

# ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS POR LA GANADERÍA A NIVEL MUNDIAL PARA MEJORAR CALIDAD DEL AIRE PERIODO 2020-2024

Andrés Arturo Garzón Tijaro <sup>1</sup> Marilym Bridgeth Mosquera Garzón <sup>2</sup>

## RESUMEN

El estudio examina la necesidad de minimizar el impacto de la ganadería en la contaminación del aire dada por los gases de efecto invernadero, centrándose en cuatro estrategias clave: nutrición y alimentación animal, gestión de residuos y energía renovable. El objetivo es describir cómo se están implementando estas estrategias en todo el mundo entre 2020 y 2024. El método se basa en un enfoque cualitativo, utilizando un análisis temático de los datos recopilados de *Science Direct*, utilizando palabras clave específicas. Los resultados identificaron estrategias clave en alimentos, forrajes, gestión de residuos y energía renovable, destacando su eficacia para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los hallazgos se centran en la importancia de estas estrategias para mejorar la calidad del aire, destacan su contribución al logro de objetivos ambientales y enfatizan la necesidad de métodos de ganadería sostenibles.

**Palabras clave:** Desarrollo Sostenible (Q010), medio ambiente (Q00), Silvicultura (Q23)

## STRATEGIES IMPLEMENTED BY LIVESTOCK FARMING WORLDWIDE TO IMPROVE AIR QUALITY 2020-2024 PERIOD

### ABSTRACT

*The study examines the need to minimize the impact of livestock farming on greenhouse gas air pollution, focusing on four key strategies: animal nutrition and feeding, waste management and renewable energy. The aim is to describe how these strategies are being implemented around the world between 2020 and 2024. The method is based on a qualitative approach, using a thematic analysis of data collected from Science Direct, using specific keywords. The results identified key strategies in food, feed, waste management and renewable energy, highlighting their effectiveness in reducing greenhouse gas emissions. The findings focus on the importance of these strategies in improving air quality, highlight their contribution to achieving environmental goals, and emphasize the need for sustainable livestock farming methods.*

**Keywords:** Sustainable Development (Q010), environment (Q00), Forestry (Q23)

---

<sup>1</sup> Estudiante de Medicina veterinaria. Fundación Universitaria agraria de Colombia. garzon.andres1@uniagraria.edu.co

<sup>2</sup> Estudiante de Medicina veterinaria. Fundación Universitaria agraria de Colombia. mosquera.marilym@uniagraria.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el cambio climático (CC) y la sobreexplotación de los recursos naturales han sido temas destacados a nivel global. Colombia ha participado activamente en las discusiones internacionales sobre medio ambiente, especialmente en relación con el sector pecuario en América Latina y el Caribe. Este sector ha experimentado un crecimiento que duplica la tasa promedio mundial, generando una considerable presión sobre los recursos naturales en estas regiones. Factores como las condiciones climáticas y la demanda internacional de alimentos, energía y biocombustibles han influido significativamente en la producción agrícola y ganadera. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2023).

Según la FAO (2018) las actividades ganaderas son responsables de más emisiones por gases de efecto invernadero (GEI), comparados con otras industrias de los alimentos ya que solo las emisiones de metano producidas por este sector productivo pueden llegar a representar un gran porcentaje del total de emisiones mundiales de metano. Además, las emisiones de GEI están asociadas a diversos productos (Tabla 1) de las tareas diarias de la ganadería. La información proporcionada por la FAO emite una comprensión clara de la contribución relativa de cada producto a la huella general de emisiones de GEI, lo que ayuda a identificar áreas clave para la mitigación y desarrollar estrategias sostenibles.

**Tabla 1. Actividades ganaderas responsables de emisiones GEI.**

Gases de Efecto invernadero por Producto	
Producto	Porcentaje
Fermentación entérica.	44.10%
Estiércol aplicado y depositado,	13.40%

ganadería N2O.	
Alimentación animal, CO2.	12.90%
Fertilizantes y residuos agrícolas.	5.8 %
Cambio de usos del suelo- Expansión de pastizales, CO2	4.80%
Gestión del estiércol CH4	5.70%
Gestión del estiércol N2O	4.30%

FAO (2018)

Por otra parte, Lorente (2010) concluye en su artículo que los principales agentes de emisión de GEI se dividen en tres categorías principales: la utilización de la tierra y sus cambios, la gestión del estiércol y la cría de animales. En contraste, la producción de concentrados, el procesamiento y el transporte tienen una contribución menor y no representan un porcentaje significativo en comparación con las anteriores.

Adicionalmente, Marín *et al.* (2022), menciona que la ganadería se responsabiliza del 14,5% de las emisiones anuales de GEI y atribuye esto a diversos factores como la producción de alimentos, estiércol, crianza de animales, su procesamiento y transporte, contribuyendo a la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>). Además, tiene efectos negativos adicionales, como la degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y contaminación del aire y agua.

El cambio climático (CC) también incide en la ganadería, generando aumento de temperaturas, variaciones en las precipitaciones y otros cambios ambientales, que afecta a la producción y calidad ganadera, reduce la disponibilidad de agua y aumenta la morbilidad del ganado por estrés térmico. A esto, la industria ganadera necesitará implementar innovaciones tecnológicas en aspectos como alimentación y nutrición, genética, cultivos de forraje, estrategias alimenticias y salud animal, así como ajustar políticas e instituciones para abordar el CC (Marín *et al.*, 2022).

De este modo, en 2015, los Estados miembros de la Organización de Naciones Unidas

establecieron los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), diseñados como para orientar a gobiernos, empresas del sector privado y público, y a la sociedad en general, proporcionando una visión amplia sobre las necesidades humanas a futuro. Dentro de esta estructura, las actividades ganaderas se encuentran vinculadas directamente en el ODS 13 (Acción por el Clima), en el cual se destaca la necesidad de adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus consecuencias, entre el que se destacan las emisiones atmosféricas que afectan la calidad del aire (Morán, 2023).

En los últimos años, empresas ganaderas han implementado estrategias innovadoras para reducir el impacto ambiental de la cría de ganado, en relación con la calidad del aire siendo objeto de análisis en la literatura académica. Desde esta perspectiva se plantea la siguiente pregunta ¿cuáles son las estrategias implementadas por la ganadería a nivel mundial para mejorar calidad del aire, periodo 2020-2024?

### 1.1. Justificación

El desarrollo de esta revisión de literatura tiene como fin principal resaltar las estrategias innovadoras que están desarrollando las empresas en el sector agropecuario para mitigar el impacto ambiental en relación con los contaminantes atmosféricos y la calidad del aire, teniendo en cuenta el grave impacto en la salud pública.

Los resultados del estado del arte sobre el objeto de estudio resultan beneficiosos para las empresas del sector ganadero para implementar estrategias innovadoras en sus procesos de este sector, contribuyendo así al medio ambiente. Esto se alinea con la Resolución 00126 del 2022 sobre Lineamientos de Política para la Ganadería Bovina Sostenible – GBS 2021–2050 en Colombia, con el propósito de consolidar la ganadería como un pilar fundamental mediante la gestión adecuada del ecosistema, la mejora constante de la calidad, la productividad, la rentabilidad y el bienestar integral. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

Adicionalmente el estudio a identifica permiten observar acciones del sector ganadero relacionadas con el ODS 13 para la implementación de prácticas sostenibles en la ganadería, y la efectividad de estas medidas.

Por último, Uniagraria, desarrolla el proyecto SER que integra tres pilares misionales institucionales: A) sustentabilidad ambiental, B) cultura del emprendimiento y C) desarrollo regional con enfoque territorial. Desde esta perspectiva, el presente trabajo se basa en el pilar de A para promover la comprensión y promoción de prácticas sostenibles en la producción pecuaria. Fomentando el desarrollo de prácticas que mitiguen el impacto ambiental, promuevan la conservación de los recursos naturales, disminuya la emisión de GEI y favorezca el uso responsable de la tierra. (UNIAGRARIA, 2023)

### 1.1. Objetivo

Describir las estrategias implementadas por la ganadería a nivel mundial para mejorar la calidad del aire en el periodo 2020 –2024.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Para realizar este trabajo se hizo uso de la metodología de búsqueda denominada “Revisión Sistemática de la Literatura” descrita como una revisión y localización de literatura relevante que se ajusta a los criterios de inclusión / exclusión previamente establecidos (Quispe *et al.*, 2021). Desde esta perspectiva se realiza una categorización de las diferentes estrategias planteadas por los autores, las cuales tienen como objetivo contribuir a la mitigación de los impactos ambientales generados por la ganadería en Colombia y otros países del mundo.

En este marco, a continuación, se presentan las prácticas de la alimentación y nutrición de los animales, luego, se abordan los estudios realizados sobre forrajes, pasturas y sistemas agroforestales, seguidamente, los relacionados con el manejo de residuos y finalmente, las investigaciones sobre las energías renovables.

### 2.1. Alimentación y nutrición de los animales

La alimentación sostenible en la industria ganadera es esencial para reducir las emisiones de carbono y mitigar el cambio climático. La introducción de recursos como algas, taninos, lípidos y nitratos se recomienda como estrategia clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción de alimentos, contribuyendo así al cuidado del medio ambiente.

El uso de nuevas dietas y suplementos para la mitigación de la emisión de CH<sub>4</sub> es muy importante como menciona Kinley *et al.* (2020) en sus estudios sobre la introducción de algas marinas *Asparagopsis taxiformis* y *Oedogonium sp.*, en la dieta del ganado. Según estos autores, contribuye a la disminución dosis-dependiente en la producción de CH<sub>4</sub>, alcanzando una reducción del 80% en la dosis más alta, destacando que esta adición no afecta negativamente la digestibilidad de la materia seca ni la producción total de gas.

Desde esta perspectiva, Narváez *et al.* (2020) considera que las macroalgas marinas son un valioso suplemento nutricional para rumiantes, mejorando la calidad de la dieta y reduciendo la producción de CH<sub>4</sub>. Las conclusiones de la investigación destacan: (a) el potencial significativo de las macroalgas para mejorar el rendimiento, (b) la salud del ganado, (c) el fomento de la sostenibilidad en la producción ganadera y (d) la mitigación de las emisiones de CH<sub>4</sub>. Con esto se espera preservar los recursos naturales con acciones clave contra el calentamiento global para la mitigación de GEI.

En esta dirección Stefenoni *et al.* (2021) plantea que la inclusión de algas marinas de la especie *A. taxiformis* tienen un gran potencial en la dieta del ganado para la reducción de las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico, puesto que la ingesta de esta especie repercute en la disminución de materia seca por parte del animal, esto condicionado a la evaluación de la condición corporal del ganado.

En este contexto Min *et al.* (2021) argumenta que los estudios *in vitro* e *in vivo* se han

centrado en la digestibilidad de estas algas, especialmente compuestos como los compuestos halogenados y los flocitaninos. Las investigaciones muestran que la presencia de bromoformo en las algas rojas reduce la producción de CH<sub>4</sub> en los rumiantes.

De la misma manera Lester *et al.* (2023) ha logrado demostrar mediante el uso de algas marinas como *Montia australasica* y *Spirogyra máxima* ser eficaces como suplementos para bovinos al exhibir propiedades anti metanogénicas.

En otro orden de ideas se propone la utilización de nitratos ya que como menciona Almeida *et al.* (2021) este compuesto se degrada en el rumen, lo cual reduce la disponibilidad de hidrógeno para los metanógenos. Se debe llevar a cabo un seguimiento debido a que pueden acumular nitratos y producirse metahemoglobinemia, por lo que se debe realizar adaptación a nitratos antes de ser incorporados en la dieta.

No obstante, Beauchemin, Ungerfeld, Eckard *et al.* (2020) expone cómo las dietas a base de concentrados se asocian con una menor producción de CH<sub>4</sub> en comparación con las dietas forrajeras porque el almidón en los concentrados fermenta más rápido y produce propionato y butirato, que, a su vez, compiten con el hidrógeno en la metanogénesis.

Considerando otra perspectiva, Fagundes *et al.* (2020) identifica que el uso de taninos en la dieta del ganado reduce las emisiones diarias de CH<sub>4</sub> por animal. Se observó una disminución del 17% al adicionar taninos al 1.25% en la dieta y una reducción del 33% al incorporarlos al 2.5%. Sin embargo, los taninos condensados también disminuyen la ingesta de materia seca de los animales.

De manera similar Brutti *et al.* (2023), destaca que los taninos tienen la capacidad de controlar la producción de amoníaco en el rumen, lo que sugiere que tienen un impacto en el metabolismo del nitrógeno del ganado. La incorporación de taninos hasta el 4% de la materia seca, reduce las emisiones de metano

entérico, lo que ayuda a reducir los efectos negativos en el medio ambiente.

Por otra parte, los resultados de la investigación de Beauchemin, Ungerfeld, Abdalla *et al.* (2022) demuestran cómo el uso de lípidos en las dietas de los rumiantes posee un efecto inhibitorio en la emisión de metano más alto en dietas a base de concentrados que en las dietas de forraje ya que el pH se considera más bajo en estos. Concluyen que la suplementación alimenticia con lípidos no representa riesgo para los animales.

Modificar las dietas es esencial para mejorar la eficiencia de la producción ganadera y reducir las emisiones ambientales. Abordar los desafíos ambientales requiere un enfoque integral de investigación y tecnología para implementar prácticas más sostenibles. Reconociendo el impacto directo de la nutrición en la reducción de los gases de efecto invernadero, el uso estratégico de una dieta rica en recursos como algas, nitratos, lípidos y taninos es esencial para reducir las emisiones y promover la sostenibilidad de la producción ganadera.

## **2.2. Forrajes, pasturas y sistemas agroforestales.**

A continuación, se presentan diferentes estrategias relacionadas a los sistemas agroforestales como medida de mitigación de GEI.

En el ámbito de la ganadería, la elección y clasificación de pastos y forrajes es relevante por el bienestar animal y por su contribución a la mitigación del impacto ambiental. Estos aspectos, ayudan a reducir las emisiones de GEI ya que actúan como reductores de carbono. De lo anterior, Torres *et al.* (2022), en su estudio comprueba que el incluir naturaleza como forrajes y pastos contribuye a la conservación de la biodiversidad porque minimizan las emisiones de GEI y sirven de almacenamiento de carbono por medio de la absorción.

En consecuencia, Monteiro *et al.* (2023), menciona que una estrategia para la mitigación

de los GEI consiste en la utilización de forrajes y sistemas-ganadero-forestales. En su estudio pudo evaluar que los sistemas de producción ganaderos habituales generan mayor cantidad de emisiones de GEI, en comparación con los sistemas que incluían forrajes.

De forma similar, Datta *et al.* (2024), pudo observar que el sistema agroforestal parece ser la mejor alternativa para secuestrar carbono atmosférico, añadiendo que la agrosilvicultura reduce las emisiones de GEI del sector agropecuario, lo cual es un valioso servicio de mitigación.

Por otra parte, Duffy *et al.* (2020) observa que la implementación de productos de madera (tallos de árboles) posterior al raleo que se hace al terminar la rotación del ganado resulta beneficiosa; afirmando, que esto tiene el potencial de disminuir la emisión de GEI y que esta estrategia de mitigación puede llegar a ser la más rentable de los GEI en la forestación.

Teniendo en cuenta lo anterior, Tolgyesi *et al.* (2023) resalta que los árboles y las pasturas ayudan a captar y almacenar carbono cuando actúan en sinergia, dado que es desde la copa de los árboles que se realiza de forma natural la captación de nitrógeno y otras emisiones de GEI.

Por otra parte, Reyes *et al.* (2022) menciona que los sistemas forestales en ganadería pueden almacenar cantidades significativas de Carbono en biomasa y suelos, resaltando que los árboles son el elemento diferencial clave en los sistemas agroforestales en comparación con otras tierras de pastoreo.

Dando continuidad, Vincenza y Valentini (2020) atribuyen que mantener adecuadamente una cubierta forestal en la ganadería, es un potencial de mitigación de GEI debido a que cumple la función de sumidero de carbono ayudando a controlar estas emisiones que están en el aire.

Fraser *et al.* (2022), resaltan la importancia de reconocer que los sistemas de pastoreo son dinámicos, por tanto, es importante introducir árboles y setos (barreras) permitiendo realizar

el secuestro de carbono, contribuyendo así, con la mitigación de los GEI, Además plantea la opción de retirar el consumo de forrajes y plantas que contienen altos niveles de taninos, incluidos arbustos enanos comunes como *Calluna* spp., *Vaccinium* spp. y *Erica* spp., están asociados con efectos perjudiciales para la salud de los rumiantes.

Vogeler *et al.* (2022) y Kearney *et al.* (2023) indican en ese orden que la implementación de leguminosas como el trébol rojo y el trébol blanco, favorecen la absorción de nitrógeno en el suelo en comparación de otras plantas y/o forrajes, con esto se evita que este permanezca en el aire.

Llegado a este punto, se debe resaltar que la integración de forrajes y pastos en los sistemas ganaderos, contribuyen a la conservación del suelo, la biodiversidad y al mismo tiempo la calidad del aire, mitigando así, el impacto ambiental generado al capturar elementos como carbono, nitrógeno y metano reduciendo el acúmulo de estos elementos en la atmósfera.

### 2.3. Manejo de residuos

Se describen las diferentes estrategias relacionadas con el almacenamiento de estiércol, utilización de residuos e implementación de insectos como que contribuya con la mitigación de gases de efecto invernadero GEI.

Por ejemplo, Aguirre *et al.* (2023), destaca las diferentes fuentes de emisiones de amoníaco (NH<sub>3</sub>) provenientes de los sistemas de manejo de estiércol, indicando que el almacenamiento del sólido genera más emisiones de NH<sub>3</sub>, debido a que tiene niveles de pH más altos, por lo que recomienda el almacenamiento de estiércol líquido al manejar niveles de pH más bajos, favoreciendo la filtración al suelo permitiendo la unión del amonio a las partículas del suelo.

Por otra parte, el estudio de Herald *et al.* (2023) se enfocó en las emisiones de CH<sub>4</sub> asociadas con el almacenamiento de estiércol líquido. Destacando la acidificación a un pH de 5.5 y permitiendo que esta alternativa sea eficaz

para reducir las emisiones de metano durante el almacenamiento de este tipo de estiércol. Cabe anotar que los hallazgos de este trabajo ofrecen perspectivas valiosas para abordar específicamente la emisión de GEI en la gestión del estiércol.

En el estudio realizado por Dawei *et al.* (2023), se pudo identificar que las emisiones de gas metano y Óxido Nitroso provenientes del estiércol en la ganadería, aumentaron en un lapso de 20 años, al igual que las emisiones de Dióxido de Carbono, con relación al aumento en la demanda de consumo de la población mundial. Esto llevó a la conclusión de la importancia de realizar estrategias sostenibles en la ganadería para reducir emisiones de GEI con los residuos de estiércol.

Doblas *et al.* (2023), estudio diferentes tipos de estiércol, producidos en diferentes condiciones medio ambientales, identificando que se deben tener medidas estandarizadas de su uso como fertilizante, basado en la calidad y la cantidad de residuos de materia fecal, para ayudar a la fijación de Carbono (C) al suelo.

Desde otra perspectiva, Ji-Bin *et al.* (2021), propone la biotransformación de desechos como el estiércol con la mosca soldado-negra (BSF), *Hermetia illucens* (L.) (*Diptera: Stratiomyidae*). Este estudio concluye que esta especie de mosca puede considerarse como un reactor de residuos por su sistema digestivo como núcleo, ya que tiene la capacidad de transformar los desechos desde su intestino por poseer un pH ácido.

Por otro lado, en relación a los precursores de GEI, Fei *et al.* (2022), propone usar monensina inhibiendo el crecimiento *Firmicutes* y *Neocallimastigomycota*, y aumentar el crecimiento de filos bacterianos como las *Proteobacterias* y *Bacteroidetes* que se producen durante la fermentación del sustrato (estiércol), que resulta en el reciclaje de 3.33% - 5.88% del nitrógeno proveniente de la materia fecal de ganado, que a su vez, inhibiría la degradación del nitrógeno, y la emisión de amoníaco (NH<sub>3</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O).

De igual manera, Linfa *et al.* (2023), relaciona el uso de antibióticos en la ganadería y sus efectos en el estiércol, identificando que el uso de Tetraciclina y Fluoroquinolonas, pueden obstaculizar la tasa de liberación de nutrientes como el Carbono (C), el Nitrógeno (N) y el Fósforo (P), lo que llegaría a limitar la fertilidad de los suelos, con el secuestro de carbono, expresándose en mayor emisión de GEI.

Yuye *et al.* (2023), en su estudio concluyó que la materia fecal del ganado, que no es reutilizada en procesos de fertilización, es el factor más importante que contribuye a la disminución de carbono orgánico en los pastizales, al menos a corto plazo. Concluye que al realizar prácticas sostenibles con estiércol garantizan un mayor secuestro de carbono en el suelo, aumentando sus reservas y contribuyendo a largo plazo al impacto ambiental.

Por último, Yan *et al.* (2023), evidencia que las técnicas de fertilización basadas en compostaje de estiércol implican varios retos, en primera instancia, identifican que las heces con alto contenido de nitrógeno, como el estiércol de ganado, enfrentan un riesgo relativamente mayor de emitir NH<sub>3</sub>, CO y CH<sub>4</sub> que conlleva al segundo reto, la técnica de almacenamiento del estiércol, donde identificó que el compostaje almacenado en canal tuvo mayores emisiones de GEI, con pérdida de Carbono y Nitrógeno, en comparación del compostaje almacenado en hileras, en el que su pérdida fue menor.

La gestión adecuada de los desechos de sistemas ganaderos se presenta como un elemento fundamental en la reducción de las emisiones de GEI. En este contexto, una introducción efectiva y cuidadosa de las prácticas de manejo de desechos, no solo se traduce en una mejora ambiental directa, sino que también promueve la sostenibilidad y resiliencia en la producción ganadera, contribuyendo así, a la mitigación del impacto climático.

#### **2.4. Energías renovables**

Las fuentes de energía renovables en la ganadería, así como los sistemas híbridos de energía solar y digestión anaeróbica, las tecnologías solares y de biogás son esenciales para reducir las emisiones, garantizar la eficiencia y los beneficios económicos y mejorar la sostenibilidad operativa y ambiental.

En este contexto se debe implementar energías renovables para mitigar el impacto ambiental en producciones ganaderas ya que como señala Constantine *et al.* (2023) la introducción de la digestión anaeróbica para la producción de biogás en granjas ganaderas puede proporcionar importantes beneficios ambientales y así, reducir significativamente el potencial de calentamiento global.

La mitigación de carbono es un tema importante por lo que Lopez *et al.* (2023) propone emplear la digestión anaeróbica combinada con el tratamiento de aguas residuales utilizando microalgas. Además, la implementación de la digestión anaeróbica abre la oportunidad de obtener créditos de carbono.

Sumado a lo anterior, Ouhammou *et al.* (2022) considera que la incorporación de la energía solar a diversos sistemas tecnológicos se está convirtiendo en una estrategia eficaz para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> centrándose en la aplicación de digestión anaeróbica con energía solar. Estos métodos evidencian un gran potencial para reducir las emisiones de GEI al convertir los desechos orgánicos en biogás, una valiosa fuente de energía renovable.

Igualmente, Hossein *et al.* (2022) realizó múltiples análisis en diferentes contextos con el objetivo de demostrar la contribución de la energía renovable a la producción ganadera. Los resultados obtenidos revelaron que la implementación de sistemas híbridos que combinan el uso de paneles solares y generadores de biogás, pueden ser sumamente efectivas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este enfoque no solo beneficia al medio ambiente al disminuir las emisiones, sino que también genera ahorros significativos en los

costos asociados a la producción ganadera.

Por otra parte, Nehra y Jain (2023) exponen en su artículo el potencial significativo del biogás como fuente de energía, centrándose en los hallazgos que resaltan la contribución clave de los grandes rumiantes, con su producción de residuos, a la generación de biogás. Al comparar el biogás con otras fuentes de energía como el gas licuado de petróleo, el keroseno, el diesel, la leña y la electricidad, concluyen que el biogás tiene la capacidad de sustituir a estas fuentes convencionales, generando no solo beneficios ambientales al reducir las emisiones, sino también ahorros económicos significativos.

Sin embargo, a pesar de que la energía solar genera un impacto positivo tiene ciertas falencias por lo que García *et al.* (2023) relata que el sistema propuesto, que combina paneles solares con un digestor anaeróbico para la producción de biogás, muestra un rendimiento sobresaliente y genera un ahorro económico significativo. No obstante, su eficiencia se ve afectada en condiciones climáticas extremas, lo cual limita la cantidad de energía disponible.

Pasando a otro punto Sharpe *et al.* (2020) plantea que el sistema solar ofrece una fuente de energía eléctrica que contribuye a disminuir la influencia negativa en el ambiente de la granja al reducir su huella de carbono. En el experimento realizado, empleó un sistema solar fotovoltaico como una forma de proveer sombra, el cual se encontraba instalado de manera permanente en el césped. Con este enfoque innovador se promueve no solo la sostenibilidad energética a través de la energía solar, sino que también mejora el bienestar animal en una producción.

De otra manera Onwosi *et al.* (2022) muestra como en la investigación que se desarrolló que las diferentes razas de ganado tienen un impacto en la producción de biogás a partir de los excrementos, siendo la dieta, el peso y los procesos metabólicos factores clave. La adición de sustancias orgánicas y una temperatura adecuada son elementos que potencian la generación de metano. La

composición de los desechos varía según la edad y la alimentación, siendo los carbohidratos beneficiosos y los lípidos y proteínas limitantes para el rendimiento del biogás.

Integrar fuentes de energía renovables como la solar y el biogás en la ganadería es esencial para aumentar la sostenibilidad y reducir las emisiones. A pesar de las preocupaciones climáticas, el biogás procedente de desechos de rumiantes tiene potencial. El uso de tecnologías especiales, como la digestión anaeróbica solar, tiene como objetivo promover una ganadería más sostenible

### 3. MARCO REFERENCIAL

Es pertinente mencionar, que la revisión de literatura está enfocada a contribuir al cumplimiento de las metas planteadas en el objetivo de desarrollo sostenible número 13 del 2015 denominado acción por el clima en el que se destaca la necesidad *de reducir de forma rápida, radical y sostenida las emisiones de los GEI en todos los sectores, y comenzar ahora mismo*. En el apartado de las metas del ODS 13 específicamente en la 13.2 se menciona que se deben incorporar medidas relativas al CC en las políticas, estrategias y planes nacionales y es precisamente lo que se desarrolla a lo largo de esta revisión (Naciones Unidas, 2023).

Abordar el ODS 13 en este contexto implica la implementación de prácticas sostenibles en la ganadería, tales como la reducción de emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, el fomento de la eficiencia energética, la gestión adecuada de residuos y la adopción de sistemas agrícolas más respetuosos con el entorno. La incorporación de acciones destinadas a mitigar el CC en la ganadería no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede tener impactos positivos a largo plazo en la calidad del aire y la salud pública.

Conscientes de esta premisa, se reconoce que en la industria ganadera es imprescindible establecer planes y estrategias fundamentados en políticas ambientales, que no solo minimicen el impacto ambiental, sino que también fomenten el desarrollo de la actividad

ganadera sostenible. Este ODS se convierte en un punto crucial en la revisión actual, dado que la ganadería, debido a su impacto en las emisiones de GEI, se posiciona como un aspecto fundamental en la lucha contra el CC.

Para la promoción de buenas prácticas de sostenibilidad tanto en la producción agrícola como ganadera a nivel mundial relacionados con la ganadería, la Global de Agricultura Sostenible (GAP), conocido como GLOBAL GAP, promueve un estándar voluntario de certificación para productos agrícolas a nivel mundial, basado en las Buenas Prácticas Agrícolas (GAP). Su objetivo primordial es fomentar prácticas agrícolas seguras y sostenibles mediante la colaboración, intercambio y diálogo entre países, armonizando y promoviendo estos principios a escala global (GLOBAL GAP, 2023).

En cuanto a la calidad del aire en el 2013 la FAO estimó que la huella de las emisiones de la ganadería a nivel mundial representa aproximadamente el 14.5% del total de las emisiones de GEI mundiales. Estas estimaciones se conocen como huella de carbono para medir los contaminantes que impactan la calidad del aire (De Maeztu, 2022). Para esto se utiliza la calculadora de emisiones GEI para cuantificar las emisiones producidas por organizaciones, empresas o individuos debido a sus actividades diarias relacionadas con la ganadería. El objetivo principal consiste en evaluar y comunicar la contribución de las prácticas administrativas al CC, para planificar estrategias que ayuden a reducir la emisión de GEI en la ganadería extensiva.

El CO<sub>2</sub>, aunque es el gas más abundante no es el único que está acumulándose en la atmósfera. En el sector ganadero abundan otros GEI como, por ejemplo, el óxido nitroso y el metano. Todos estos GEI tienen comportamientos muy distintos en la atmósfera (capacidad de calentamiento y vida media). En la producción ganadera no todos los GEI son generados por los animales. Esto quiere decir que existen emisiones indirectas como el uso de combustibles fósiles utilizados para otras actividades pecuarias (De Maeztu, 2022).

Por otra parte, como menciona el Área Metropolitana del Valle Aburrá (2023) otra herramienta empleada en la ganadería para evaluar los impactos consiste en el Análisis del Ciclo de Vida que considera los impactos de emisiones atmosféricas, consumo de recursos y cambios ambientales. Con esta herramienta se identifican los procesos productivos desde la adquisición de materias primas hasta la gestión de residuos, proporcionando una visión completa de su impacto ambiental.

En relación con las estrategias implementadas por la ganadería para mejorar la calidad del aire para la mitigación Gamboa *et al.* (2018), menciona que, en particular en la ganadería, especialmente los bovinos producen cantidades importantes de CH<sub>4</sub> en sus procesos de digestión normales por fermentación entérica. Reportando que del 6 al 10% de la energía bruta consumida por el animal se convierte en metano. La importancia de establecer lineamientos y políticas gubernamentales proporciona un marco claro y definido para la industria ganadera.

Estos lineamientos definen estándares, principios e indicadores que orientan las acciones del país y de la industria ganadera hacia la sustentabilidad, y brindan lineamientos concretos para adaptar las prácticas a un modelo más sustentable. Impulsar la transición del sector ganadero hacia un modelo más amigable con el medio ambiente a través de medidas gubernamentales que apoyen enfoques sostenibles, priorizando la reducción de las emisiones de GEI, la capacidad de adaptación al CC y el compromiso con la protección ambiental.

La importancia de establecer lineamientos y políticas gubernamentales proporciona un marco claro y definido para la industria ganadera. Estos lineamientos definen criterios, principios e indicadores que orientan la acción del Estado y del sector ganadero hacia la sostenibilidad, brindando directrices específicas sobre cómo deben adaptarse las prácticas hacia modelos más sostenibles. (Gamboa *et al.* 2018).

En Colombia, la Resolución 000126 de 2022 expedida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; tiene como propósito principal llevar a cabo la Política de Ganadería Bovina Sostenible. Esta política busca disminuir los impactos adversos producidos por la ganadería bovina en el entorno, específicamente en relación con la deforestación y la emisión de GEI. Su objetivo es fomentar prácticas ganaderas sostenibles a través de ajustes en los sistemas de producción y la promoción de un consumo responsable de los productos ganaderos. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

#### 4. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico adoptado para esta investigación es de naturaleza cualitativa ya que está guiada por áreas significativas de la investigación. Como Hernández Sampieri (2014) menciona, estas investigaciones están basadas más en una lógica y proceso inductivo (explorar y describir, y luego generar perspectivas teóricas) que van de lo particular a lo general y porque permite realizar la muestra, la recolección y el análisis de los datos de manera simultánea.

La recopilación de datos empleada se realiza mediante consulta en el sitio web *Science direct*, y fueron obtenidos mediante la utilización de palabras clave (tabla 2) como ganadería, GEI y calidad del aire.

**Tabla 2. Palabras clave**

PALABRA CLAVE	SINÓNIMOS	TRADUCCIÓN EN INGLÉS
Gases de efecto invernadero	Contaminación del aire Metano Óxido nitroso Dióxido de carbono	Air pollution Methane Carbon dioxide Nitrous oxide
Ganadería	Producción animal Cría de ganado	Animal Production Raising cattle
Calidad del aire	Contaminación ambiental Contaminación del aire	Environmental pollution Air pollution

(Fuente: elaboración propia)

Además, teniendo como referencia los criterios de inclusión y exclusión en los que se tienen en cuenta las ecuaciones de búsqueda (tabla 3) según los temas relacionados con la temática centrada en las estrategias de mitigación del impacto ambiental por emisión de GEI que generan la contaminación del aire por causa de la ganadería.

**Tabla 3. Ecuaciones de búsqueda**

ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA EN INGLÉS
("Sostenibilidad") y ("ganadería") y nivel mundial	("Sustainability and livestock") AND Worldwide
("Calidad del aire") y ("producción animal") y nivel mundial	("Air quality") and ("animal production") AND Worldwide
("Contaminación") y ("cría de ganado") y a nivel mundial	("Pollution and raising cattle") AND Worldwide
("Gases de efecto invernadero") y ("pasturas") y a nivel mundial	("Greenhouse gasses") and ("pastures") AND worldwide
("Gases de efecto invernadero") y (alimentación del ganado) y a nivel mundial	("Greenhouse gasses") and (livestock feeding) AND worldwide
("Huella de carbono") y ("ganadería") y a nivel mundial	("Carbon footprint") and ("livestock farming") AND worldwide
("ganadería") y ("energías renovables") y a nivel mundial	("livestock") and ("renewable energies") AND worldwide
("estrategias") y ("emisión de gases de efecto invernadero") y a nivel mundial	("strategies") and ("greenhouse gas emissions") AND worldwide

(Fuente: elaboración propia)

Los datos fueron analizados utilizando un enfoque temático hacia la emisión de GEI para identificar y categorizar las estrategias que contribuyan a la mejora de la calidad del aire a nivel mundial. Para esto se realizó un análisis detallado de autores que muestran diferencias en cuanto a las 4 categorías ya mencionadas.

Esta investigación está centrada en un espacio tiempo delimitado por los años 2020 al 2024. Este intervalo fue seleccionado debido a que es especialmente significativo por los retos y cambios sin precedentes enfrentados por la industria ganadera, principalmente derivados del CC desde todas sus perspectivas y la creciente presión para adoptar prácticas sostenibles que sean viables y no generen pérdidas económicas, pero sí un cambio ambiental significativo.

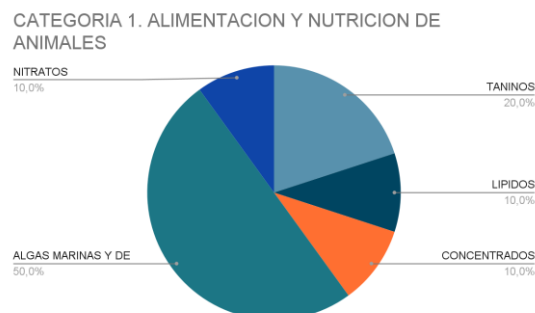
## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Resultados

En esta sección, se presentan los hallazgos clave derivados de un exhaustivo análisis del estado del arte sobre las estrategias realizadas en el sector ganadero para la mitigación de la emisión de GEI y por consiguiente, su contribución a la mejora de la calidad del aire. La revisión abarcó una diversidad de estudios y publicaciones, incluyendo artículos científicos en la base de datos *Science direct*, para proporcionar una comprensión integral sobre las estrategias más relevantes para la contribución del impacto ambiental, teniendo en cuenta que los GEI que genera la ganadería, son una de las causas de contaminación del aire a nivel mundial.

En la revisión se destacan cuatro categorías clave y de cada una las estrategias utilizadas: a.) alimentación y nutrición en los animales (Figura 1), b) Forrajes, pasturas y sistemas agroforestales (Figura 2), (c ) manejo de residuos (Figura 3) y d) energías renovables (Figura 4); que han recibido una atención considerable en la literatura para la visualización de los estudios sobre las estrategias ambientales relacionadas con los GEI en la ganadería y desde esta perspectiva se presenta el análisis correspondiente de la siguiente manera: (a) estrategias por fuente y región (tabla 4); (b) Estrategias para la Mitigación de GEI en la Producción Ganadera (tabla 5,6,7,8) y (c) Estrategias relacionadas con las metas del ODS 13-acción por el clima (tabla 9).

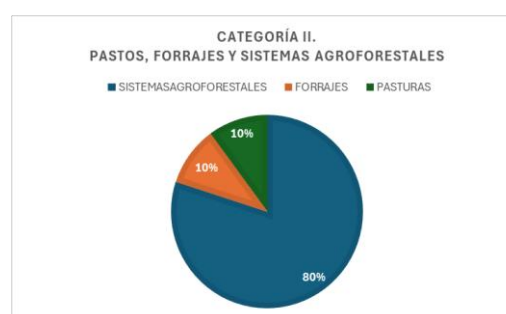
**Figura 1. Se presentan las estrategias en la dieta del ganado que se utilizan con mayor frecuencia para disminuir la emisión de GEI**



(Fuente: elaboración propia)

Así, se detalla en términos porcentuales la proporción de artículos dentro de esta categoría que se enfocan en aspectos particulares, como algas (50%), el uso de taninos (20%) suplementación con concentrados (10%) ingesta de lípidos (10%) ingestión de nitratos (10%) como alternativas efectivas para reducir el impacto ambiental mediante la suplementación en la dieta.

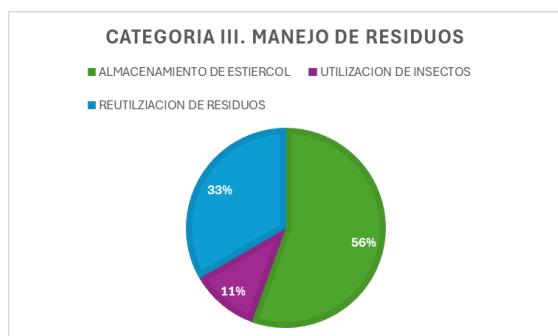
**Figura 2. Se exponen porcentajes que indican cantidad de artículos referentes a pastos, forrajes y sistemas agroforestales más utilizados como método de mitigación de GEI**



(Fuente: elaboración propia)

Lo anterior, destaca en porcentajes cuantos artículos de esta categoría hacen referencia a la implementación de estrategias como sistemas agroforestales (80%), forrajes (10%) y pasturas (10%), todos ellos relacionados con la mitigación del impacto ambiental y mejora de la calidad del aire.

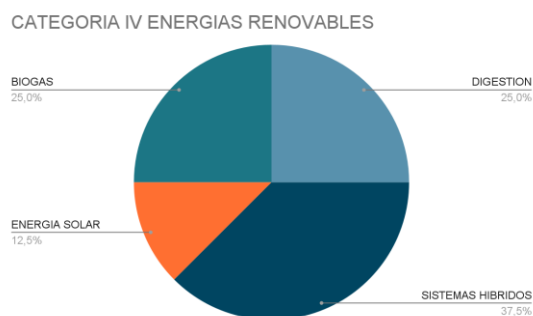
**Figura 3. Se muestra el porcentaje correspondiente a las estrategias manejo de residuos como estrategia de mitigación de GEI.**



(Fuente: elaboración propia)

De este modo, se especifica en valores porcentuales cuantos artículos de esta categoría hablan específicamente de almacenamiento de estiércol (56%), utilización de insectos (11%) y reutilización de residuos (33%) como estrategias viables para la mitigación del impacto ambiental.

**Figura 4. Categoría IV Presenta los estudios sobre energías renovables en la ganadería para la mitigación de gases de efecto invernadero según estrategias.**



(Fuente: elaboración propia)

La figura anterior demuestra la efectividad de un sistema híbrido (37,5%) que combina dos tipos de energía renovable, comparado con la digestión anaeróbica (25%) biogás (25%) y energía solar (12,5%) hacen de los sistemas híbridos energías de mejor calidad y resultados.

**(a) Estrategias por fuente y región**

La Tabla 4 resume las estrategias más relevantes específicas identificadas por fuente y región de cada una de las categorías proporcionando una visión general por continentes.

**Tabla 4. Análisis de estrategias más relevantes por categorías por ubicación geográfica**

FUENTE (Estudio/Artículo)	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	ESTRATEGIA DE MEJORA DE CALIDAD DEL AIRE
<b>a. Alimentación y nutrición de ganado</b>		
Narváez et al., (2024)	América del Sur	Uso de macroalgas para disminuir la producción carbono en bovinos
<b>b Pastos, forrajes y sistemas agroforestales</b>		
Datta et al., (2024)	Continente asiático	Agroforestería/Agrosilvicultura
Tolgyesi et al., (2023).	Continente europeo	Sumideros de carbono
<b>c. manejo de residuos</b>		
Yan, et al., (2023)	Continente asiático	Utilización de compostaje de canal como alternativa de disminución de GEI al aire.
<b>d. Energías renovables</b>		
Onwosi et al., (2022).	Continente Africano	Producción de Biogás proveniente del estiércol.

(Fuente: elaboración propia)

Los estudios revisados sugieren los avances tecnológicos más relevantes en distintos continentes del mundo como Europa, Asia y Oceanía, en los que se han implementado estrategias para cada categoría relacionada de índole significativa para la mitigación de GEI. Como el uso de macroalgas en la alimentación en Asia con el fin de disminuir las emisiones de C, en Europa la implementación de sistemas agroforestales que sirvan como sumideros de carbono o en África la utilización de biogás proveniente del tratamiento del estiércol.

**(b) Estrategias para la Mitigación de GEI en la Producción Ganadera**

La tabla 5 resume las estrategias específicas identificadas por beneficios en la alimentación del ganado bovino con el fin de disminuir o mitigar la producción de GEI como el CH<sub>4</sub> por parte de la ganadería.

**Tabla 5. Análisis temático sobre estrategias nutricionales, para la mitigación del metano en la producción ganadera.**

DESCRIPCIÓN	ESTRATEGIAS IDENTIFICADAS	FUENTES
<b>a. Algas y plantas como suplemento nutricional</b>		
Introducción de algas marinas, como <i>Asparagopsis taxiformis</i> y <i>Oedogonium sp</i> para mitigar emisiones de gases.	La introducción de algas y otra planta en la dieta y los beneficios para los bovinos.	Kinley et al., N. (2020)
Valioso suplemento nutricional para rumiantes, mejorando la calidad de la dieta y reduciendo la producción de metano.		Narváez et al., (2024).
Acción anti mutagénica y ser seguros para el consumo animal		Lester et al., (2023)
Se reduce la relación acetato-propionato, lo que indica una disminución en la formación de metano.		Min et al., (2021)
<b>b. Nitratos como suplemento en la dieta</b>		
Este compuesto se degrada en el rumen lo cual reduce la disponibilidad de hidrógeno para los metanógenos	Uso de nitratos en la dieta	Almeida et al., 2021)
Llevar a cabo un seguimiento ya que se pueden acumular nitratos y producirse metahemoglobinemia		
<b>c. Taninos como suplemento en la dieta</b>		
Tienen la capacidad de controlar la producción de amoníaco en el rumen, lo que sugiere que tienen un impacto en el metabolismo del nitrógeno del ganado	Implementación de taninos en la dieta	Brutti et al., (2023)
El incorporar en un mayor porcentaje el uso de taninos en la dieta puede significar un aumento en la mitigación de producción de gases a nivel ruminal, sin embargo, su uso excesivo puede traer consecuencias.		Fagundes et al., (2020)

(Fuente: elaboración propia)

Las tendencias más significativas y los avances observados en el campo nutricional subrayan la importancia de incluir diferentes suplementos en la dieta de los animales, para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub>. Entre estos, destacan: (a) algas y plantas (b) nitratos y (c) taninos caracterizados por sus propiedades anti-metanogénicas.

La tabla 6 resume las estrategias específicas identificadas por pastos, forrajes y sistemas agroforestales con el fin de disminuir o mitigar la producción de GEI generado en la ganadería.

**Tabla 6. Análisis temático sobre estrategias agroforestales, para la mitigación de GEI en la producción ganadera**

DESCRIPCIÓN	ESTRATEGIAS IDENTIFICADAS	FUENTES
<b>a. Implementación de forrajes</b>		
Plantación de trébol rojo	reducción la intensidad de las emisiones de GEI de los sistemas lácteos y de carne vacuna	Kearney et al. (2023).
<b>b. Implementación de pasturas</b>		
Plantación de raigrás	Favorece la absorción de nitrógeno del suelo	Vogeler et al., (2002).
<b>c. Implementación de sistemas agroforestales</b>		
sistemas-ganadero-forestales,	implementación de árboles en los potreros con el propósito de que sirvan de sumideros de carbono	Monteiro et al., (2023)
Agrosilvicultura		Datta et al., (2024)
sistema forestal		Reyes et al., (2022)
Setos y bosques		Fraser et al., (2022).

(Fuente: elaboración propia)

Lo anterior, destaca la importancia de los sistemas agroforestales en la ganadería, ya que, aunque se caracterizan por ser fuente de alimento para los animales también aportan directamente a la mitigación de GEI ya que son

capaces de captar y almacenar C reduciendo así el impacto en el medio ambiente.

**Tabla 7. Análisis temático sobre estrategias de manejo de residuos, para la mitigación de GEI en la producción ganadera.**

La tabla 7 resume las estrategias específicas identificadas por manejo de residuos en la ganadería con el fin de disminuir las emisiones de GEI.

DESCRIPCIÓN	ESTRATEGIAS IDENTIFICADAS	FUENTES
<b>a. Almacenamiento de estiércol</b>		
Almacenaje de estiércol líquido	Acidificación del pH como método de mitigación del metano	Herald et al, (2023)
<b>b. Utilización de insectos</b>		
Procesamiento de estiércol mosca soldado negra (BSF), <i>Hermetia illucens</i> (L.) o BSFL	biotransformación de desechos como el estiércol,	Ji-bin et al., (2021)
<b>c. Reutilización de residuos</b>		
Evitar la utilización de antibióticos	Evitar la liberación de Carbono, nitrógeno y fósforo,	Linfa et al., (2023)

(Fuente: elaboración propia)

Estas estrategias evidencian la importancia de realizar un manejo adecuado de los residuos de la ganadería como el estiércol, debido a que el mal manejo de este contribuye a la emisión de GEI.

**Tabla 8. Análisis temático sobre estrategias de energías renovables, para la mitigación de GEI en la producción ganadera.**

Proporciona una visión integral de estrategias clave para mitigar el impacto ambiental en producciones ganaderas, centrándose en la implementación de energías renovables.

DESCRIPCIÓN	ESTRATEGIAS	FUENTES
Implementación de energías renovables en producciones ganaderas	Digestión anaeróbica para producción de biogás en granjas ganaderas.	Constantine et al (2023)

	Incorporación de sistemas de energía renovable como la solar fotovoltaica.	
	Resultados muestran reducción del potencial de calentamiento global en un 12% y la escasez de recursos fósiles en un 35%.	
Mitigación de (GEI) mediante digestión anaeróbica y tratamiento de aguas residuales con microalgas	Empleo de digestión anaeróbica combinada con tratamiento de aguas residuales utilizando microalgas.	López et al (2023)
	Sistema centralizado de tratamiento de efluentes como solución viable.	
	Oportunidad de obtener créditos de carbono.	
Reducción de emisiones de CO2 mediante fermentación anaeróbica con energía solar	Incorporación de energía solar en sistemas tecnológicos, en particular en fermentación anaeróbica.	Ouhammo u et al (2022)
	Conversión de desechos orgánicos en biogás como fuente de energía renovable.	
	Potencial para reducir emisiones de (GEI).	
Uso de sistemas solares fotovoltaicos para reducir la huella de carbono en la granja	Empleo de sistemas solares fotovoltaicos para proveer energía eléctrica y reducir la huella de carbono.	Sharpe et al (2020)
	Mejora del bienestar animal mediante la instalación de sistemas solares como fuente de sombra permanente.	
Contribución de sistemas híbridos (paneles solares y generadores de biogás) a la reducción de emisiones	Implementación de sistemas híbridos con paneles solares y generadores de biogás.	Hossein et al (2022)
	Efectividad para reducir emisiones de GEI) y generar ahorros en costos de producción ganadera.	
Potencial del biogás generado a partir de residuos de grandes rumiantes	El potencial del biogás generado a partir de residuos de grandes rumiantes.	Nehra y Jain (2023)
	Comparación favorable del biogás con otras fuentes convencionales de energía en términos ambientales y económicos.	

Limitaciones de la energía solar en condiciones climáticas extremas	El sistema de paneles solares con digestor anaeróbico muestra rendimiento sobresaliente, pero se ve afectado en condiciones climáticas extremas.	García et al (2023)
	Eficiencia del sistema limitada en áreas rurales sin acceso a servicios básicos en condiciones climáticas extremas.	
Influencia de la dieta y factores metabólicos en la producción de biogás por diferentes razas de ganado	Impacto de la dieta, peso y procesos metabólicos en la producción de biogás a partir de excrementos de diferentes razas de ganado.	Onwosi et al (2022)
	La adición de sustancias orgánicas y temperatura adecuada potencian la generación de metano.	

(Fuente: elaboración propia)

La implementación de estrategias basadas en energías renovables, como la digestión anaeróbica y la integración de sistemas solares, proporciona soluciones efectivas para reducir las emisiones de la ganadería. Si bien los beneficios ambientales y económicos son claros, es muy importante considerar factores específicos como las limitaciones climáticas y la alimentación animal. Estas estrategias proporcionan un enfoque integral y adaptable para mejorar la sostenibilidad de la producción ganadera mediante la explotación del potencial de las fuentes de energía renovables.

### (c) Estrategias relacionadas con las metas del ODS 13 acción por el clima-

La tabla 9 resume las estrategias más relevantes seleccionadas por categorías, que están vinculadas con las metas del ODS 13 acción por el clima. Este objetivo subraya la necesidad de tomar medidas en cuanto al CC haciendo énfasis en la mitigación de la emisión de GEI.

**Tabla 9. Estrategias relacionadas con las metas del ODS 13 acción por el clima.**

ESTRATEGIA	RESULTADO GENERAL	FUENTE
ALIMENTACION Y NUTRICION DE LOS ANIMALES		

Adición de macroalgas rojas <i>Asparagopsis taxiformis</i> como ingrediente para reducir la producción de metano entérico en el ganado bovino.	Disminución en la producción de metano, con una reducción del 50 al 80%.	Kinley et al., (2020)
<b>PASTURAS, FORRAJES Y SISTEMAS AGROFORESTALES</b>		
Implementación de sistemas-ganadero-forestales como medida de mitigación de GEI.	Los sistemas de producción ganaderos habituales generan mayor cantidad de emisiones de GEI, en comparación con los sistemas que incluían forrajes.	Monteiro et al., (2023).
<b>MANEJO DE RESIDUOS</b>		
Evaluaciones de la biotransformación de desechos como el estiércol, con la mosca soldado-negra.	El procesamiento de estiércol BSFL	Ji-bin et al., (2021)
<b>ENERGIAS RENOVABLES</b>		
La integración de la energía solar en diversos sistemas tecnológicos se presenta como una estrategia eficaz para la reducción de las emisiones de CO2. En este contexto, se exploran técnicas específicas para el tratamiento de aguas residuales orgánicas, con un enfoque particular en la aplicación de la digestión anaeróbica impulsada por energía solar.	Reducción de las emisiones de GEI al convertir los desechos orgánicos en biogás, una valiosa fuente de energía renovable.	Ouhammou et al., (2022)

(Fuente: elaboración propia)

Los hallazgos muestran que el sector ganadero ha implementado, desde varias perspectivas, estrategias que contribuyen a la reducción de las emisiones de GEI y que están directamente relacionadas con las metas del ODS 1, específicamente en donde mencionan que se deben transformar los sistemas energéticos, industriales, de transporte, alimentarios, agrícolas y forestales.

### 5.2 Discusión de los Resultados:

Como se menciona en el primer apartado de este documento, la FAO (2018) y autores como Marín *et al.* (2022) identifican a la ganadería y sus diversas implicaciones como uno de los principales responsables de las emisiones de

GEI. En contraste, los resultados presentados destacan la variedad de enfoques adoptados en el sector ganadero. Estos enfoques varían desde el ámbito regional y los recursos en la alimentación de los animales, hasta aquellos directamente relacionados con el ODS 13 sobre acción por el clima y la efectividad de estas medidas, reflejando las estrategias implementadas para contribuir a la mitigación de las emisiones de GEI.

Por otra parte, los resultados observados en sector ganadero es uno de los principales en la emisión de GEI tiene la oportunidad de contribuir al medio ambiente implementando diferentes estrategias en sus sistemas de producción, no solo directamente con los animales, si no con sus fuentes de alimentación, maquinaria y manejo de residuos.

Por esta razón, las estrategias presentadas en este documento tales como: (a) estrategias por fuente y región; (b) Estrategias para la Mitigación de GEI en la Producción Ganadera; (c) Estrategias relacionadas con las metas del ODS 13-acción por el clima; (e) Efectividad de las estrategias empleadas por la industria ganadera, proponen alternativas sostenibles que permiten la mitigación del impacto ambiental sobre la calidad del aire, de no ser así, las medidas que debería adoptar el sector ganadero para lograr una disminución significativa serían radicales en cuanto a la disminución de cabezas de ganado y esto generaría sin duda pérdidas económicas y afectaría negativamente el desarrollo rural en general.

Es de resaltar que, aunque son planteadas varias de las estrategias que desarrollan en el sector ganadero para la mitigación del impacto ambiental, se reconoce que algunas son medidas que derivan de recursos financieros significativos, recursos con los que muchos países o pequeñas empresas no cuentan.

## 6. CONCLUSIONES

En la revisión de la literatura se pudo observar que el cambio climático vinculado a la emisión de GEI, es un tema de repercusión mundial, conforme avanza el tiempo se evidencian las consecuencias medioambientales a causa de

los diferentes sistemas de producción como el agropecuario.

En este sentido, la literatura indica que la cría de ganado y las estrategias para mitigar su impacto ambiental han sido cuestiones prioritarias en el periodo 2020-2024.

Las estrategias para el manejo de residuos, especialmente el estiércol, incluyen su almacenamiento y reutilización para reducir las emisiones de GEI. Las investigaciones destacan el uso de árboles y pasturas como sumideros de carbono para mitigar las emisiones de GEI de la ganadería. Además, se enfatiza el aprovechamiento de energías renovables mediante la digestión anaeróbica y la energía solar.

Para resumir, las nuevas estrategias a partir de tecnologías innovadoras permiten que la ganadería pueda disminuir notablemente las acciones indeseables en el medio ambiente como las emisiones de GEI debido a sus sistemas de producción, con la intención de que estas no tengan pérdidas económicas significativas y por ende, sean de contribución económica en el desarrollo de los países.

Hay que reconocer que el estudio presentado enfrenta importantes limitaciones, que apuntan principalmente a la falta de información disponible sobre este tema en América Latina. La falta de datos detallados en la región latinoamericana "LATAM" limita la generalización de los resultados y la aplicación directa de las estrategias identificadas al contexto latinoamericano. Esta brecha apunta a la necesidad de realizar más investigaciones específicas en la región para comprender mejor los desafíos y oportunidades locales para desarrollar estrategias más personalizadas y realistas con el fin de mejorar la sostenibilidad de la producción ganadera en Latinoamérica.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, H., Besson, C., Larson, R. (2023). Modeling ammonia emissions from manure in conventional, organic, and grazing dairy systems and practices to mitigate emissions. American Dairy Science Association.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030223006367>

Almeida, A., Hegarty, R., Cowie, A. (2021). Meta-analysis quantifying the potential of dietary additives and rumen modifiers for methane mitigation in ruminant production systems.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405654521001694>

American Economic Association. (2024). JEL classification Codes Guide. <https://www.aeaweb.org/jel/guide/jel.php>

Área Metropolitana del Valle de Aburrá METROPOL. (2023). Análisis de ciclo de vida. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20NO.%20000126%20DE%202022.pdf>

Beauchemin, K., Ungerfeld, E., Eckard, R., Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731119003100>

Beauchemin, K., Ungerfeld, E., Abdalla, A., Alvarez, C., Arndt, C., Becquet, P., Benchaar, C., Berndt, A., Mauricio, R., McAllister, T., Oyhantçabal, T., Salami A., Shalloo, L., Sun, Y., Tricarico, J., Uwizeye, A., Camillis, C., Bernoux, M., Robinson, T., Kebreab, E., (2022). Invited review: Current enteric methane mitigation options. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030222005999>

Brutti, D., Canozzi, M., Sartori E., Colombatto, D., Barcellos, J. (2023). Effects of the use of tannins on the ruminal fermentation of cattle: A meta-analysis and meta-regression. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840123002407?via%3Dihub>

Constantine, M., Provolo, G., Bacentti, J. (2023). The effects of incorporating renewable energy into the environmental footprint of beef production. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223033546?via%3Dihub>

Datta, P., Bahera, B., Bahdur, D. (2024). India's approach to agroforestry as an effective strategy in the context of climate change: An evaluation of 28 state climate change action plans. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X23002457>

Dawei, H., Xiangzheng, W., Fan, Zhang. (2023). Livestock greenhouse gas emission and mitigation potential in China. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030147972302282X>

De Maeztu, M. (2022). Ganadería y emisiones de gases de efecto invernadero. Basque centre for climate change. [https://info.bc3research.org/wp-content/uploads/2020/12/FACTSHEET\\_GANADERIA.pdf](https://info.bc3research.org/wp-content/uploads/2020/12/FACTSHEET_GANADERIA.pdf)

Doblas, A., Gallejones, P., Artetxe, A., Merino, P. (2023). Role of livestock-derived amendments in soil organic carbon stocks in forage crops. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723045564>

Duffy, C., O'Donoghue., Ryan, M., Styles, D., Spyillane, C. (2020). Afforestation: Replacing livestock emissions with carbon sequestration. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720304576>

Fagundes, G., Benetel, B., Welterb, K., Melo, F., Muir, J., Carriero, M., Souza, R., Meo-filho, P., Frighetto, R., Berndte, A., Bueno, I. (2020). Tannin as a natural rumen modifier to control methanogenesis in beef cattle T in tropical systems: Friend or foe to biogas energy production. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034528819313517?via%3Dihub>

Fei, W., Yi, F., Lixia, W., Hai, X., Guoshuang, C., Xiao, C., Di, Liu., Xinmiao, H., Rongzhen, Z. (2022). Effects of residual monensin in livestock manure on nitrogen transformation and microbial community during "crop straw feedingsubstrate-mushroom cultivation"

recycling system. Elsevier.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X2200318X>

Fraser, M., Vallin, H., Roberts, B. (2022). Animal board invited review: Grassland-based livestock farming and biodiversity. Elsevier. [Animal board invited review: Grassland-based livestock farming and biodiversity - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X2200318X)

Fundación Universitaria Agraria De Colombia UNIAGRARIA. (2023). Acuerdo No. 1061 de 2023. <https://www.uniagraria.edu.co/proyecto-educativo/>

Gamboa, J., Jimenez, G., Piñero, A., Conul, J., Albores, S., Villanueva, G., Nahed, J., Ku, J. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. Agroproductividad. <https://core.ac.uk/download/pdf/249319988.pdf>

García, A., Palomar, C., Torre, R., Redondo, D., Crespo, I. (2023). Hybridization of anaerobic digestion with solar energy: A solution for isolated livestock farms. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174523001447>

GLOBALG A.P.. (2023). Standard Setting. <https://www.globalgap.org/about/standard-setting/>

Global Reporting. (2016). GRI 305: emisiones 2016. GRI Standards. <https://www.globalreporting.org/standards/media/1452/spanish-gri-305-emissions-2016.pdf>

Herald, A., Frederik, D., Anders, F., Michael, K. (2023). Review: Additives and methods for the mitigation of methane emission from stored liquid manure. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511023000624>

Hernández-Sampieri. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. <https://perio.unlp.edu.ar/catedras/wp-content/uploads/sites/151/2021/08/Hernandez-Sampieri.-Metodologia-de-la-investigacion.pdf>

Hossein, M., Montazeri, M., Mousavi, S., Kargarzadeh, A. (2022). Reducing carbon emissions of industrial large livestock farms using hybrid renewable energy systems. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148122001586>

Ji-bin, Z., Jia, Z., Jia-hui, L., Tomerlin, J., Xiaopeng, X., Rehman, K., Min-min, C., Long-yu, Z., Zi-niu, Y. (2021). Black soldier fly: A new vista for livestock and poultry manure management. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311920634232>

Kearney, M., O'Riordan, E., Byrne, N., Breen, J., Crosson, P. (2023). Mitigation of greenhouse gas emissions in pasture-based dairy-beef production systems. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/hemeroteca.lasalle.edu.co/science/article/pii/S0308521X23001531>

Kinley, R., Martinez, G., Matthews, M., Nys, R., Magnusson, M., Tomkyns, N. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620308830?via%3Dihub>

Lester, R., Mac Queen, A., Armstrong, E., Dodemaide, D., Dwyer G., Mock T., Payne, S., Smith, M., Storen, M., Webb L. (2023). Can freshwater plants and algae act as an effective feed supplement to reduce methane emissions from ruminant livestock? <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723079263>

Linfa, F., Prakash, L., Xiaoxuan, S., Yujia, S., Zheng, C., Yu, Zhang., Wei, S., Junxi, W., Ran, X., Xinping, C. (2023). Impact of residual antibiotics on microbial decomposition of livestock manures in Eutric Regosol: Implications for sustainable nutrient recycling and soil carbon sequestration. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074223004758>

- Lopez, A., Silva, A., González, M., Diaz, D., Orozco, D., Novoa, I., González, J., Casillas, L., Gradilla, M. (2023). Valorization of livestock waste through combined anaerobic digestion and microalgae-based treatment in México: A techno-economic analysis for distributed biogas generation, animal feed production, and carbon credits trading. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186423003176>
- Lorente, A. (2010) ganadería y cambio climático: una influencia recíproca. Universidad de Alicante (España). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3419464.pdf>.
- Marín, D., Matamoros, i., Ramírez, C. (2022). Dinámicas de producción y emisiones moderadas de gases de efecto invernadero en sistemas regionales de producción lechera de Honduras. Elsevier. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmvz/v69n1/0120-2952-rfmvz-69-01-46.pdf>
- Min, B., Parker, D., Brauer, D., Waldrip, H., Lockard, C., Hales, K., Akbay, A., Augyte, S. (2021) The role of seaweed as a potential dietary supplementation for enteric methane mitigation in ruminants: Challenges and opportunities. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405654521001815>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Resolución 00126 de 2022. Por el cual se adoptan los lineamientos de Política de Ganadería Bovina Sostenible – GBS 2022 – 2050 y se dictan otras disposiciones. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20NO.%20000126%20DE%202022.pdf>
- Monteiro, A., Barreto, L., Fachone, A., Morgavi, D., Pedreira, B., Magalhaes., Abdalla, A., Eugène, M. (2023). Crop-livestock-forestry systems as a strategy for mitigating greenhouse gas emissions and enhancing the sustainability of forage-based livestock systems in the Amazon biome. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723060230>
- Morán, M. (2023). Bosques, desertificación y diversidad biológica - desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity>
- Naciones Unidas. (2013). Objetivos del desarrollo sostenible, objetivos y metas del desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Narváez, J., De La Hoz, J., Kannan, G., Bohórquez, J. (2024). Use of macroalgae as a nutritional supplement for sustainable production of ruminants: A Systematic review and an insight on the Colombian Caribbean region. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926423003922?via%3Dihub>
- Nehra, M., Jain, S. (2023). Estimation of renewable biogas energy potential from livestock manure: A case study of India. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589014X2300103>
- Onwosi, C., Ozoegwu, C., Nwagu, T., Nwobodo, T., Eke, I., Igbokwe, V., Ugwuoji, E., & Ugwuodo, C. (2022). Cattle manure as a sustainable bioenergy source: Prospects and environmental impacts of its utilization as a major feedstock in Nigeria. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589014X22002080>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2018). Soluciones ganaderas para el cambio climático <https://www.fao.org/3/I8098ES/i8098es.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2023). Síntesis – Ganadería y los Objetivos de Desarrollo Sostenible [https://www.livestockdialogue.org/fileadmin/templates/res\\_livestock/docs/2016/Panama/FAO-AGAL\\_synthesis\\_Panama\\_Livestock\\_and\\_SD\\_Gs\\_SP.pdf](https://www.livestockdialogue.org/fileadmin/templates/res_livestock/docs/2016/Panama/FAO-AGAL_synthesis_Panama_Livestock_and_SD_Gs_SP.pdf)

Ouhammou, B., Zohra, F., Frimane, A., Mohammed, A., Jamil, A., Kousksou, T. (2022). Modeling of a bio-methane solar system driven by solar energy and heat pump. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953422000393?via%3Dihub>

Quispe, A., Hinojosa, Y., Miranda, H., Sedano, C. (2021). Serie de Redacción Científica: Revisiones sistemáticas. Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2227-47312021000100017](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-47312021000100017)

Reyes, C., Aguilera, E., Llorente, M., Diaz, C., Moreno, G., Rodriguez, V. (2022). Carbon sequestration offsets a large share of GHG emissions in dehesa cattle production. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622015281>

Sharpe, K., Heins, J., Buchanan, E., Reese, M. (2020). Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18821>

Stefenoni, H., Räisänen, S., Cueva, S., Wasson, D., Lage, C., Melgar, A., Fetter, M., Smith, P., Hennessy, M., Vecchiarelli, B., Bender, J., Pitta, D., Cantrell, C., Yarish, C., Hristov, A. (2021). Effects of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030221000928>

Tolgyesi, C., Kelemen, A., Bátori, Z., Kiss, R., Hábenczyus, A., Havadtoi, K., Varga, A., Erdos, L., Frei, K., Toth, B., Torok, P. (2023). Maintaining scattered trees to boost carbon stock in temperate pastures does not compromise overall pasture quality for the livestock. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880923001366>

Torres, M., Sarkela, K., Koppelmaky, K., Lamminen, M., Tuomisto, H., Herzon, I. (2022). Contribution of High Nature Value farming

systems to sustainable livestock production: A case from Finland. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S048969722033642?via%3Dihub>

Vincenza, M., Valentini, R. (2020). A land-based approach for climate change mitigation in the livestock sector. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620346667>

Vogeler, I., Hansen, E., Thomsen, I. (2002). The effect of catch crops in spring barley on nitrate leaching and their fertilizer replacement value. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880922004315>

Yan, L., Ruolan, T., Liqiong, L., Guannan, Z., Jiani, W., Guoying, W., Ziyang, B., Ziming, Y., Guoxue, L., Jing, Y. (2023). A global meta-analysis of greenhouse gas emissions and carbon and nitrogen losses during livestock manure composting: influencing factors and mitigation strategies. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723025214>

Yuye, S., Yuning, F., Huai, C., Zilong, M., Chengpeng, H., Xiaofen, W., Scott, C., Ehsan, T., Yanjiang, C. (2023). New insights into the relationships between livestock grazing behaviors and soil organic carbon stock in an alpine grassland. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016788092300261X>