, relación C/N y presencia de patógenos. La búsqueda bibliográfica se desarrolló utilizando las palabras clave descritas en la Tabla 1, enfocándose en estudios publicados en los últimos 5 a 10 años. Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos para asegurar la calidad y pertinencia de los documentos seleccionados.

Tabla 1 - Palabras claves para la búsqueda em Scopus.

Factores operativos	Gestión común	Desechos pecuarios	Granja inteligente
pH	Tratamiento de biodigestor	Estiércol bovino	Gestión de residuos
Materia orgánica	Compost	Estiércol porcino	Digitalización
Nitrógeno total	Biogas	Estiércol avícola	Internet de las cosas
Relación carbono/nitrógeno		Biofertilizante	Agricultura inteligente
Fósforo			
Conductividad eléctrica			
Sólidos totales			
Patógenos			

Fuente: Autores.

En la primera búsqueda, enfocada en desechos avícolas, se emplearon los términos: “Poultry” AND “manure” AND “Organic” OR “matter”, obteniéndose un total de 3,930 documentos. Tras aplicar un filtro temporal para el período 2020–2025, la cantidad de resultados se redujo a 1,589. Posteriormente, al incorporar la palabra clave “nitrogen”, los resultados se restringieron a 1,222 documentos. Estos registros fueron exportados a un archivo CSV y procesados en Microsoft Excel, donde se seleccionaron 10 estudios relevantes relacionados con la caracterización y gestión de desechos orgánicos avícolas, priorizando publicaciones de acceso abierto.

En la segunda búsqueda, dirigida al análisis de desechos bovinos, se utilizaron los términos “Bovine” AND “manure” AND “matter” OR “organic”, obteniéndose inicialmente 1,101 documentos. Con la aplicación del filtro temporal (2020–2025), los resultados se redujeron a 505. Refinando la búsqueda con el término específico “bovine manure”, se identificaron 160 documentos. Al igual que en la primera búsqueda, los datos fueron procesados en Excel, seleccionando 10 estudios relevantes de libre acceso, enfocados en la caracterización de residuos generados por el ganado bovino.

En la tercera búsqueda, correspondiente a desechos porcinos, se emplearon los términos “Swine” AND “manure” AND “organic matter”, obteniéndose inicialmente 793 documentos. Tras aplicar el filtro temporal, se obtuvo un total de 321 resultados. Al refinar la búsqueda con el término “swine manure”, se identificaron 209 documentos. Finalmente, se seleccionaron 10 estudios clave, también de acceso abierto, tras su procesamiento en Excel, centrados en la caracterización de los desechos generados por cerdos.

Para la discusión de los resultados, se adoptó un enfoque cualitativo mediante metaanálisis, con el objetivo de integrar y comparar los hallazgos de diversos estudios. Se analizaron 1,591 documentos publicados en los últimos diez años, de los cuales el 90 % provino de la base de datos Scopus y el 10 % restante de sitios web especializados en tecnologías aplicadas al sector agropecuario. Estas fuentes incluyeron imágenes y descripciones de granjas inteligentes avícolas, bovinas y porcinas, en las que se evidenció el uso de tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT) para optimizar tanto la gestión productiva como el manejo de residuos pecuarios.

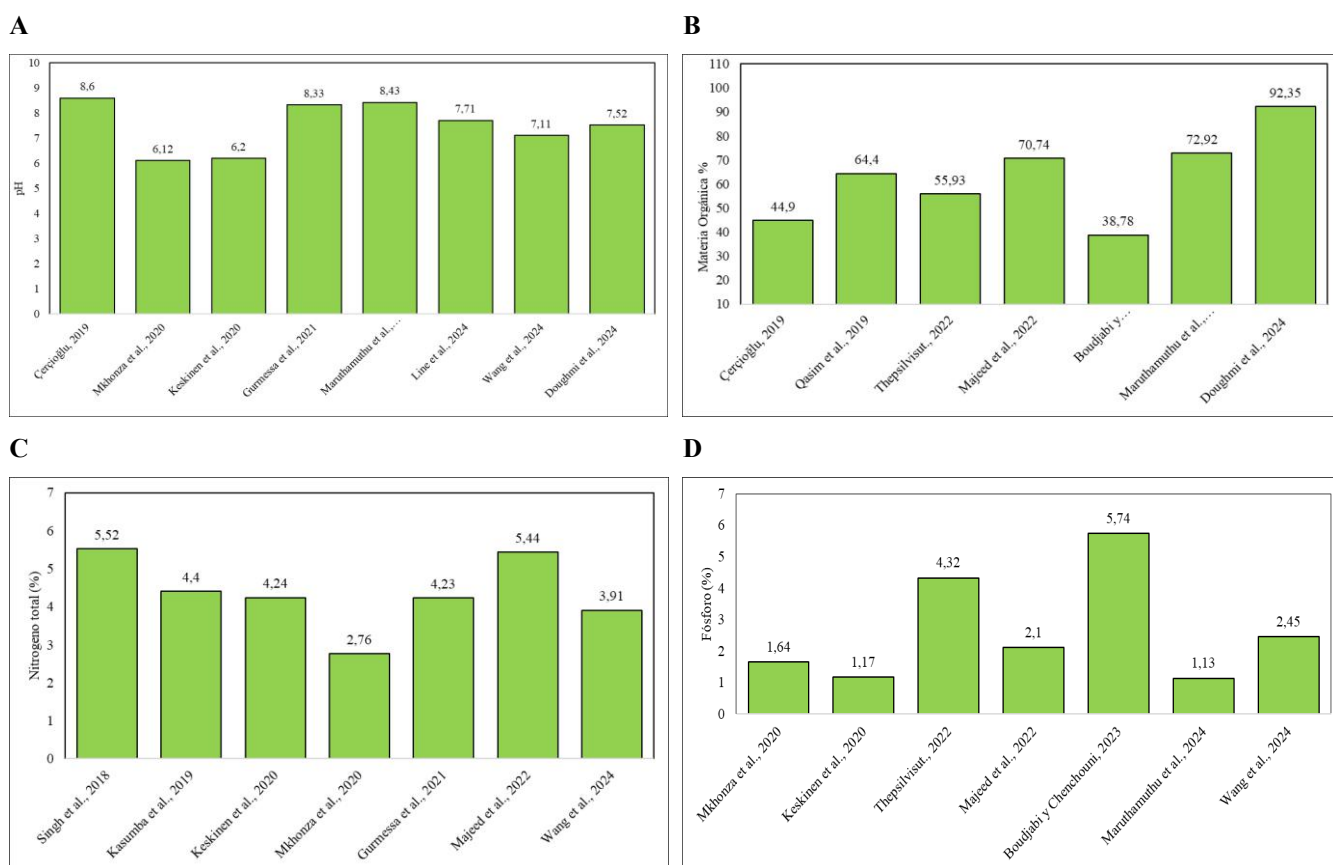
3.1 Caracterización física-química de los desechos pecuarios (avícolas, bovinos y porcinos)

La caracterización fisicoquímica del estiércol de aves de corral es fundamental para evaluar su potencial como enmienda del suelo y su impacto ambiental (Maruthamuthu et al., 2024). Diversos estudios han demostrado que los desechos avícolas, en especial los procedentes de explotaciones de pollos de engorde, presentan altos niveles de materia orgánica, nitrógeno y minerales esenciales. Sin embargo, su composición puede variar significativamente según las prácticas de manejo y las condiciones de almacenamiento (Ochai et al., 2024).

Las Figuras 1 y 2 muestran los rangos reportados para distintas variables fisicoquímicas del estiércol avícola, como el

pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, conductividad eléctrica, relación carbono/nitrógeno (C/N), carbono y sólidos totales. Los datos recopilados provienen de estudios realizados en la última década en distintas regiones geográficas, incluyendo China, Finlandia, España, México, Argelia y Canadá. La Figura 1A evidencia que el pH del estiércol varía entre 6,1 y 8,6, con un promedio de 7,5, lo que refleja diferencias atribuibles al manejo y tratamiento del residuo. En general, el estiércol compostado presenta un pH entre 7,5 y 8,0, considerado óptimo para el crecimiento vegetal (Balanda et al., 2021). Por otro lado, para la digestión anaerobia, se requiere un rango de pH entre 6,0 y 7,0 a fin de asegurar una producción eficiente de biogás (Mohd et al., 2023). En la Figura 1B, se observa que el contenido de materia orgánica oscila entre 38 % y 92 %, con un promedio del 62 %. Su aplicación como compost mejora la estructura del suelo y puede incrementar el carbono microbiano en un rango del 25 % al 75 % (Semenov et al., 2023). Además, se estima que hasta un 31 % del carbono contenido puede transformarse en biogás, lo que contribuye al almacenamiento de carbono y a la mitigación del cambio climático (Kacprzak et al., 2023). La Figura 1C muestra que el nitrógeno total varía entre 2,76 % y 5,52 %, con un promedio de 4,35 %. Durante la digestión anaerobia, este nitrógeno se transforma principalmente en amoníaco, lo que estimula la actividad microbiana (Casas y Guerra, 2020). Finalmente, la Figura 1D presenta los valores de fósforo total. Para su adecuado aprovechamiento en procesos de compostaje, es fundamental mantener una relación C/N entre 20:1 y 30:1, con el fin de minimizar las pérdidas de nitrógeno y optimizar el proceso (Delgado et al., 2019).

Figura 1 - Medición de pH (A), materia orgánica (B) nitrógeno (C), fósforo (D), en el estiércol avícola en los últimos 10 años.

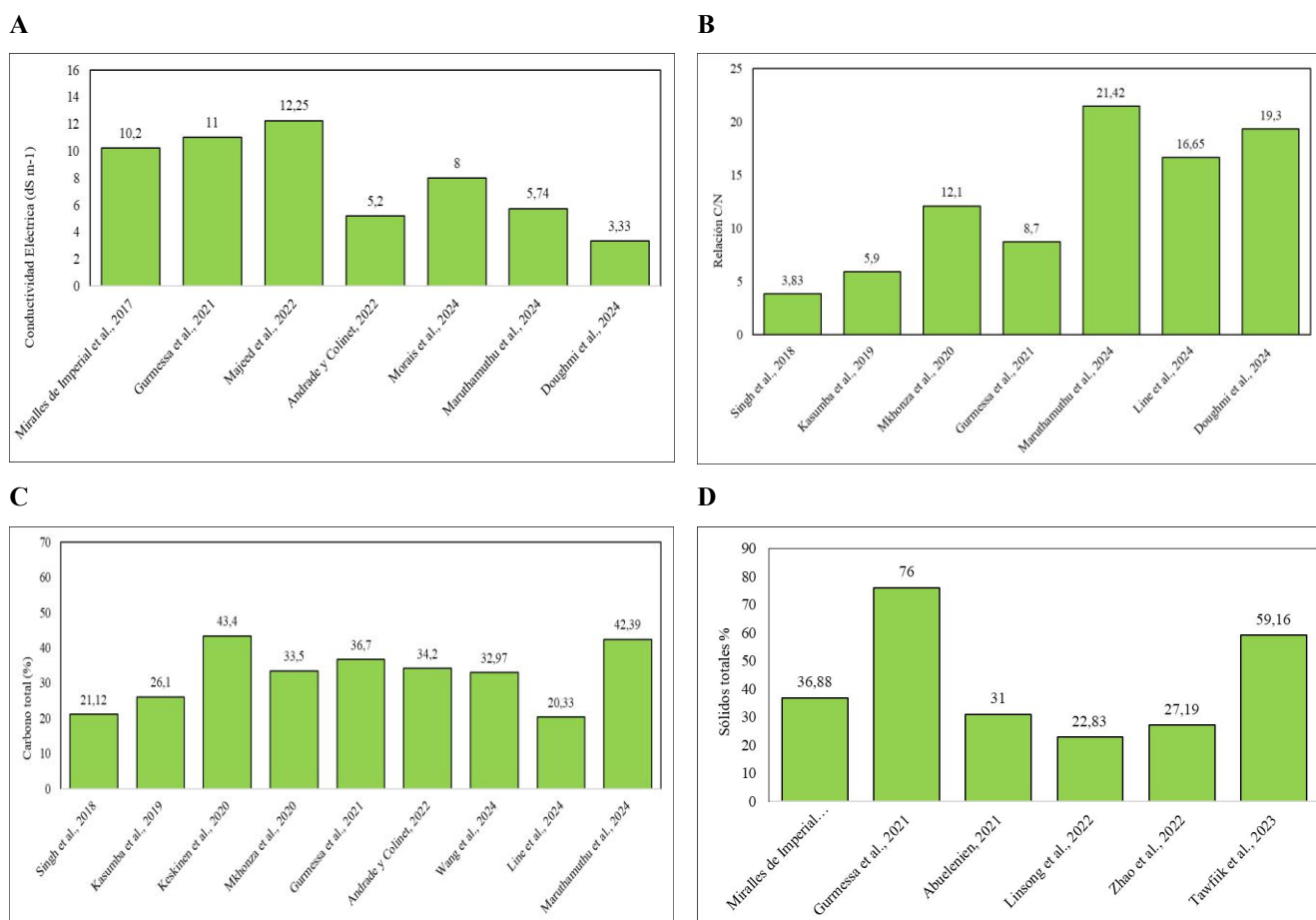


Fuente: Autores.

La Figura 2A muestra los valores de conductividad eléctrica (CE) del estiércol avícola, que oscilan entre 3,33 y 12,25 dS/m⁻¹, con un promedio de 7,96 dS/m⁻¹. Estos valores son consistentes con los reportados para compost de origen avícola,

usualmente en el rango de 7 a 8 dS/m⁻¹ (Delgado Arroyo et al., 2019). En la Figura 2B se presenta la relación carbono/nitrógeno (C/N), la cual varía entre 3,83 y 21,42, con un promedio de 12,55. Esta relación es clave tanto en el proceso de compostaje como en la digestión anaerobia. Para una producción eficiente de biogás, se recomienda una relación C/N entre 20:1 y 30:1, ya que favorece el rendimiento de metano y mejora la calidad del digestato, pudiendo alcanzar hasta un 65,9 % de metano (Kok et al., 2020; Mohd et al., 2023). La Figura 2C muestra que el contenido de carbono total del estiércol varía entre 20,33 % y 43,4 %, con un promedio de 32,30 %. Se estima que aproximadamente el 31 % de este carbono puede convertirse en biogás, lo que posiciona al estiércol avícola como una fuente prometedora de energía renovable (Kacprzak et al., 2023). Por último, la Figura 2D ilustra los valores de sólidos totales, los cuales oscilan entre 22,83 % y 76 %, con un promedio de 42,17 %. Según Ardaji et al. (2016), la producción óptima de biogás se alcanza con un contenido de sólidos cercano al 25 %, generando hasta 0,736 L/día.

Figura 2 - Medición de conductividad eléctrica (A) relación carbono/nitrógeno (B) carbono total (C) sólidos totales (D) en el estiércol avícola en los últimos 10 años.



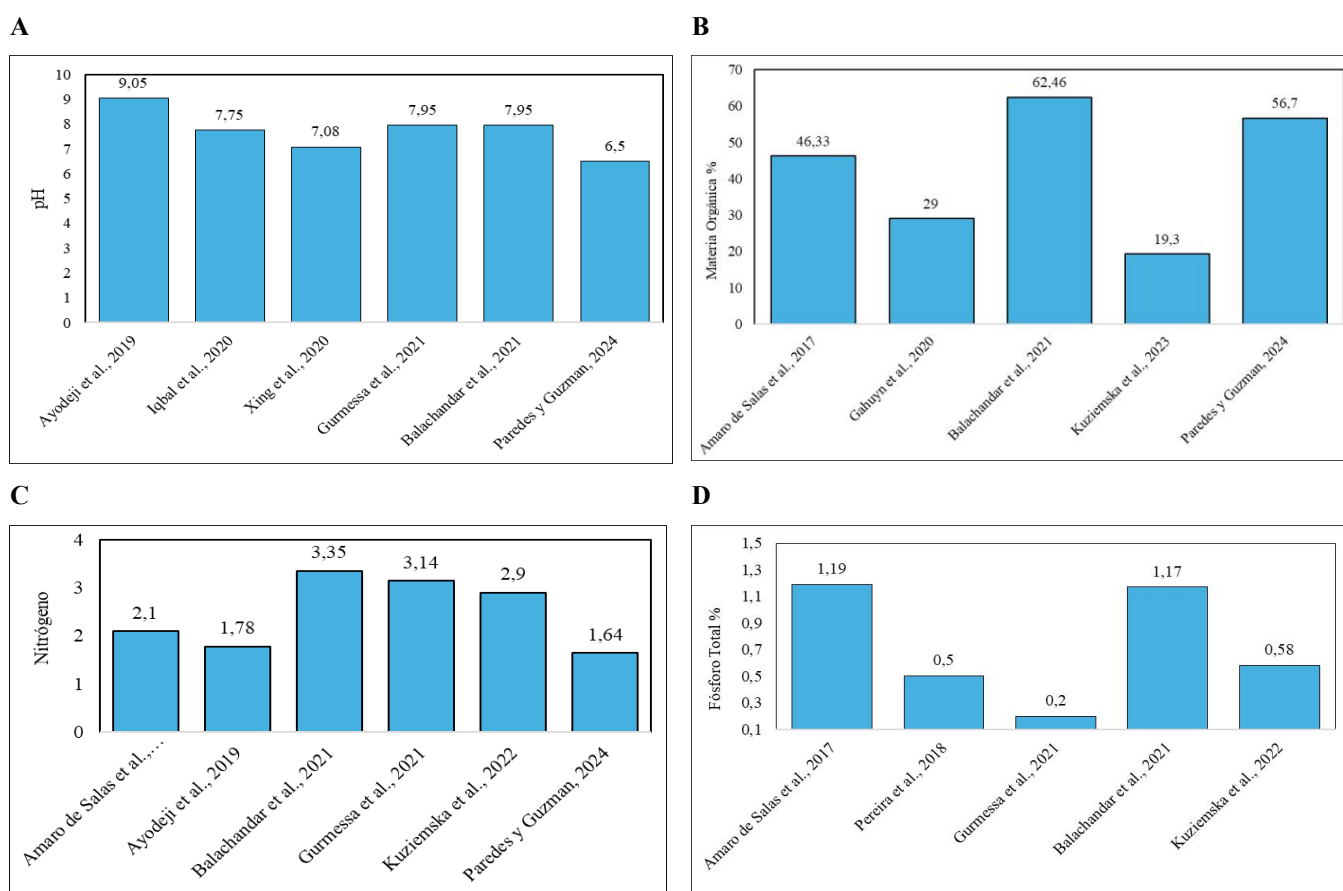
Fuente: Autores.

Las Figuras 3 y 4 presentan los valores de pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, conductividad eléctrica, sólidos totales, relación carbono/nitrógeno y carbono total del estiércol bovino. Los datos provienen de investigaciones publicadas en la última década en diversos países, incluidos China, Estados Unidos, Brasil, Ecuador, Polonia e Indonesia.

La Figura 3A muestra que el pH del estiércol bovino varía entre 6,5 y 9,05, con un promedio de 7,71, según seis estudios recientes. Aunque el valor óptimo de pH para la producción de biogás es cercano a 7,0 (Mohammed et al., 2022), rangos entre 7,5 y 9,0 favorecen el crecimiento microbiano y la actividad enzimática, aspectos fundamentales para el proceso de compostaje

(Njoku et al., 2019; Syam et al., 2011). En la Figura 3B se observa que el contenido de materia orgánica fluctúa entre 19,3 % y 62,46 %, con un promedio de 42,75 %, según cinco estudios. La compostación con residuos vegetales puede mejorar notablemente la calidad del compost; por ejemplo, Stroparo et al. (2020) reportaron un 17 % de materia orgánica tras 60 días de compostaje, superando los resultados obtenidos con estiércol caprino. La Figura 3C indica que el nitrógeno total en el estiércol bovino varía entre 1,64 % y 3,35 %, con un promedio de 2,48 %. Durante el proceso de compostaje, este contenido tiende a incrementarse conforme el material alcanza la madurez (Muñoz et al., 2021). Por último, la Figura 3D presenta los valores de fósforo total, que oscilan entre 0,2 % y 1,19 %, con un promedio de 0,72 %. Su concentración, expresada en base a materia seca, puede situarse entre 4.100 y 18.300 mg kg⁻¹, dependiendo del origen del estiércol y del tratamiento aplicado (He et al., 2004).

Figura 3 - Medición de pH (A) materia orgánica (B) nitrógeno total (C) fósforo total (D) en el estiércol bovino en los últimos 10 años.

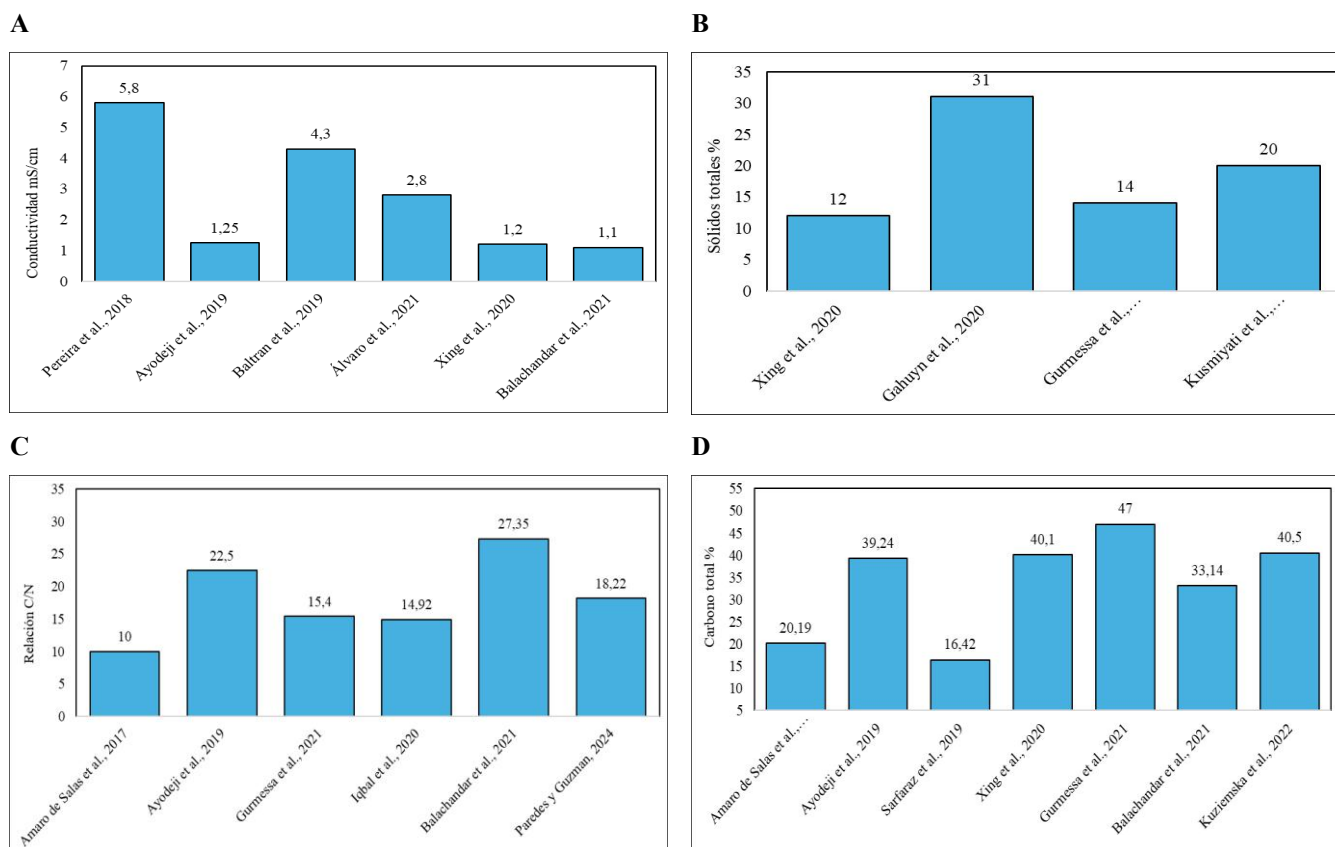


Fuente: Autores.

La Figura 4A muestra que la conductividad eléctrica (CE) del estiércol bovino varía entre 1,1 y 5,8 mS/cm, con un promedio de 2,74 mS/cm, según estudios realizados en la última década. Una CE dentro de este rango contribuye a la maduración del compost y favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales (Hozad y Abendroth, 2025). En la Figura 4B, se observa que el contenido de sólidos totales oscila entre 12 % y 31 %, con un promedio de 19,25 %. Durante el proceso de compostaje, estos sólidos pueden reducirse hasta en un 60,96 %, siendo la dieta del ganado uno de los factores que más influye en la eficiencia de dicha reducción (Previdelli et al., 2012). La Figura 4C presenta la relación carbono/nitrógeno (C/N), la cual varía entre 10 y 27,35, con un promedio de 18,06. Cahyono y Ratni (2023) demostraron que una proporción de mezcla 70:30 entre residuos vegetales y estiércol bovino permite alcanzar una relación C/N de 21,39, considerada adecuada para maximizar la producción

de metano mediante digestión anaerobia. Por último, la Figura 4D muestra que el contenido de carbono total en el estiércol bovino se sitúa entre 16,42 % y 47 %, con un promedio de 33,79 %. La adición de agentes estructurantes o de carga durante el compostaje mejora la estabilización del carbono en el producto final, incrementando así su calidad como enmienda orgánica (Dahshan et al., 2013).

Figura 4 - Medición de conductividad eléctrica (A) sólidos totales (B) relación C/N (C) carbono total (D) en el estiércol bovino en los últimos 10 años.



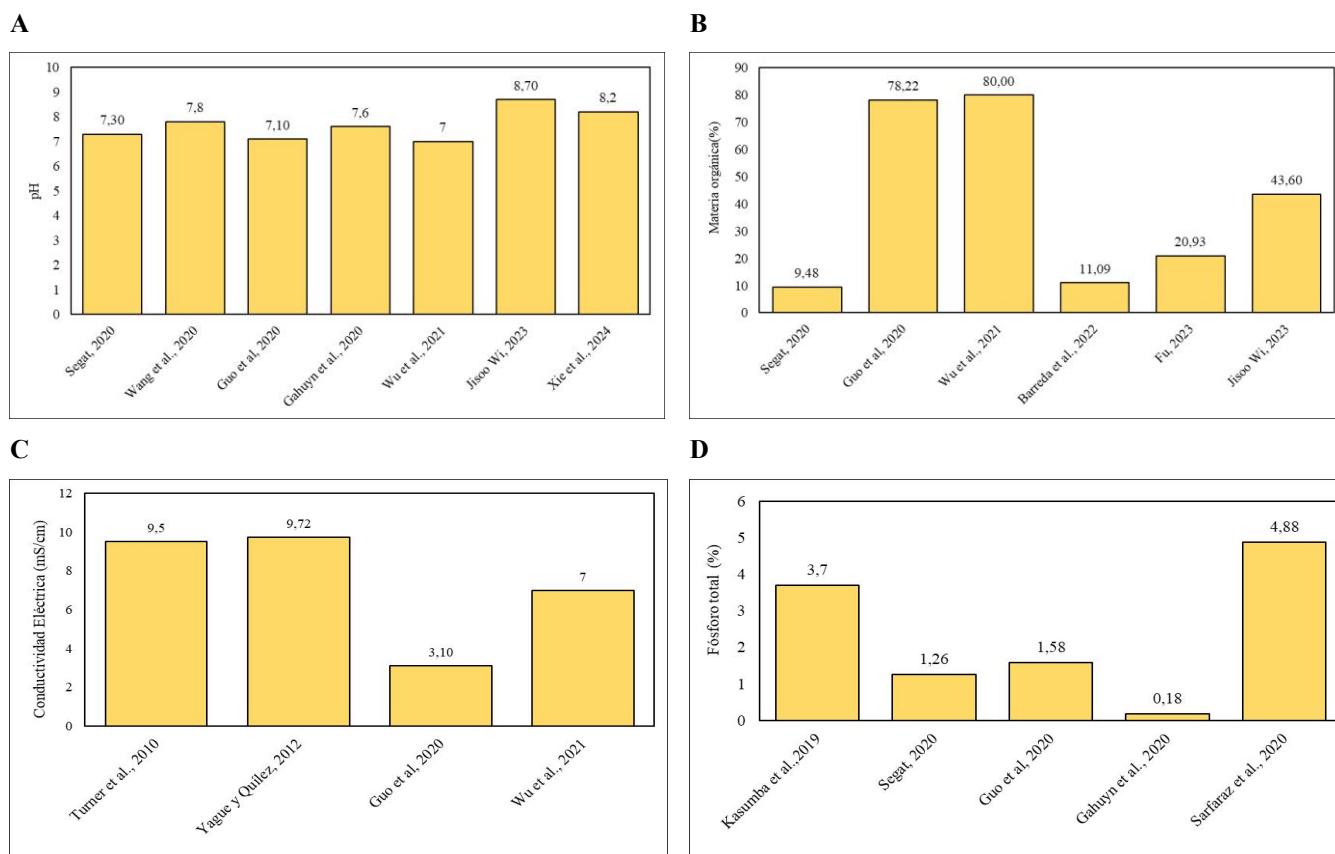
Fuente: Autores.

Las Figuras 5 y 6 presentan los valores de pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, fósforo total, carbono total, relación carbono/nitrógeno, sólidos totales y nitrógeno total en el estiércol porcino. Los datos recopilados provienen de investigaciones realizadas en los últimos diez años en diversos países, como China, Irlanda, Corea del Sur, Australia, Egipto y Estados Unidos.

La Figura 5A muestra que el pH del estiércol porcino varía entre 7,0 y 8,7, con un promedio de 7,67, según siete estudios realizados en los últimos seis años. Este rango es compatible con procesos de digestión anaerobia y similar al observado en estiércol bovino tras su estabilización (7,36–7,53). Además, resulta adecuado para el compostaje, según lo reportado por Ren et al. (2012). En la Figura 5B se observa que el contenido de materia orgánica oscila entre 9,48 % y 80 %, con un promedio de 40 %, según seis estudios. La co-digestión con subproductos agrícolas, como el ensilado de maíz, ha demostrado mejorar la eficiencia en la producción de biogás a partir de estiércol porcino (Kim et al., 2021). La Figura 5C presenta valores de conductividad eléctrica (CE) que van desde 3,10 hasta 9,72 mS/cm, con un promedio de 7,33 mS/cm, de acuerdo con cuatro estudios recientes. La CE es un parámetro determinante en la digestión anaerobia, ya que influye directamente en el entorno microbiano y, por tanto, en la eficiencia del proceso, siendo especialmente relevante en explotaciones porcinas (Jordán, 2022;

Sousa et al., 2021). Por último, la Figura 5D muestra que el fósforo total en el estiércol porcino varía entre 0,18 % y 4,88 %, con un valor promedio de 2,32 %, según cinco investigaciones. La pirólisis rápida ha demostrado ser una tecnología eficiente para la recuperación de fósforo, permitiendo retener entre el 92 % y el 97 % del contenido original en la fracción carbonizada (Azuara et al., 2013).

Figura 5 - Medición de pH (A) y materia orgánica (B) conductividad eléctrica (C) fósforo total (D) en el estiércol porcino en los últimos 10 años.

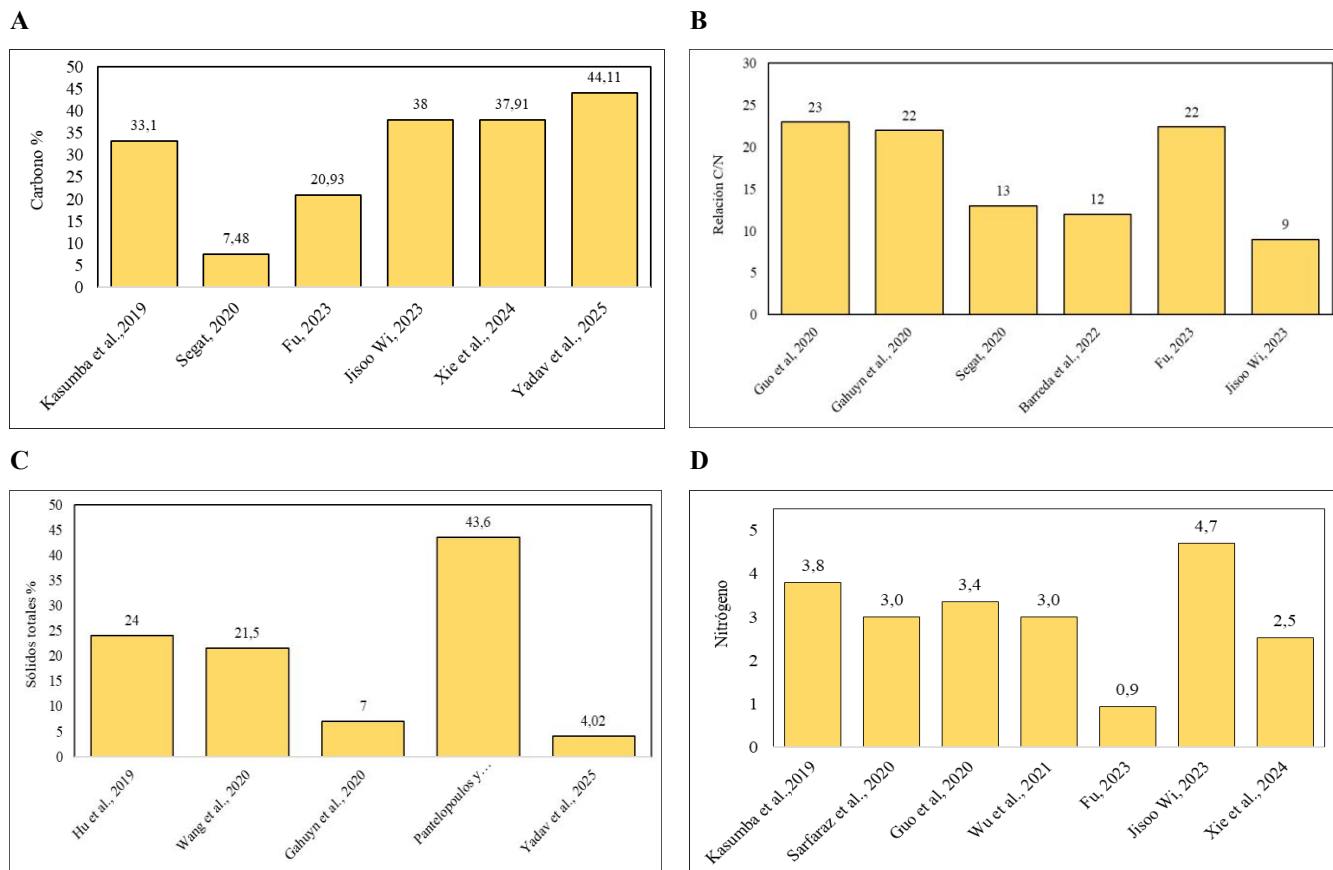


Fuente: Autores.

La Figura 6A muestra que el contenido de carbono total en el estiércol porcino varía entre 7,48 % y 44,11 %, con un promedio de 30,25 %, según seis estudios realizados en la última década. Este elemento desempeña un papel clave en la producción de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) durante la digestión anaerobia. En ensayos de laboratorio, el purín porcino ha generado biogás con una composición de hasta 61,44 % de metano y 36,35 % de CO_2 , además de producir aproximadamente 1.500 litros mensuales de biofertilizantes (Souvannasouk et al., 2023). La Figura 6B presenta la relación carbono/nitrógeno (C/N), la cual se encuentra entre 9 % y 23 %, con un promedio de 16,83 %, según seis investigaciones recientes. Para optimizar la digestión anaerobia, se recomienda una relación C/N entre 20 y 30 %, siendo 25 % el valor óptimo en co-fermentaciones con residuos como la paja de arroz (Ji et al., 2022). En la Figura 6C, los sólidos totales (ST) del estiércol porcino varían entre 4,02 % y 43,3 %, con un promedio de 20,02 %, de acuerdo con cinco estudios. Para la producción eficiente de biogás, se ha identificado un contenido ideal de ST cercano al 5,6 % (Hickmann et al., 2023). Además, la elevada presencia de sólidos disueltos en el estiércol porcino lo hace adecuado tanto para compostaje como para digestión anaerobia (Cano et al., 2016). Finalmente, la Figura 6D muestra que el contenido de nitrógeno total oscila entre 0,9 % y 4,7 %, con un promedio de 3,04 %, según siete estudios. Esta concentración convierte al estiércol porcino en una fuente viable de fertilizantes orgánicos,

especialmente cuando se mezcla con materiales estructurantes como pulpa de café o aserrín (Garrido, 2022).

Figura 6 - Medición de carbono (A) relación C/N (B) sólidos totales (C) nitrógeno (D) en el estiércol porcino en los últimos 10 años.



Fuente: Autores.

3.2 Caracterización microbiológica de los desechos pecuarios (bovinos, avícolas y porcinos)

La Tabla 2 resume la caracterización microbiológica de los desechos avícolas según diversas investigaciones realizadas en distintos países, utilizando muestras de estiércol fresco. En muestras sometidas a digestión anaerobia, se identificaron como filos dominantes Bacteroidetes (46,37 %) y Firmicutes (48,37 %) (Zobeashia et al., 2021). En compostaje, se reportó una notable reducción de patógenos como *Salmonella* y *E. coli*, especialmente en compost proveniente de aves muertas, lo que refleja una actividad microbiana efectiva en su supresión (Irfan et al., 2021).

Tabla 2 - Caracterización microbiológica de desechos avícolas.

País	Muestra	Bacterias / hongos	Parásitos	Fuente
Perú	Estiércol fresco	<i>Coliformes totales y fecales</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella spp</i> <i>Enteritidis</i> <i>Salmonella Tiphymurium</i>	-	Torres et al., 2023
China	Estiércol fresco	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella sp</i> <i>Bacteroides sp</i> <i>Pseudomonas sp</i>	-	Nenglong et al., 2024
China	Estiércol fresco	<i>E. coli</i> <i>Salmonella</i> <i>Bacillus anthracis</i> <i>Shigella</i> <i>Clostridium botulinum</i> <i>Bacillota</i> <i>Bacteroidetes</i> <i>Proteobacteria</i> <i>Actinobacteria</i> <i>Ascomycota</i> <i>Basidiomycota</i> <i>Mucoromycota</i>	Cryptosporidi Giardia	Abdugheeni et al. 2023
USA	Estiércol en camas	<i>Lactobacillaceae</i> <i>Aerococcaceae</i> <i>Carnobacteriaceae</i> <i>Staphylococcaceae</i> <i>Corynebacteriaceae</i> <i>Microcinaceae</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Corynebacterium</i> <i>Staphylococcus</i> <i>Salmonella enterica</i>	-	Oxendine et al., 2023
China	Estiércol fresco	<i>Salmonella</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus</i> <i>Streptococcus</i> <i>Clostridium</i> <i>Listeria</i> <i>Campylobacter</i> <i>Corynebacterium</i> <i>Mycobacterium</i>	-	Yousif et al., 2023
Nigeria	Estiércol fresco	<i>Salmonella</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Proteus; Klebsiella</i>	-	Zige y Omeja, 2023
-	Estiércol fresco	<i>Myroides odoratus</i> <i>Providencia rettgeri</i> <i>E. coli</i> <i>Staphylococcus lentus</i>	-	Blazejewsk et al., 2022

Fuente: Autores.

La Tabla 3 muestra la caracterización microbiológica del estiércol bovino, destacando la presencia de bacterias y hongos. Los desechos bovinos albergan comunidades microbianas dominadas por los filos Firmicutes, Bacteroidetes y Proteobacteria, siendo Firmicutes el más prevalente (Dungan y Leytem, 2013). Estudios han reportado altos recuentos de bacterias viables, así como variaciones significativas en la composición nutricional según la procedencia del estiércol (Kiyasudeen y Ismail, 2015).

Tabla 3 - Caracterización microbiológica de desechos bovinos.

País	Muestra	Bacterias / hongos	Parásitos	Fuente
India	Estiércol fresco	<i>Bacillus sp</i> <i>Corynebacterium sp</i> <i>Lactobacillus sp</i> <i>Aspergillus</i> <i>Trichoderma</i> <i>Acinetobacter</i> <i>Serratia</i> <i>Alcaligenes spp</i>	-	Bhatt y Maheshwari, 2019
India	Estiércol fresco	<i>Bacillus spp</i> <i>Corynebacterium spp</i> <i>Lactobacillus spp</i> Protozoos y levaduras <i>Saccharomyces y Candida</i> <i>Citrobacter koseri</i> <i>Enterobacter aerogenes</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella oxytoca</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Kluyvera spp</i> <i>Morgarella morganii</i>	-	Kumar et al. 2016
México	Estiércol fresco	<i>Campylobacter</i> <i>Clostridium</i> <i>Corynebacterium</i> <i>Fusobacterium</i>	-	Pacheco et al. 2022
China	Estiércol fresco	<i>E. coli</i> <i>Salmonella</i> <i>Bacillus anthracis</i> <i>Shigella</i> <i>Clostridium botulinum</i> <i>Bacillota</i> <i>Bacteroidetes</i> <i>Proteobacteria</i> <i>Actinobacteria</i> <i>Ascomycota</i> <i>Basidiomycota</i> <i>Mucoromycota</i>	Cryptosporidia; Giardia	Abdugheni et al. 2023
India	Estiércol fresco	<i>Bacillus</i> <i>Bifidobacterium</i> <i>Lactobacillus</i> <i>Bacteria xilanolítica</i> <i>facultativa</i> <i>Motile</i> <i>Gram-variabl</i> <i>Esporulada</i>	-	Behera y Ray, 2021
China	Estiércol fresco	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella sp</i> <i>Bacteroides sp</i> <i>Pseudomonas sp</i>	-	Nenglong et al., 2024

Fuente: Autores.

La Tabla 4 presenta la caracterización microbiológica del estiércol porcino fresco y ensilado, destacando la presencia de bacterias y hongos. Entre los géneros fúngicos más comunes se identificaron *Mucor* y *Aspergillus*, los cuales contribuyen significativamente a la diversidad microbiana. La aplicación de estiércol porcino ha demostrado mejorar la actividad microbiana del suelo, favoreciendo el rendimiento de los cultivos y manteniendo condiciones sanitarias aceptables (Chinyaeva et al., 2022).

Tabla 4 - Caracterización microbiológica de desechos porcinos.

País	Muestra	Bacterias / hongos	Parásitos	Fuente
España	Estiércol fresco	<i>Aeróbico mesófilo</i> <i>Coliformes totales</i> <i>Coliformes fecales</i> <i>E. coli</i> <i>Enterococcus spp</i> <i>Salmonella spp</i>	-	Fernández et al., 2023
México	Ensilaje del estiércol porcino	<i>Escherichia</i> <i>Enterococcus</i> <i>Clostridium</i> <i>Bacillus</i> <i>Listeria</i> <i>Salmonella</i> <i>Campylobacter</i>	-	Ruvalcaba et al., 2019
Myanmar	Estiércol fresco	-	<i>A. Suum</i> <i>Strongyle</i> <i>Strongyloides spp</i> <i>T. suis</i> <i>Metastrongylus spp</i> <i>Hyoststrongylus spp</i> <i>Fasciolopsis spp</i> <i>Paragonimus spp</i> <i>Schistosoma spp</i>	Bawn et al., 2025
Nepal	Estiércol fresco de cerdas	-	<i>Eimeria sp</i> <i>Entamoeba coli</i> <i>Coccidia</i> <i>Ascaris suum</i> <i>Trichuris suis</i> <i>Nematodo tipo estróngilo</i> <i>Anquilostoma</i> <i>Fasciola sp</i> <i>Physaloptera sp</i> <i>Strongyloides sp</i> <i>Metastrongylus sp</i> <i>Oesophagostomum sp</i>	Chaudhary et al., 2023

Fuente: Autores.

3.3 Determinación búsqueda de datos factores de operación de una Smart Farm

La gestión de los desechos avícolas es un proceso complejo, influenciado por factores operativos, técnicos, tecnológicos y administrativos, como se describe en la Tabla 5. En granjas de gran escala, se ha incrementado la adopción de tecnologías avanzadas como la pirólisis, la digestión anaerobia y la pirólisis catalítica, orientadas a una gestión más eficiente de los residuos (Thomas y Sunil, 2023). Asimismo, variables como la expectativa de desempeño económico y las normas sociales influyen significativamente en las decisiones de los productores respecto a la disposición de los residuos. Las políticas públicas que promueven la concienciación y otorgan subsidios para el reciclaje pueden potenciar prácticas sostenibles de gestión (Wang y Tao, 2020).

Tabla 5 - Factores de operación de desechos avícolas.

País	Materia	Alternativa energética	Descripción	Fuente
México	Estiércol de pollo	Abono orgánico	La composta de estiércol de pollo, tras un proceso de compostaje adecuado, se convierte en un valioso mejorador del suelo y fertilizante orgánico.	Rosas y Aguilar et al., 2022
Perú	Estiércol de pollo	Biogás	Una mezcla de 29,83 kg de estiércol de gallina, 12,78 L de lodo activado y 88,34 L de agua fue sometida a digestión anaeróbica en un biorreactor de 261 L. El proceso, llevado a cabo durante 26 días, resultó en la generación de 7,52 L de biogás.	Gosgot et al., 2021
Colombia	Estiércol de pollo	Biogás	Una mezcla de 40 % estiércol y 60% de agua a una temperatura de 35° C durante 30 días generando 10 m ³ /mes de biogás.	Lozano et al., 2020
-	Estiércol seco de pollo	Biogás	Se obtiene mezclando materias primas en un digestor durante 21 días, con un rango de pH de 7,0 a 7,2 y en condiciones de temperatura entre 20 y 40 °C. El análisis mediante cromatografía de gases muestra que el valor más alto de gas metano de 46,79% se obtiene con una composición de 80:10:10 (% en peso) para el estiércol de pollo.	Muslimah et al., 2022
China	Estiércol de pollo	Biogás	La co-digestión anaeróbica del 10% de lodo primario con el 90% de estiércol de pollo dio como resultado un aumento del rendimiento de biogás de hasta 8570 ml/g de sólidos volátiles.	Eraky et al., 2023

Fuente: Autores.

La gestión de los desechos bovinos involucra factores operativos clave para su tratamiento y utilización eficiente. La Tabla 6 detalla los aspectos relacionados con el manejo tanto del estiércol bovino crudo como seco. Las prácticas de gestión sostenible incluyen la reutilización del estiércol como fertilizante orgánico y el aprovechamiento de otros subproductos para diversas industrias, lo que no solo reduce el impacto ambiental, sino que también genera valor económico adicional (Güllich y Matos, 2019).

Tabla 6 - Factores de operación de desechos bovinos.

País	Materia	Alternativa energética	Descripción	Fuente
Indonesia	Estiércol de bovino crudo	Biogás	A partir de 1 kg de estiércol bovino se puede producir entre 30 y 36 L de biogás. Se introduce en un digestor donde se comienza a fermentar a 35 °C en una duración de 23 días.	Kusmiyati et al., 2023
Colombia	Estiércol de bovino crudo	Pirolisis	Reactor de pirolisis tubular. El biocarbón derivado del estiércol de vaca es rico en TOC (>37 %) y tiene buenas características de descomposición térmica sin riesgo de metales pesados.	Hoyos et al., 2024
China	Estiércol de bovino crudo	Gasificación	El poder calorífico inferior (PCI) del gas de síntesis de estiércol de ganado fue mayor que el del biocarbón de estiércol de ganado. Gasificación con vapor, 850 °C, 30 min obteniendo un gas síntesis 1,04 m ³ /kg	Xin et al., 2017
Argelia	Estiércol de bovino seco	Biogás	El estudio demostró un potencial significativo de biogás, que supera los 50 litros de biogás por kg de sólido seco, adecuado para la co-digestión con sustratos ácidos.	Kadir et al., 2024
África	Estiércol de bovino crudo	Combustible	Para la mono digestión se requiere 713 kg de estiércol al día para satisfacer las necesidades energéticas de un hogar de 31 kWh.	Moreroa y Motshekg, 2024

Fuente: Autores.

Los factores operativos en la gestión de los desechos porcinos son fundamentales para optimizar los procesos de tratamiento y garantizar la seguridad ambiental. La Tabla 7 presenta los aspectos relacionados con el manejo del estiércol porcino fresco. La digestión anaeróbica se destaca como una técnica eficaz para la recuperación de energía y la eliminación de nutrientes, alcanzando altas tasas de remoción de DQO y NH₃-N (Yong, 2011). Además, la optimización de las proporciones de alimentación

y los ciclos anóxicos/aeróbicos puede mejorar significativamente la eficiencia en la eliminación de nutrientes (Wu et al., 2015).

Tabla 7 - Factores de operación de desechos porcinos.

País	Materia	Alternativa energética	Descripción	Fuente
España	Estiércol porcino	Gasificación / Gas de síntesis	Las condiciones óptimas de funcionamiento para la gasificación del estiércol de cerdo en términos de poder calorífico del gas de síntesis y rendimiento son 1200 °C, y una atmósfera de gasificación compuesta por una mezcla de O ₂ /CO ₂ /N ₂ .	Adánez et al.,2019
Colombia	Estiércol porcino	Pirolisis / Bio-aceite	La adición de un 15 % de bio-oil derivado de estiércol de cerdo para reemplazar parcialmente el asfalto de petróleo para preparar un bioaglutinante y la adición de bio-oil redujo la penetración y ductilidad del asfalto.	Hoyos et al., 2024
México	Estiércol porcino	Biogás / Electricidad	El inventario porcino de Los Altos genera aproximadamente 10,5 millones de toneladas de estiércol al año, lo que tiene el potencial de producir alrededor de 300 Nm ³ de metano (CH ₄) y 19,53 MWh de electricidad mediante digestión anaeróbica.	Salcido y Aguilar, 2023
Ecuador	Estiércol porcino	Biogás / Biofertilizante	La implementación de un biodigestor de un volumen total de 39 m ³ , procesa diariamente 219,52 kg de estiércol y 655,1 litros de agua residual. Después de 33 días de operación, se obtuvieron resultados prometedores se produjeron 9.57 m ³ de biogás, un recurso energético renovable que puede utilizarse para cocinar o generar electricidad; y 24,09 m ³ de biofertilizante	Pino et al., 2025

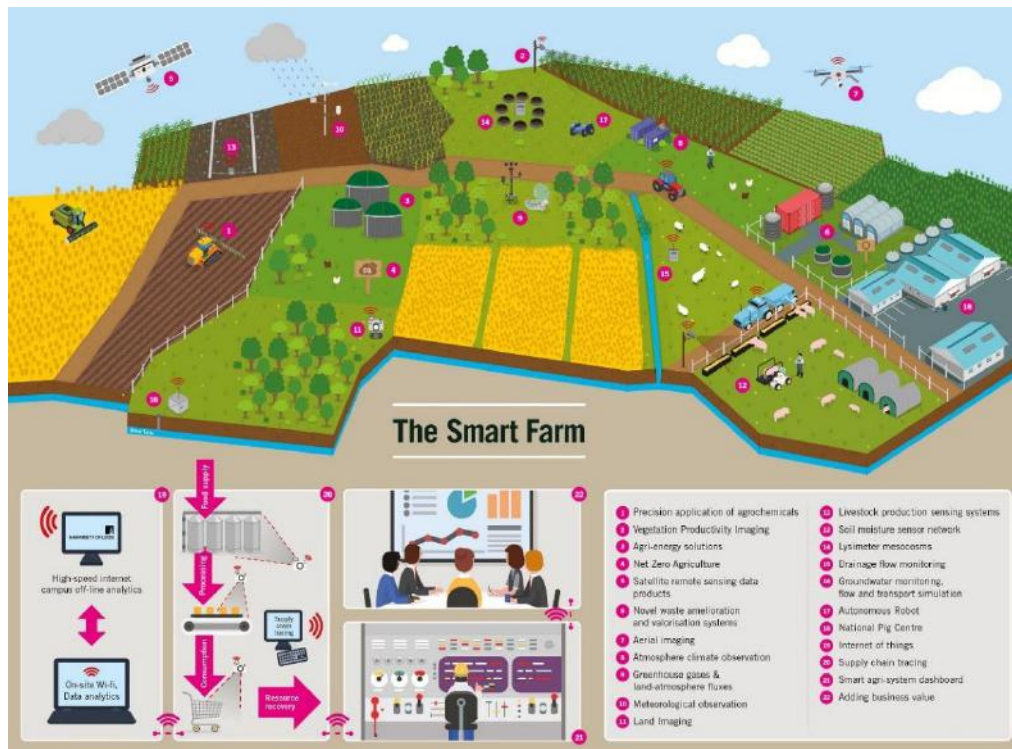
Fuente: Autores.

3.4 Desarrollo de una propuesta para la implementación de una granja inteligente con enfoque en la mitigación del cambio climático

Las granjas inteligentes, diseñadas para mitigar el cambio climático, emplean prácticas de agricultura inteligente para mejorar la productividad, la resiliencia y la sostenibilidad (Khan et al., 2024). Estas utilizan tecnologías avanzadas y análisis de datos para optimizar operaciones agrícolas, automatizar tareas y fomentar la eficiencia en el uso de recursos (Tyagi et al., 2024). La sonorización ambiental ayuda a controlar gases clave como amoníaco, óxido de nitrógeno y metano, lo que facilita la automatización de sistemas de ventilación, iluminación y calefacción para asegurar el bienestar animal (Fernández, 2019; Palacios et al., 2024). La digitalización reduce la huella ecológica, mejora la calidad del suelo y gestiona eficientemente los residuos (Lezoche et al., 2020). Además, el Internet de las Cosas (IoT) permite tomar decisiones informadas sobre recursos y monitoreo ambiental en tiempo real (Anil et al., 2024). Los sensores de suelo y estaciones meteorológicas facilitan la supervisión remota de parámetros como pH, humedad y temperatura (Tovar et al., 2019). La inteligencia artificial mejora la productividad y el bienestar animal, optimizando recursos y reduciendo residuos (Dhanta et al., 2024; Bhavika et al., 2024). El uso de drones en la agricultura, combinado con IoT, mejora el manejo del compost y la calidad del aire, previniendo la proliferación de hongos y gases nocivos (Islam et al., 2021).

En la Figura 7 se muestra una representación de una granja inteligente, en la cual se detallan los distintos componentes y sus respectivas funciones. Por ejemplo, el punto 12 corresponde a los sistemas de detección para la producción ganadera; el punto 19 hace referencia al Internet de las Cosas (IoT), fundamental para la conectividad y automatización de procesos; y el punto 21 indica el panel de control de los sistemas agrícolas inteligentes, desde donde se gestionan y monitorean las distintas operaciones de la granja.

Figura 7 - Granja inteligente.



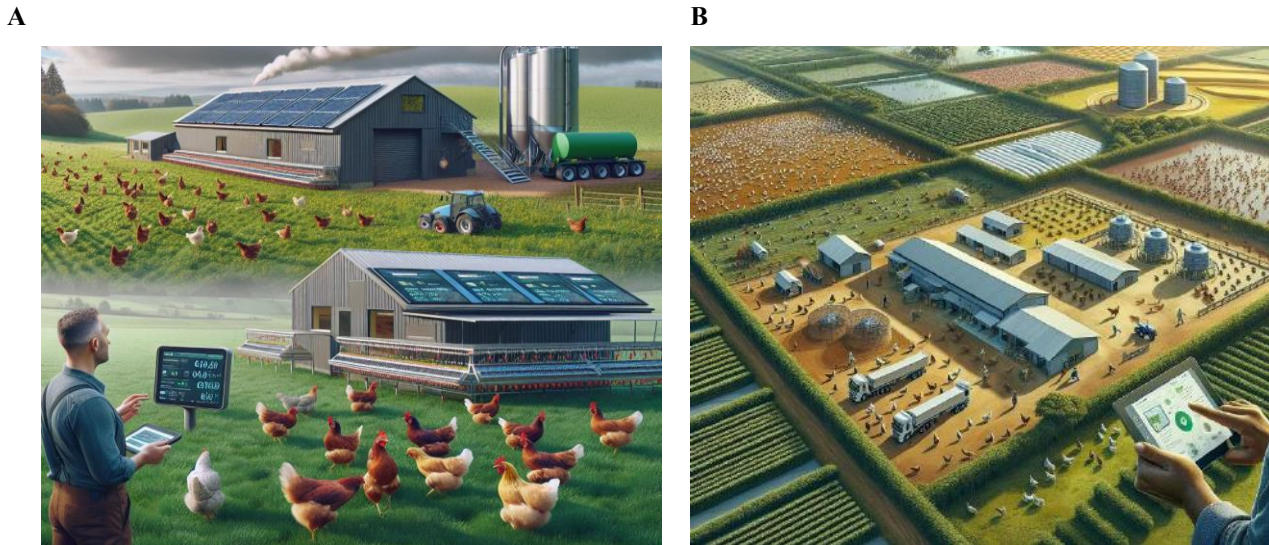
Fuente: Collins & Smith (2022).

El internet de las cosas (IoT) aplicado en granjas avícolas

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a una infraestructura que conecta una amplia variedad de dispositivos a internet, transformando significativamente cómo las personas viven y trabajan (Morgan, 2014). En los sistemas de producción avícola, la implementación de tecnologías IoT incluye dispositivos inteligentes conectados, lo que optimiza la comunicación entre equipos. Esto posibilita la automatización de diversas operaciones agrícolas, delegando a los humanos solo la supervisión y gestión de procesos que requieren un mayor nivel de inteligencia (Wolfert et al., 2017).

La Figura 8 presenta dos modelos de granjas inteligentes que incorporan tecnologías avanzadas para optimizar la producción agropecuaria. La imagen 8A muestra una unidad avícola con paneles solares, sensores y monitoreo en tiempo real, mientras que la 8B representa una granja integral gestionada mediante IoT, inteligencia artificial y análisis de datos.

Figura 8 - Granja inteligente avícola.



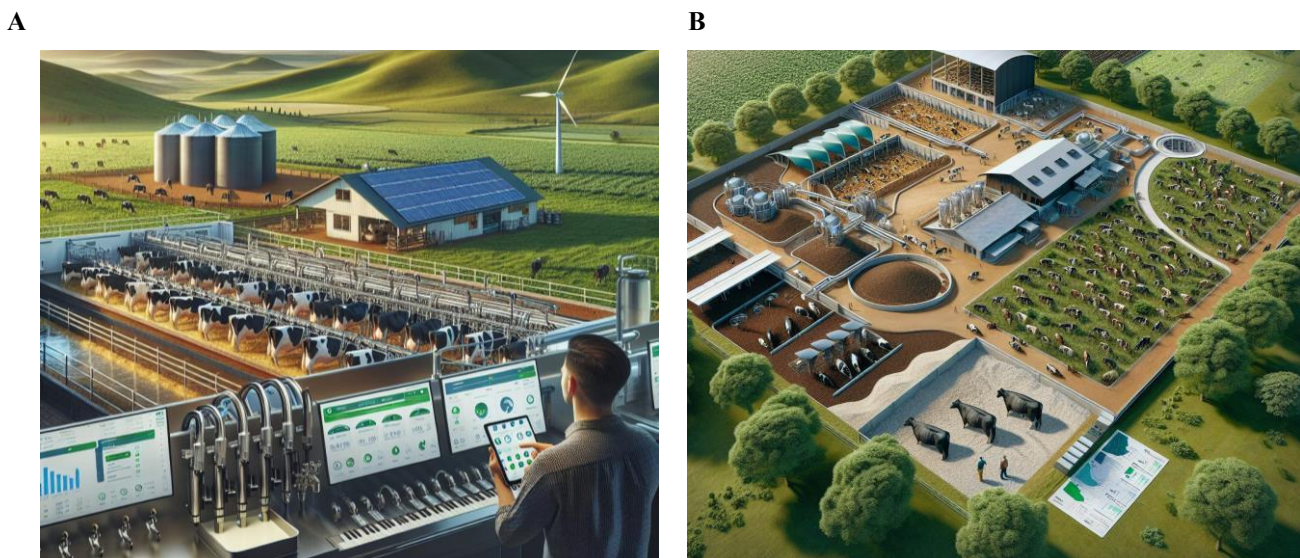
Fuente: Farmonaut (2024).

El internet de las cosas (IoT) aplicado en granjas bovinas

El Internet de las Cosas (IoT) permite un monitoreo exhaustivo de las condiciones del ganado a través de una red de sensores que rastrean diversas métricas y comportamientos de salud. El análisis de estos datos procesados facilita la detección temprana de problemas de salud, lo que no solo puede aumentar los ingresos de las explotaciones agrícolas, sino también mejorar el bienestar de los animales (Lavanya et al., 2023). Al integrar múltiples sensores y análisis de datos, los ganaderos pueden monitorear en tiempo real tanto las condiciones ambientales como la salud del ganado, lo que a su vez mejora la productividad y la sostenibilidad (Arago et al., 2022).

La Figura 9 muestra el uso de tecnologías inteligentes en granjas ganaderas. La imagen 9A presenta una instalación automatizada para el ordeño de vacas, y la 9B una granja integral con energía renovable, manejo automatizado del ganado y control digital, destacando un enfoque sostenible e innovador.

Figura 9 - Panorama de la granja inteligente de la producción bovina.



Fuente: Farmonaut (2024).

El internet de las cosas (IoT) aplicado en granjas porcinas

La aplicación del Internet de las Cosas (IoT) en la cría de cerdos mejora significativamente la gestión de las condiciones ambientales, lo que a su vez mejora la salud de los animales y la eficiencia de la granja. Los sistemas automatizados pueden ajustar las condiciones ambientales según los datos recopilados por los sensores, garantizando así condiciones óptimas de vida para los cerdos (Sun et al., 2024).

La Figura 10 ilustra el uso de tecnología inteligente en granjas porcinas. La Figura 10A muestra una instalación moderna con sensores y ventilación automatizada, mientras que la Figura 10B presenta una vista aérea de una granja integral con áreas de pastoreo, energía solar y techos verdes.

Figura 10 - Gestión inteligente de residuos porcinos.

A



B



Fuente: Farmonaut (2024).

La implementación de una granja inteligente de residuos sólidos aprovecha tecnologías avanzadas como el IoT, la cadena de bloques y la automatización para mejorar la eficiencia de la gestión de residuos. Este enfoque aborda los crecientes desafíos de la generación de residuos urbanos mediante el uso de sensores inteligentes, análisis de datos y sistemas automatizados para optimizar los procesos de recolección y segregación (Jain & Bagherwal, 2017).

4. Conclusión

La gestión inadecuada de residuos pecuarios, especialmente de origen avícola, bovino y porcino, contribuye significativamente a la contaminación del suelo, el agua y el aire, además de incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero, afectando de manera directa al cambio climático. En este contexto, la implementación de granjas inteligentes, sustentadas en tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la automatización, el análisis de datos y la digitalización, constituye una estrategia eficaz para optimizar el manejo de estos residuos, minimizando la pérdida de nutrientes y controlando la propagación de patógenos. Asimismo, el tratamiento de residuos mediante digestión anaerobia, compostaje, separación sólido-líquido y pirólisis ha demostrado ser efectivo para estabilizar la materia orgánica, recuperar nutrientes y generar biogás, favoreciendo la sostenibilidad ambiental y energética. Por otra parte, la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los estiércoles evidencia su potencial como insumo para la producción de biofertilizantes y bioenergía, aunque su composición varía en función del manejo, la dieta animal y las condiciones de almacenamiento.

Referencias

- Abdugheni, R., Li, L., Yang, Z. N., Huang, Y., Fang, B. Z., Shurigin, V., Mohamad, O. A. A., Liu, Y. H., & Li, W. J. (2023). Microbial Risks Caused by Livestock Excrement: Current Research Status and Prospects. *Microorganisms*, 11(8), 1897. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS11081897>
- Adánez-Rubio, I., Ferreira, R., Rio, T., Alzueta, M. U., & Costa, M. (2020a). Soot and char formation in the gasification of pig manure in a drop tube reactor. *Fuel*, 281, 118738. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.118738>
- Adánez-Rubio, I., Ferreira, R., Rio, T., Alzueta, M. U., & Costa, M. (2020b). Soot and char formation in the gasification of pig manure in a drop tube reactor. *Fuel*, 281, 118738. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.118738>
- Amaro De Sales, R., Amaro De Sales, R., Thaís Almeida Do Nascimento, :, Tiago, :, da Silva, A., Sávio Da, :, Berilli, S., Robson, :, & Santos, A. dos. (2017). Influência de diferentes fontes de matéria orgânica na propagação da schinus terebinthifolius raddi. *Scientia Agraria*, 18(4), 99–106. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99554928013>
- Andrade Foronda, D., & Colinet, G. (2022). Combined Application of Organic Amendments and Gypsum to Reclaim Saline–Alkali Soil. *Agriculture 2022*, Vol. 12, Page 1049, 12(7), 1049. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12071049>
- Anil, D., Bairwa, B., Anusha, H., Aravind, M., Kumar, S., & Doddabasappa, N. (2024). Investigation on Smart Agriculture Monitoring System Using IoT. 2024 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2024. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT61001.2024.10724229>
- Arago, N., Alvarez, C., Mabale, A., Legista, C., Repiso, N., Amado, T., Jorda, R., Thio-ac, A., Tolentino, L., & Velasco, J. (2022). Smart Dairy Cattle Farming and In-Heat Detection through the Internet of Things (IoT). *International Journal of Integrated Engineering*, 14(1), 157–172. <https://doi.org/10.30880/IJIE.2022.14.01.014>
- Ardaji, V., Radnezhad, H., & Nourouzi, M. (2016). Improving Biogas Production Performance From Pomegranate Waste, Poultry Manure and Cow Dung Sludge Using Thermophilic Anaerobic Digestion: Effect of Total Solids Adjustment. *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*, 2(3), 97. <https://doi.org/10.4103/2423-7752.199293>
- Aydin, A. (n.d.). Novel Technologies and Automation Systems In Livestock Farms. <https://doi.org/10.33552/AAHDS.2021.02.000538>
- Azuara, M., Kersten, S., & Kootstra, A. M. (2013). Recycling phosphorus by fast pyrolysis of pig manure: Concentration and extraction of phosphorus combined with formation of value-added pyrolysis products. *Biomass and Bioenergy*, 49, 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.010>
- Baek, G., Kim, D., Kim, J., Kim, H., & Lee, C. (2020). Treatment of Cattle Manure by Anaerobic Co-Digestion with Food Waste and Pig Manure: Methane Yield and Synergistic Effect. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 4737, 17(13), 4737. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17134737>
- Balachandar, R., Biruntha, M., Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Subbaiya, R., Govarthan, M., Kumar, P., & Karmegam, N. (2021). Earthworm intervened nutrient recovery and greener production of vermicompost from Ipomoea staphylina – An invasive weed with emerging environmental challenges. *Chemosphere*, 263, 128080. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.128080>
- Barasa, M., Olanrewaju, O., & Akpan, J. (2024). Biogas Production and Process Control Improvements. From Biomass to Biobased Products. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.113061>
- Barba Campos, Emilio., & Andreu, Vicente. (2020). Presente y futuro de las tecnologías verdes: contribuciones desde la Universitat de València. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=864138&info=resumen&idioma=CAT>
- Barreda-Del-Carpio, J. E., Ancco Mamani, M. R., Núñez Chambi, A. D., Aguirre, C. E., Tejada Meza, K., Pacheco Pacheco, G. M., Barreda-Del-Carpio, J. E., Ancco Mamani, M. R., Núñez Chambi, A. D., Aguirre, C. E., Tejada Meza, K., & Pacheco Pacheco, G. M. (2022). Co-Digestión de Tres Tipos de Estiércol (Vaca, Cuy y Cerdo) para Obtener Biogás en el Sur del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(3), 174–181. <https://doi.org/10.18271/RIA.2022.457>
- Bawm, S., Htun, L. L., Chel, H. M., Khaing, Y., Hmoon, M. M., Thein, S. S., Win, S. Y., Soe, N. C., Thaw, Y. N., Hayashi, N., Win, M. M., Nonaka, N., Katakura, K., & Nakao, R. (2024). A survey of gastrointestinal helminth infestation in smallholder backyard pigs and the first molecular identification of the two zoonotic helminths *Ascaris suum* and *Trichuris suis* in Myanmar. *BMC Veterinary Research*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/S12917-024-03998-W>
- Behera, S., & Ray, R. (2021). Bioprospecting of cowdung microflora for sustainable agricultural, biotechnological and environmental applications. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100018. <https://doi.org/10.1016/J.CRMICR.2020.100018>
- Bello, A., Deng, L., Sheng, S., Jiang, X., Yang, W., Meng, Q., Wu, X., Han, Y., Zhu, H., & Xu, X. (2020). Biochar reduces nutrient loss and improves microbial biomass of composted cattle manure and maize straw. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 67(5), 799–811. <https://doi.org/10.1002/BAB.1862>
- Bhatt, K., Dinesh, & Maheshwari, K. (n.d.). Decoding multifarious role of cow dung bacteria in mobilization of zinc fractions along with growth promotion of *C. annuum* L. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50788-8>
- Bhavika, M., Ashwanth, P., & Abhishek, V. (2024). SMART FARM: Crop, Fertiliser and Disease Management through Machine Learning and Deep Learning Applications. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, 1024–1030. <https://doi.org/10.38124/IJISRT/IJISRT24JUL549>
- Bil Der, T., & Çerçioğlu, M. (2019). Tarım Bilimleri Dergisi The Impact of Soil Conditioners on Some Chemical Properties of Soil and Grain Yield of Corn (*Zea Mays* L.). *JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES*, 25, 224–231. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.399164>
- Boudjabi, S., & Chenchouni, H. (2023). Comparative effectiveness of exogenous organic amendments on soil fertility, growth, photosynthesis and heavy metal accumulation in cereal crops. *Heliyon*, 9(4), e14615. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E14615>

- Cahyono, Y., & Ratni, N. (2023). Efektifitas Kombinasi Limbah Sayur dan Kotoran Sapi Sebagai Bahan Utama Pembuatan Biogas dalam Digester Anaerob. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(4), 719–729. <https://doi.org/10.55123/INSOLOGI.V2i4.2275>
- Callejo Ramos, A. (2020). Gestión de residuos en las granjas de vacuno de leche (II): Caracterización de deyecciones y efluentes. *Frisona Española*, ISSN 0211-3767, Año 40, No. 238, 2020, Págs. 96-101, 40(238), 96–101. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7554175>
- Cano, M., Bennet, A., Silva, E., Robles, S., Sainos, U., & Castorena, H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas characterization of bioles from the anaerobic fermentation of cattle and swine excreta. *Agrociencia*, 50(1), 471–479.
- Casas, S., & Guerra, L. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3). <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2020.E00452>
- Cervera-Mata, A., Navarro-Alarcón, M., Delgado, G., Pastoriza, S., Montilla-Gómez, J., Llopis, J., Sánchez-González, C., & Rufián-Henares, J. Á. (2019). Spent coffee grounds improve the nutritional value in elements of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and are an ecological alternative to inorganic fertilizers. *Food Chem.*, 282(282), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.101>
- Chinyaeva, U., Kalganov, A., Kramarenko, M., & Minaev, E. (2022). The effect of different doses of pig manure on soil microbiological activity and spring wheat yield. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 949(1), 012147–012147. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012147>
- Collins, L., & Smith, L. (2022). Review: Smart agri-systems for the pig industry. *Animal*, 16, 100518. <https://doi.org/10.1016/J.ANIMAL.2022.100518>
- Dahshan, H., Mohamed, A., & Abd-El-Kader. (2013). Field-scale management and evaluation of recycled cattle manure solids from livestock in Nile Delta ecosystem. <https://scispace.com/papers/field-scale-management-and-evaluation-of-recycled-cattle-rqp9i6npwh>
- Delgado Arroyo, M. del M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., Martín Sánchez, J. V., Delgado Arroyo, M. del M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 965–977. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.15>
- Dhanta, R., Mwale, M., Dhanta, R., & Mwale, M. (2024). Transforming Agriculture With Modern AI: Harnessing Artificial Intelligence to Revolutionize Farming. <https://Services.Igi-Global.Com/Resolvedoi/Resolve.Asp?Doi=10.4018/979-8-3693-1902-4.Ch021>, 350–370. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1902-4.Ch021>
- Di Cicco, M., Tabilio Di Camillo, A., di Marzio, W., Sáenz, M. E., Galassi, D. M. P., Pieraccini, G., Galante, A., di Censo, D., & di Lorenzo, T. (2024). Subchronic Effects of Tetrachloroethylene on Two Freshwater Copepod Species: Implications for Groundwater Risk Assessment: Effects of tetrachloroethylene on freshwater copepods. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 43(12), 2515–2527. <https://doi.org/10.1002/ETC.5977>
- Dong, R., Qiao, W., Guo, J., & Sun, H. (2022). Manure treatment and recycling technologies. *Circular Economy and Sustainability: Volume 2: Environmental Engineering*, 161–180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821664-4.00009-1>
- Doughmi, A., Elkafz, G., Cherkaoui, E., Khamar, M., Nounah, A., & Zouahri, A. (2024). Evaluation of the Compost's Maturity of Different Mixtures of Olive Pomace and Poultry Manure. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(4), 11–27. <https://doi.org/10.12912/27197050/182287>
- Dungan, R., & Leytem, A. (2013). The characterization of microorganisms in dairy wastewater storage ponds. *Journal of Environmental Quality*, 42(5), 1583–1588. <https://doi.org/10.2134/JEQ2013.04.0134>
- Farmonaut. (2024, October 7). Australian Dairy Farm Management: Optimizing Profitability and Sustainability in Victoria's Changing Climate -. Farmonaut. <https://farmonaut.com/australia/australian-dairy-farm-management-optimizing-profitability-and-sustainability-in-victorias-changing-climate/>
- Fernández, M. (2019). El Internet de las Granjas. *Vaca Pinta*, 1–8. https://vacapinta.com/media/files/fichero/vp008_castelan_lr-154-161.pdf
- Fernández-Labrada, M., López-Mosquera, M. E., García, L., Barrio, J. C., & López-Fabal, A. (2023a). Hazards of swine slurry: Heavy metals, bacteriology, and overdosing—Physicochemical models to predict the nutrient value. *Animal Science Journal*, 94(1), e13849. <https://doi.org/10.1111/ASJ.13849>
- Fernández-Labrada, M., López-Mosquera, M. E., García, L., Barrio, J. C., & López-Fabal, A. (2023b). Hazards of swine slurry: Heavy metals, bacteriology, and overdosing—Physicochemical models to predict the nutrient value. *Animal Science Journal*, 94(1), e13849. <https://doi.org/10.1111/ASJ.13849>
- Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural [FEADER]. (2018). UNIÓN EUROPEA Estiércoles. Caracterización, analítica e implicaciones sobre su aprovechamiento fertilizante. Dirección General de Desarrollo Rural Centro de Transferencia Agroalimentaria, 262, 2–40.
- Franco, K., Leyda, L., & Kallen, S. (2020). Life Smart Fertirrigation: Integrated Pig Manure Processing for Direct Injection of Organic Liquid Fertilizer into Irrigation Systems. *Proceedings 2019*, Vol. 30, Page 92, 30(1), 92. <https://doi.org/10.3390/PROCEEDINGS2019030092>
- Fredrick Oge, O., Adewale Iyaniwura, A., Friday Nweke, N., Alex Ochai, O., Chimdi Cynthia, I., Chinedu Ele, O., & Fredrick Ogeh, O. (2024). Safeguarding ecosystems using innovative approaches to manage animal wastes. *Bio-Research*, 22(1), 2274–2291. <https://doi.org/10.4314/BR.V22i1.6>
- Fu, X., Guo, X., Liu, L., Fu, Q., & Zhou, L. (2023a). Evolution of humus dynamics in composting of swine manure combined with wood vinegar. *Environmental Research Communications*, 5(11), 115012. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/AD0B27>
- Fu, X., Guo, X., Liu, L., Fu, Q., & Zhou, L. (2023b). Evolution of humus dynamics in composting of swine manure combined with wood vinegar. *Environmental Research Communications*, 5(11), 115012. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/AD0B27>
- Garrido, O. (2022, April). Uso del efluente de los biodigestores a partir de los residuales porcinos como abonos orgánicos. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 78–85.
- Giroto, F., & Cossu, R. (2017). Animal Waste: Opportunities and Challenges. 1–13. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48006-0_1

- Gómez-Brandón, M., Juárez, M. F.-D., Domínguez, J., Insam, H., Gómez-Brandón, M., Juárez, M. F.-D., Domínguez, J., & Insam, H. (2013). Animal Manures: Recycling and Management Technologies. *Biomass Now - Cultivation and Utilization*. <https://doi.org/10.5772/53454>
- Gosgot, W., Rascón, J., Barrera, M., Ordinola, C., Oliva, M., & Montenegro, Y. (2021). Producción de biogás a partir de estiércol de gallina, utilizando colectores solares. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(2), 44. <https://doi.org/10.25127/APS.20212.768>
- Gourlez, E., Beline, F., Dourmad, J. Y., Rigo Monteiro, A., Charra, M., & de Quelen, F. (2024). Data quantifying the behaviour of macro and trace elements along the feed – manure – treated waste continuum in pig production. *Data in Brief*, 52, 110053. <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2024.110053>
- Güllich, R., & Matos, R. (2019). Fronteiras para a Sustentabilidade. *Fronteiras Para a Sustentabilidade*. <https://doi.org/10.22533/AT.ED.546190110>
- Guo, H. N., Wang, L. X., & Liu, H. T. (2020). Potential mechanisms involving the immobilization of Cd, As and Cr during swine manure composting. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73894-4>
- Gupta, K., Aneja, K., & Rana, D. (2016). Current status of cow dung as a bioresource for sustainable development. *Bioresources and Bioprocessing*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S40643-016-0105-9/METRICS>
- Gurmessia, B., Ashworth, A. J., Yang, Y., Savin, M., Moore, P. A., Ricke, S. C., Corti, G., Pedretti, E. F., & Cocco, S. (2021a). Variations in bacterial community structure and antimicrobial resistance gene abundance in cattle manure and poultry litter. *Environmental Research*, 197, 111011. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.111011>
- Gurmessia, B., Ashworth, A. J., Yang, Y., Savin, M., Moore, P. A., Ricke, S. C., Corti, G., Pedretti, E. F., & Cocco, S. (2021b). Variations in bacterial community structure and antimicrobial resistance gene abundance in cattle manure and poultry litter. *Environmental Research*, 197, 111011. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.111011>
- Gurmessia, B., Ashworth, A. J., Yang, Y., Savin, M., Moore, P. A., Ricke, S. C., Corti, G., Pedretti, E. F., & Cocco, S. (2021c). Variations in bacterial community structure and antimicrobial resistance gene abundance in cattle manure and poultry litter. *Environmental Research*, 197, 111011. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.111011>
- Gutman, Á. (2023). *Tecnologías de las energías renovables: explicadas para no especialistas* (1st ed.). www.edutecne.utn.edu.ar
- Halmaci, I., Lonel, I., & Miutescu, M. (2024). Influence upon Biogas Production of the C/N Ratio and the Heavy Metal Incidence in the Manure Composition. *Environmental and Earth Sciences*. <https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202402.0949.V1>
- He, Z., Griffin, T. S., & Honeycutt, C. W. (2004). Phosphorus distribution in dairy manures. *Journal of Environmental Quality*, 33(4), 1528–1534. <https://doi.org/10.2134/JEQ2004.1528>
- Hickmann, F., Andretta, I., Cappelaere, L., Goyette, B., Létourneau, M., & Rajagopal, R. (2023). 47 Feeding Pigs with Low Crude Protein Diets: Impact of Pig Manure Nitrogen Content on Biogas Production and Digestate Quality. *Journal of Animal Science*, 101(Supplement_2), 47–48. <https://doi.org/10.1093/JAS/SKAD341.052>
- Hoyos-Sebá, J. J., Arias, N. P., Salcedo-Mendoza, J., & Aristizábal-Marulanda, V. (2024a). Animal manure in the context of renewable energy and value-added products: A review. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 196, 109660. <https://doi.org/10.1016/J.CEP.2023.109660>
- Hoyos-Sebá, J. J., Arias, N. P., Salcedo-Mendoza, J., & Aristizábal-Marulanda, V. (2024b). Animal manure in the context of renewable energy and value-added products: A review. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 196, 109660. <https://doi.org/10.1016/J.CEP.2023.109660>
- Hozad, A., & Abendroth, C. (2025). Electro-composting: an emerging technology. *Cold Spring Harbor Laboratory*. <https://doi.org/10.1101/2025.01.16.633320>
- Hu, Y. ying, Wu, J., Li, H. zhi, Poncin, S., Wang, K. jun, & Zuo, J. e. (2019). Study of an enhanced dry anaerobic digestion of swine manure: Performance and microbial community property. *Bioresource Technology*, 282, 353–360. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.03.014>
- Ibarra, R., Bolaños, D., & Cumbal, L. (2024). Evaluation of Physicochemical Parameters, Carbamazepine and Diclofenac as Emerging Pollutants in the Machángara River, Quito, Ecuador. *Water* 2024, Vol. 16, Page 1026, 16(7), 1026. <https://doi.org/10.3390/W16071026>
- Iqbal, A., He, L., Ali, I., Ullah, S., Khan, A., Khan, A., Akhtar, K., Wei, S., Zhao, Q., Zhang, J., & Jiang, L. (2020). Manure combined with chemical fertilizer increases rice productivity by improving soil health, post-anthesis biomass yield, and nitrogen metabolism. *PloS One*, 15(10). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0238934>
- Irfan, M., Mehmood, S., Mehmud, A., & Ahmad, A. (2021). An Assessment of Chemical and Microbiological Properties of Different Types of Poultry Waste Compost Prepared by Bin and Windrow Composting System. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.14306679>
- Islam, N., Rashid, M. M., Pasandideh, F., Ray, B., Moore, S., & Kadel, R. (2021). A Review of Applications and Communication Technologies for Internet of Things (IoT) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Sustainable Smart Farming. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 1821, 13(4), 1821. <https://doi.org/10.3390/SU13041821>
- Jain, A., & Bagherwal, R. (2017). Design and implementation of a smart solid waste monitoring and collection system based on Internet of Things. 8th International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies, ICCCNT 2017, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2017.8204165>
- Ji, J. L., Chen, F., Liu, S., Yang, Y., Hou, C., & Wang, Y. Z. (2022). Co-production of biogas and humic acid using rice straw and pig manure as substrates through solid-state anaerobic fermentation and subsequent aerobic composting. *Journal of Environmental Management*, 320, 115860. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115860>
- Jordán, Y. (2022). Producción de biogás a partir de suero salado de queserías y estiércol de cuy en Santa Rosa de Quives. *South Sustainability*, 3(2), e063–e063. <https://doi.org/10.21142/SS-0302-2022-E063>

- Kacprzak, M., Malińska, K., Grosser, A., Sobik-Szoltyssek, J., Wystalska, K., Drózd, D., Jasińska, A., & Meers, E. (2023). Cycles of carbon, nitrogen and phosphorus in poultry manure management technologies – environmental aspects. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(8), 914–938. <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2096983>
- Kadir, L., Saber, M., Khelifi, A., & Yassaa, N. (2024). Bio-valorization of Cow Dung for Green Renewable Energy. *Journal of Renewable Energies*, 2024(Special Issue), 143–149. <https://doi.org/10.54966/JREEN.VIII.1254>
- Kasumba, J., Appala, K., Agga, G. E., Loughrin, J. H., & Conte, E. D. (2020a). Anaerobic digestion of livestock and poultry manures spiked with tetracycline antibiotics. *Journal of Environmental Science and Health. Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 55(2), 135–147. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1667190>
- Kasumba, J., Appala, K., Agga, G. E., Loughrin, J. H., & Conte, E. D. (2020b). Anaerobic digestion of livestock and poultry manures spiked with tetracycline antibiotics. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 55(2), 135–147. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1667190>
- Keskinen, R., Suojala-Ahlfors, T., Sarvi, M., Hagner, M., Kaseva, J., Salo, T., Uusitalo, R., & Rasa, K. (2020). Granulated broiler manure based organic fertilizers as sources of plant available nitrogen. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100734. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2020.100734>
- Khan, N., Kamaruddin, M. A., Sheikh, U. U., Bakht, M. P., & Mohd, M. N. H. (2024). Climate-Smart Agriculture: A Path to Sustainable Food Production. *Journal of Natural Science Review*, 2(Special.Issue), 130–147. <https://doi.org/10.62810/JNSR.V2ISPECIAL.ISSUE.121>
- Kim, W., Yang, S., Lee, K., & Lee, S. (2021). Biogas production using dry fermentation technology through co-digestion of manure and agricultural wastes. *Korean Association for Livestock Housing and Environment*, 17(1), 49–54. <https://doi.org/10.1007/S10668-020-00991-9>
- Kiyasudeen, S., & Ismail, A. (2015). Characterization of Fresh Cattle Wastes Using Proximate, Microbial and Spectroscopic Principles. *J. Agric. & Environ. Sci*, 15(8), 1700–1709. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajeas.2015.15.8.235>
- Kok, H., Shamsuddin, M., & Aqsha, A. (2020). Anaerobic Treatment of Chicken Manure Co-digested with Sawdust. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 741–748. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5753-8_69
- Kusmiyati, K., Wijaya, D. K., Hartono, B. J. R., Shidik, G. F., & Fudholi, A. (2023a). Harnessing the power of cow dung: Exploring the environmental, energy, and economic potential of biogas production in Indonesia. *Results in Engineering*, 20, 101431. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2023.101431>
- Kusmiyati, K., Wijaya, D. K., Hartono, B. J. R., Shidik, G. F., & Fudholi, A. (2023b). Harnessing the power of cow dung: Exploring the environmental, energy, and economic potential of biogas production in Indonesia. *Results in Engineering*, 20, 101431. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2023.101431>
- Kuziemska, B., Klej, P., Wysokinski, A., & Rudziński, R. (2022). Effect of Zinc along with Organic Fertilizers on Phosphorus Uptake and Use Efficiency by Cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Agriculture* 2022, Vol. 12, Page 1424, 12(9), 1424. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12091424>
- Lavanya, R., Abuthakir, S., & Ahamed, D. (2023). IoT-Enhanced Livestock Monitoring for Animal Health and Productivity. *International Conference on Sustainable Communication Networks and Application, ICSCNA 2023 - Proceedings*, 504–509. <https://doi.org/10.1109/ICSCNA58489.2023.10370264>
- Lezoche, M., Panetto, H., Kacprzyk, J., Hernandez, J. E., & Alemany Díaz, M. M. E. (2020). Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in Industry*, 117, 103187. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2020.103187>
- Li, J., Xu, Y., Zhang, Y., Liu, Z., Gong, H., Fang, W., OUYang, Z., Li, W., & Xu, L. (2024). Quantifying the mitigating effect of organic matter on heavy metal availability in soils with different manure applications: A geochemical modelling study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 276, 116321. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2024.116321>
- Linsong, H., Lianhua, L., Ying, L., Changrui, W., & Yongming, S. (2022). Bioaugmentation with methanogenic culture to improve methane production from chicken manure in batch anaerobic digestion. *Chemosphere*, 303, 135127. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135127>
- Liu, B., Zhou, H., Li, L., Ai, J., He, H., Yu, J., Li, P., & Zhang, W. (2023). Environmental impact and optimization suggestions of pig manure and wastewater treatment systems from a life cycle perspective. *Science of The Total Environment*, 905, 167262. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.167262>
- Lora-Ariza, B., Piña, A., & Donado, L. D. (2024). Assessment of groundwater quality for human consumption and its health risks in the Middle Magdalena Valley, Colombia. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61259-0>
- Lozano Ruiz, A. C., Sánchez Montealegre, C. A., & Ardila Marín, J. G. (2020). Diseño de un biodigestor de excremento para generación de biogás vía simulación con el software SIMBA®. *Ingeniería y Región*, ISSN 1657-6985, No. 24, 2020, Págs. 72-85, 24, 72–85. <https://doi.org/10.25054/22161325.2779>
- Mahlknecht, J., Torres-Martínez, J. A., Kumar, M., Mora, A., Kaown, D., & Loge, F. J. (2023). Nitrate prediction in groundwater of data scarce regions: The futuristic fresh-water management outlook. *Science of The Total Environment*, 905, 166863. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.166863>
- Majeed M. Ali Jaaf, S., Li, Y., Günal, E., Ali El Enshasy, H., Salmen, S. H., & Sürücü, A. (2022). The impact of corn cob biochar and poultry litter on pepper (*Capsicum annuum* L.) growth and chemical properties of a silty-clay soil. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2998–3005. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2022.01.037>
- Maruthamuthu, T., Karuppusamy, S., Veeramalai, R., Nagarajan, M., Manika Ragavan, P., Santiago, M., Nallathambi, B., Dharmalingam, A. P. S., Radhakrishnan, K., Ramasamy, A., Ramasamy, S. R. S., & Aranganoor Kannan, T. (2024). Physicochemical Characterization of Broiler Poultry Litter from Commercial Broiler Poultry Operation in Semiarid Tropics of India. *Agriculture* 2024, Vol. 14, Page 1708, 14(10), 1708. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE14101708>
- Matthews, K. R. (2023). Manure management. *The Produce Contamination Problem: Causes and Solutions*, Third Edition, 47–66. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819524-6.00001-X>

- Miralles De Imperial Hornedo, R., Mar, M., Arroyo, D., Manso, G., González Gullón, I., Valero, J., & Sánchez, M. (2017). Efecto del residual de estiércol avícola o residual de fertilizante mineral en el rendimiento y la calidad de camelina (*Camelina sativa* L. Crantz). *Effect of residual poultry manure or residual mineral fertilizer on yield and quality of camelina (Camelina sativa L. Crantz)*. *Rev Mex Cienc Pecu*, 8(4), 353. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4196>
- Mkhonza, N. P., Buthelezi-Dube, N. N., & Muchaonyerwa, P. (2020). Phosphorus availability and fractions in a humic soil amended with poultry manure and lime. *South African Journal of Plant and Soil*, 37(5), 361–366. <https://doi.org/10.1080/02571862.2020.1797196>
- Mohammed, M., Al-Mukhtar, O., Belkair, A., Al, O., Hassan, R., Jirhiman, A., & Ahmeedah, A. (2022). Improving Biogas Production from Animal Manure By Batch Anaerobic Digestion. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-1627319/V1>
- Mohd, S., Aqsha, A., Mhamsudin, R., Kee, M., Osman, N., & Tijani, M. (2023). Technical Trends in Biogas Production from Chicken Manure. *Sustainable Materials and Technology*, 145–182. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4120-7_6
- Mojica, C., Vidal, E., Rueda, B., & Acosta, D. (2016). Estudio de las características físico-químicas de residuos orgánicos para su uso potencial en la producción de biogás. *Artículo Revista de Energía Química y Física Marzo*, 3(6), 15–22. www.ecorfan.org/bolivia
- Morais, E. G. de, Silva, C. A., Gao, S., Melo, L. C. A., Lago, B. C., Teodoro, J. C., & Guilherme, L. R. G. (2024). Empirical Correlation between Electrical Conductivity and Nitrogen Content in Biochar as Influenced by Pyrolysis Temperature. *Nitrogen* 2024, Vol. 5, Pages 288-300, 5(2), 288–300. <https://doi.org/10.3390/NITROGEN5020019>
- Moreroa, M., & Motshekga, S. C. (2024). The feasibility of using biogas generated from livestock manure as an alternative energy source: A South African perspective. *Journal of Energy in Southern Africa*, 35(1), 1–16. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2023/V34I1A17021>
- Morgan, J. (2014, April 9). A Simple Explanation Of “The Internet Of Things.” <https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/>
- Muñoz, J., Nava, E., Cerano, J., Constante, V., Inzunza, M., & Macías, H. (2021). Dinámica del nitrógeno y el carbón orgánico en el proceso de descomposición de una composta con estiércol de bovino y residuos de cosecha. *Agrofaz: Publicación Semestral de Investigación Científica*, ISSN 1665-8892, Vol. 3, No. 2, 2021, Págs. 19-26, 3(2), 19–26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8325239&info=resumen&idioma=ENG>
- Mutungwazi, A., Ijoma, G. N., Ogola, H. J. O., & Matambo, T. S. (2022a). Physico-Chemical and Metagenomic Profile Analyses of Animal Manures Routinely Used as Inocula in Anaerobic Digestion for Biogas Production. *Microorganisms* 2022, Vol. 10, Page 671, 10(4), 671. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS10040671>
- Mutungwazi, A., Ijoma, G. N., Ogola, H. J. O., & Matambo, T. S. (2022b). Physico-Chemical and Metagenomic Profile Analyses of Animal Manures Routinely Used as Inocula in Anaerobic Digestion for Biogas Production. *Microorganisms* 2022, Vol. 10, Page 671, 10(4), 671. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS10040671>
- Njoku, N., Chima, I., & Uba, B. (2019). Influence of physicochemical and microbiological properties on the composting of agro wastes using cow dung as a booster. *Animal Research International*, 16(1), 3238–3246. <https://doi.org/10.4314/ARI.V16I1>
- Nunes, E. H., Gonçalves, J. C., Pecoraro, C. A., Bumbieris Junior, V. H., & Filho, J. T. (2023). Nutrients in swine manure for use as soil fertilizer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27(11), 858–863. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V27N11P858-863>
- Ochai, M. I., Aremu, J. K., & Agada, E. E. (2024). Effects of poultry litter on soil physico-chemical properties for crop production in Kauru LOCAL Government Area, Kaduna State, Nigeria. *Fudma Journal of Sciences*, 8(6), 111–117. <https://doi.org/10.33003/FJS-2024-0806-2757>
- Opio, C., & Sangoluisa, P. (2022). Innovaciones en el sector ganadero. In *Innovaciones en el sector ganadero*. FAO; IICA; <https://doi.org/10.4060/CC0876ES>
- Organización para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2019). Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. Extract from the Report High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition Extract from the Report 1 Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition Summary and Recommendations. HLPE, 1–13. www.fao.org/cfs/cfs-hlpe.
- Oxendine, A., Walsh, A. A., Young, T., Dixon, B., Hoke, A., Rogers, E. E., Lee, M. D., & Maurer, J. J. (2023). Conditions Necessary for the Transfer of Antimicrobial Resistance in Poultry Litter. *Antibiotics* 2023, Vol. 12, Page 1006, 12(6), 1006. <https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS12061006>
- Pacheco, I., García, C., Meza, C., Vaca, F., Díaz, C., Méndez, C., Tarango, L., Valenzuela, L., & Vásquez, J. (2022). Explorando la microbiota bacteriana fecal bovina en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, norte de México. *Rev Mex Cienc Pecu*, 13(4), 910–927. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.6138>
- Padilla, D., Dueños, J., Mählknecht, J., Mora, A., Kumar, M., Ornelas, N., Mejía, S., Navarro, C., & Bhattacharya, P. (2024). Arsenic and fluoride in groundwater triggering a high risk: Probabilistic results using Monte Carlo simulation and species sensitivity distribution. *Chemosphere*, 359, 142305. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2024.142305>
- Palacios, I., Hernández, G., Benítez, E., & Morgado, J. (2024). Monitoreo de indicadores extensivos del OUAES para identificar entornos saludables en la ZMC y ZMO: Córdoba y Orizaba (2018-2023). *Revista Electrónica de La Coordinación Universitaria de Observatorios de La Universidad Veracruzana*, 17, 78–92.
- 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*, 372. <https://doi.org/10.1136/BMJ.N71>
- Pantelopoulou, A., & Aronsson, H. (2021a). Two-stage separation and acidification of pig slurry – Nutrient separation efficiency and agronomical implications. *Journal of Environmental Management*, 280, 111653. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111653>
- Pantelopoulou, A., & Aronsson, H. (2021b). Two-stage separation and acidification of pig slurry – Nutrient separation efficiency and agronomical implications. *Journal of Environmental Management*, 280, 111653. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111653>

- Paucar, C., González, V., Álvarez, H., Madrid, B., de Gracia, C., & Flores, F. (2023a). Aplicación del índice de calidad del agua (ICA) caso de estudio: río jubones, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 1264–1277. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V7i4.6953
- Paucar, C., González, V., Álvarez, H., Madrid, B., de Gracia, C., & Flores, F. (2023b). Aplicación del índice de calidad del agua (ICA) caso de estudio: río jubones, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 1264–1277. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V7i4.6953
- Paz, H., Ferro, R., & Aguirre, E. (2021). Introducción a granjas inteligentes y generación de energía eléctrica para hacer frente al cambio climático en la Región Andina (1st ed.). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Peng, N., Zhang, J., Hu, R., Liu, S., Liu, F., Fan, Y., Yang, H., Huang, J., Ding, J., Chen, R., Li, L., He, Z., & Wang, C. (2024). Hidden pathogen risk in mature compost: Low optimal growth temperature confers pathogen survival and activity during manure composting. *Journal of Hazardous Materials*, 480, 136230. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2024.136230>
- Peralta, A. V. P., & Brito, Z. R. G. (2024). Literature review of the effect of adding bovine manure on agricultural production. *ConcienciaDigital*, 7(4), 87–102. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i4.3236>
- Pino, E., Pilay, J., Drouet, A., & Tomala, A. (2025). Biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos porcinos. *Revista Alfa*, 9(25), 177–190. <https://doi.org/10.33996/REVISTAALFA.V9I25.340>
- Pinos, J., García, J., Peña, L., Gonzalez, C., & Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 1–12.
- Piskun, V., Zolotarov, A., Ponomarova, M., Zolotarva, S., & Yevsiukov, O. (2024). Utilisation of livestock by-products for resource-saving biogas production in industrial pork production. *Scientific Horizons*, 27(1), 117–126. <https://doi.org/10.48077/SCIHOR1.2024.117>
- Previdelli, M., Amorim, A., Júnior, J. de L., Moraes, A., & Mendes, A. (2012). Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 41(5), 1301–1307. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000500030>
- Ren, Z., Ning, P., Jia, L., Qu, G., Xiong, X., Feng, H., & Zhou, C. (2012). Biogas Production from Cow Manure in an Experimental 20 m3 Reactor with a Jet Mixing System. *Advanced Materials Research*, 518–523, 3290–3294. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.518-523.3290>
- Roldán-Reascos, G., Pérez-Lamela, C., de Blas, E., & Simal-Gandara, J. (2024). Water quality indexes and water quality population perception in a rural area in Ecuador. *Water Practice and Technology*, 19(2), 580–593. <https://doi.org/10.2166/WPT.2024.021>
- Rosas Martínez, V., & Aguilar Rivera, N. (2022). Compostaje para la reducción de excretas de aves (*Gallus gallus domesticus*). *Agronomía Mesoamericana*, ISSN-e 2215-3608, ISSN 1021-7444, Vol. 33, No. 1, 2022, 33(1), 24. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.44815>
- Ruiz-Bastidas, R. C., Ochoa-Durán, C., Sanabria, J., & Cadavid-Rodríguez, L. S. (2024). Effect of Ecuadorian natural zeolite on the performance of anaerobic digestion of swine waste in semicontinuous regime. *Chemosphere*, 352, 141517. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2024.141517>
- Ruvalcaba, J., Arteaga, R., Domínguez, G., Galindo, A., Salazar, G., Martínez, M., & Delgado, R. (2019). Uso de bacterias ácido lácticas para descontaminación de estiércol porcino mediante ensilaje experimental. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(1), 247–257. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.01.18>
- Salcido-Domínguez, A. D., & Aguilar-Juárez, O. (2023). Evaluation of the Feasibility of Biogas Production by Anaerobic Digestion from Agro-Industrial Wastes in Los Altos, Jalisco. *Green Energy and Technology*, 39–53. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26813-7_3
- Santos, M., & Laranja, R. (2024). Influence of agriculture on surface water quality in three lentic environments in a conservation unit of Brazil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(4), 4295–4306. <https://doi.org/10.1007/S13762-023-05296-8/FIGURES/2>
- Sarfaraz, Q., Silva, L., Drescher, G., Zafar, M., Severo, F., Kokkonen, A., Molin, G., Shafi, M., Shafique, Q., & Solaiman, Z. (2020a). Characterization and carbon mineralization of biochars produced from different animal manures and plant residues. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57987-8>
- Sarfaraz, Q., Silva, L., Drescher, G., Zafar, M., Severo, F., Kokkonen, A., Molin, G., Shafi, M., Shafique, Q., & Solaiman, Z. (2020b). Characterization and carbon mineralization of biochars produced from different animal manures and plant residues. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57987-8>
- Saucedo, S., Arguello, L., Vilela, S., & Ruiz, M. (2024). Uso de fertilizantes químicos en el fomento productivo agrícola del Ecuador. *Killkana Técnica*, 8(1), 27–38. <https://doi.org/10.26871/KILLKANATECNICA.V8I1.1531>
- Segat, J. C., Alves, P. R. L., Baretta, D., & Cardoso, E. J. B. N. (2020). Ecotoxicological effects of swine manure on *Folsomia candida* in subtropical soils. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 92, e20180758. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180758>
- Semenov, M., Zhelezova, A., Ksenofontova, N., Ivanova, E., & Nikitin, D. (2023). Chicken manure as an organic fertilizer: composting technologies and impact on soil properties (a review). *Bülleten' Počevnogo Instituta Imeni V.V. Dokučaeva*, 115, 160–198. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-160-198>
- Singh, G., Shamsuddin, M. R., Aqsha, & Lim, S. W. (2018). Characterization of Chicken Manure from Manjung Region. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 458(1), 012084. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/458/1/012084>
- Sossa, E. L., Agbangba, C. E., Koura, T. W., Ayifimi, O. J., Houssoukpèvi, I. A., Bouko, N. D. B., Yalinkpon, F., & Amadji, G. L. (2024). Dynamics of co-composting of pineapple harvest and processing residues with poultry litter and compost quality. *Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 1–20. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66335-z>

- Sousa, I., Pereira, A., Carraro, A., & Santos, N. (2021). Energy potential of biogas from pig farms in the state of minas gerais, brazil. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.14279700>
- Souvannasouk, V., Singthong, O., Sayavongsa, P., Meas, S., Phaxaisithidet, T., & Fongsamouth, S. (2023). Revolutionizing biogas generation: Polyethylene tubular digesters for household pig farms. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication (MIJEEC)*, 5(1), 6–13. <https://doi.org/10.54279/MIJEEC.V5I1.250029>
- Stroparo, E., Winiewski dos Santos, G., Litchacowski, J., Mazur, D., & Schirmer, W. (2020). Degradação de resíduos vegetais melhorados com esterco bovino e caprino e análise de toxicidade do chorume produzido utilizando vermicompostagem. *Science and Technology*, 12(1), 124–129. <https://scispace.com/papers/degradacao-de-residuos-vegetais-melhorados-com-esterco-5b9dt9qzum>
- Sun, H., Palaoag, T., & Quan, Q. (2024). Design of Pig Farm Environment Regulation and Video Monitoring System Based on Livestock Internet of Things Orbital Inspection Robot. *Proceedings - 2024 7th International Conference on Communication Engineering and Technology, ICCET 2024*, 25–30. <https://doi.org/10.1109/ICCET62255.2024.00011>
- Syam, D., Sridevi, A., & Narasimha, G. (2011). Microbial and enzyme activities in cattle dung composed soil. *Environmental Science*, 7(10). <https://scispace.com/papers/microbial-and-enzyme-activities-in-cattle-dung-composed-soil-4qrxmhkto>
- Tawfik, A., Eraky, M., Osman, A. I., Ai, P., Zhou, Z., Meng, F., & Rooney, D. W. (2023). Bioenergy production from chicken manure: a review. *Environmental Chemistry Letters* 2023 21:5, 21(5), 2707–2727. <https://doi.org/10.1007/S10311-023-01618-X>
- Thepsilvisut, O., Chutimanukul, P., Sae-Tan, S., & Ehara, H. (2022). Effect of chicken manure and chemical fertilizer on the yield and qualities of white mugwort at dissimilar harvesting times. *PLOS ONE*, 17(4), e0266190. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0266190>
- Thomas, J., & Sunil, S. (2023). Waste Valorization Technologies for Egg and Broiler Industries. *Waste Valorization for Value-Added Products*, 250–272. <https://doi.org/10.2174/9789815123074123010014>
- Torres V, M., Ochoa-Álvarez, N. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Lavastida P., G., Alfonso, P., Torres V, M., Ochoa-Álvarez, N. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Lavastida P., G., & Alfonso, P. (2023). Inactivación de patógenos en residuos avícolas mediante el compostaje. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 34(4), 24488. <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V34I4.24488>
- Tovar, J., Solórzano, J. de los S., Badillo, A., & Rodríguez, G. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual. *Lámpsakos*, 22, 86–105. <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>
- Tyagi, M., Kumar, A., Guleri, S., & Gaurav, N. (2024). Transforming agriculture: the rise of smart farming. *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences Volume 3 Book 19*, 3(19), 150–178. <https://doi.org/10.58532/V3BCAG19P4CH6>
- Wahidah, M., Faiza, N. N., Nugraeni, C. D., & Purwanto, M. (2022). Small-Scale Biogas Production: Utilization of Chicken Manure Waste (*Gallus gallus domesticus*). *AIP Conference Proceedings*, 2638(1). <https://doi.org/10.1063/5.0104604/2831117>
- Wang, J., & Tao, J. (2020). An analysis of farmers' resource disposal methods for livestock and poultry waste and their determinants. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 18(1), 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2021.04.017>
- Wang, S., O'Connor, L., Wang, Z., Jiang, Y., Morris, D., Cahill, N., Hu, Z., & Zhan, X. (2020). Inactivation of carbapenemase-producing Enterobacterales during anaerobic co-digestion of food waste and pig manure. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100455. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2020.100455>
- Wang, Y., Yang, L., Chen, F., Liu, W., Burns, R., & Zhuang, J. (2024). Optimum thermal treatment for removing antibiotic resistance genes and retaining nutrients in poultry broiler manure. *Environmental Technology & Innovation*, 36, 103864. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2024.103864>
- Wi, J., Lee, S., & Ahn, H. (2023). Influence of Dairy Manure as Inoculum Source on Anaerobic Digestion of Swine Manure. *Bioengineering* 2023, Vol. 10, Page 432, 10(4), 432. <https://doi.org/10.3390/BIOENGINEERING10040432>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2017.01.023>
- Wu, N., Wang, X., Yan, Z., Xu, X., Xie, S., & Liang, J. (2021a). Transformation of pig manure by passage through the gut of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*): Metal speciation, potential pathogens and metal-related functional profiling. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111925. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2021.111925>
- Wu, N., Wang, X., Yan, Z., Xu, X., Xie, S., & Liang, J. (2021b). Transformation of pig manure by passage through the gut of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*): Metal speciation, potential pathogens and metal-related functional profiling. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111925. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2021.111925>
- Wu, X., Zhu, J., Cheng, J., & Zhu, N. (2015). Optimization of Three Operating Parameters for a Two-Step Fed Sequencing Batch Reactor (SBR) System to Remove Nutrients from Swine Wastewater. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 175(6), 2857–2871. <https://doi.org/10.1007/S12010-014-1467-0>
- Xie, S., He, X., Alshehri, M. A., Abou-Elwafa, S. F., & Zhang, T. (2024). Elevated effect of hydrothermal treatment on phosphorus transition between solid-liquid phase in swine manure. *Results in Engineering*, 24, 102887. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2024.102887>
- Xin, Y., Cao, H., Yuan, Q., & Wang, D. (2017). Two-step gasification of cattle manure for hydrogen-rich gas production: Effect of biochar preparation temperature and gasification temperature. *Waste Management*, 68, 618–625. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.06.007>
- Xing, B. S., Han, Y., Wang, X. C., Cao, S., Wen, J., & Zhang, K. (2020). Acclimatization of anaerobic sludge with cow manure and realization of high-rate food waste digestion for biogas production. *Bioresource Technology*, 315, 123830. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123830>

- Yadav, K., Banik, C., & Bakshi, S. (2025). Biochar, zeolite, and ferric chloride effectively separate phosphorus and nitrogen (plus potassium) in swine manure: A coagulation-flocculation-sedimentation approach. *Chemosphere*, 374, 144214. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2025.144214>
- Yong, C. (2011). Study on Processing Technology and Critical Equipment in Treatment of Livestock and Poultry Wastes (2011) | Chen Yong-sheng | 1 Citations. *Chinese Agricultural Mechanization*. <https://scispace.com/papers/study-on-processing-technology-and-critical-equipment-in-mdwug41tal>
- You, Z., Zhang, S., Kim, H., Chiang, P. C., Sun, Y., Guo, Z., & Xu, H. (2018). Effects of Corn Stover Pretreated with NaOH and CaO on Anaerobic Co-Digestion of Swine Manure and Corn Stover. *Applied Sciences* 2019, Vol. 9, Page 123, 9(1), 123. <https://doi.org/10.3390/APP9010123>
- Yousif, Y., Luo, Y. sen, Sun, S. S., Yang, X., Ji, H. Y., & Wang, R. L. (2023). Phytochemical and underlying mechanism of *Mikania micrantha* Kunth on antibiotic resistance genes, and pathogenic microbes during chicken manure composting. *Bioresource Technology*, 367, 128241. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2022.128241>
- Zambrano R. C., & Plaza, N. (2024). Impacto de las políticas agrícolas en el crecimiento económico del Ecuador. *MQRInvestigar*, 8(2), 3914–3934. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.2.2024.3914-3934>
- Zhao, S., Chen, W., Liu, M., Lv, H., Liu, Y., & Niu, Q. (2022). Biogas production, DOM performance and microbial community changes in anaerobic co-digestion of chicken manure with *Enteromorpha* and green waste. *Biomass and Bioenergy*, 158, 106359. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2022.106359>
- Zige, D., & Omeje, F. (2023). Antibiotics Profile and Public Health Implication of Pathogenic Enteric Bacteria Associated With Poultry Stool. *International Journal of Pathogen Research*, 12(2), 9–15. <https://doi.org/10.9734/IJPR/2023/V12I2221>
- Zobeashia, S., Abioye, P., Ijah, U., & Oyewole, O. (2021). Identification and characterization of microbial community of anaerobic digested poultry litter. *Journal of Phytomedicine and Therapeutics*, 20(1), 568–580. <https://doi.org/10.4314/JOPAT.V20I1.7>
- 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*, 372. <https://doi.org/10.1136/BMJ.N71>