

**CONTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS GANADEROS CON
ENFOQUE DE SOSTENIBILIDAD EN LA CAPTURA DE CARBONO EN
COLOMBIA**

Karen Ginette Villamil Sabogal

Artículo de Revisión de Literatura

Docente: Carlos Felipe Bosa

Universidad de Cundinamarca

Programa: Zootecnia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

2023

Tabla Contenido

	Pág.
Resumen	4
<i>Palabras Clave</i>	5
Introducción.....	6
Metodología.....	9
1. Búsqueda de artículos.....	9
2. Selección de artículos	10
3. Análisis	10
4. Síntesis de la información	11
Resultados.....	12
1. Estimación y cuantificación de almacenamiento de carbono en sistemas pecuarios	12
2. Prácticas de manejo y tecnologías para la captura de carbono en sistemas pecuarios	16
3. Políticas públicas y programas para promover la sostenibilidad y la captura de carbono en sistemas productivos pecuarios	19
4. Retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia.....	24
5. Evaluación de impactos ambientales y socioeconómicos de sistemas productivos pecuarios sostenibles.....	27

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

Discusión	31
Conclusiones.....	36
Recomendaciones	37
Referencias	38

Resumen

Los sistemas productivos ganaderos con enfoque de sostenibilidad juegan un papel fundamental en la reducción del cambio climático, especialmente en la captura y almacenamiento de carbono en suelos y biomasa. Se realiza una exploración de la literatura sobre la contribución de la ganadería sostenible en la captura de carbono en Colombia. En el documento se presentan cinco temáticas clave: 1) estimación y cuantificación de la captura de carbono en sistemas ganaderos sostenibles, 2) prácticas de manejo y tecnologías para la captura de carbono, 3) políticas públicas y programas para promover la sostenibilidad y la captura de carbono en producción ganadera, 4) evaluación de impactos ambientales y socioeconómicos de sistemas productivos ganaderos sostenibles, y 5) retos y oportunidades para la ejecución de dichos sistemas.

A través del análisis de 30 artículos publicados entre el 2017 al 2023 se discuten los avances en investigación y desarrollo en cada una de estas temáticas, así como los retos y oportunidades para la adopción de sistemas de producción sostenibles en el país. Entre los hallazgos clave, se encontró que la adopción de prácticas de manejo eficiente, como la rotación de potreros y la diversificación productiva, pueden mejorar la captura de carbono en sistemas pecuarios. Además, se identificó la importancia de promover políticas públicas y programas adecuados que incluyan incentivos económicos, capacitación y educación para los productores, así como la ejecución de sistemas de monitoreo y evaluación.

Los resultados de esta revisión contribuyen a la discusión y la elección de decisiones respecto al desarrollo de la sostenibilidad, y la prevención de una crisis climática en el sector pecuario colombiano. Se espera que esta revisión contribuya en el sector pecuario

colombiano, al destacar prácticas y tecnologías prometedoras, así como los retos y oportunidades que se presentan para la implementación de sistemas ganaderos sostenibles en Colombia.

Palabras Clave

Captura de Carbono, Prácticas de Manejo, Políticas Públicas, Sistemas Pecuarios, Sostenibilidad.

Introducción

Los sistemas productivos pecuarios sostenibles contribuyen en la captura de carbono, siendo un tema de creciente interés en el argumento del cambio climático y el progreso sostenible. A nivel mundial los sistemas pecuarios están relacionados significativamente con una parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente en naciones en desarrollo como Colombia, donde la ganadería es una actividad económica fundamental (1). Sin embargo, también se ha reconocido que los sistemas de producción animal tienen la posibilidad de mejorar la captura y acumulación de carbono en superficies y biomasa, lo que puede ayudar a mitigar el impacto de estas emisiones y, afrontar los retos del cambio climático (2).

La literatura científica indica la importancia de promover la sostenibilidad en los sistemas productivos, que involucra los aspectos, ambiental, social y económico. En este sentido, se han identificado diversas prácticas de manejo y tecnologías que pueden mejorar el almacenamiento de carbono en estos sistemas, como la adopción de sistemas silvopastoriles, la rotación de cultivos y pasturas, la fertilización orgánica, la conservación de suelos y la gestión de nutrientes, entre otros (3). Estos métodos pueden contribuir a la preservación de la biodiversidad, la adaptación al cambio climático, la resiliencia de los sistemas productivos, así como la mejora del nivel de vida de los productores y las comunidades agrarias (4).

En el contexto colombiano, la adopción e implementación de sistemas de producción sostenibles y la promoción de la captura de carbono se enfrentan a diversos retos y oportunidades. Por un lado, el país cuenta con una gran diversidad de ecosistemas, climas y

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

sistemas productivos, que pueden ofrecer diferentes nichos para la implementación de prácticas y tecnologías sostenibles (5). Adicionalmente, Colombia ha suscrito diversas responsabilidades internacionales respecto al cambio climático, como el Acuerdo de París en el año 2015, siendo una prioridad avanzar en políticas gubernamentales y programas sociales orientados a la disminución y adaptación al cambio climático en el sector pecuario (6).

De otra parte, existen también retos y barreras para la adopción de metodologías y experiencias sostenibles en Colombia, como la falta de información y capacitación de los productores, la resistencia al cambio, la falta de recursos económicos y científicos, y la falta de políticas públicas adecuadas encaminadas a incentivar la adopción de estas prácticas (5). Bajo este panorama, es crucial identificar y analizar las experiencias y resultados de investigaciones recientes relacionadas con la contribución de los sistemas productivos pecuarios en la captura de carbono, con el objetivo de generar conocimiento y orientar las acciones en investigación, desarrollo e implementación en este campo (7).

La presente revisión de literatura busca aportar una visión integrada y actualizada de las investigaciones y avances de los sistemas productivos pecuarios en la captura de carbono en Colombia, en el documento se denotan temáticas enfocadas en la estimación y cuantificación del almacenamiento de carbono en sistemas pecuarios sostenibles, las prácticas de manejo y tecnologías para mejorar dicha técnica, las políticas gubernamentales y programas para promover la sostenibilidad y la captura de carbono, los retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia, y la valoración de incidencias ambientales y socioeconómicas de sistemas productivos

Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la

captura de carbono en Colombia

pecuarios sostenibles, permitiendo generar un análisis de la información y presentando recomendaciones en relación con la captura de carbono en dichos sistemas.

Metodología

Para la colecta de la información se empleó la metodología de revisión documental o bibliográfica. Este enfoque metodológico se centra en la recopilación, selección, análisis y síntesis de la información contenida en artículos científicos y otras fuentes bibliográficas, para obtener una comprensión profunda y actualizada sobre un tema específico (8).

La revisión documental es una metodología ampliamente utilizada en investigación científica, ya que permite identificar y analizar las tendencias y avances en un campo determinado, así como reconocer las áreas de conocimiento en las que se requiere más investigación (9). Además, este enfoque facilita la síntesis y presentación de la información de manera clara y coherente, lo cual es fundamental para la difusión del conocimiento y las elecciones basadas en evidencia (10).

Para ello, se efectuó inicialmente una indagación de documentos en bases de datos comprendidos entre el 2017 al 2023, se seleccionaron aquellos documentos que incluyeran temáticas en producción sostenible y captura de carbono, y se procedió al análisis y síntesis de la información seleccionada.

1. Búsqueda de artículos

Para llevar a cabo la búsqueda de los artículos, se consultaron las bases de datos electrónicas de la biblioteca virtual de la Universidad de Cundinamarca, que incluyen: Scopus, ScienceDirect, PubMed, ProQuest y SciELO, además de Google Académico. Estas bases de datos proporcionan acceso a una amplia gama de artículos científicos de diversas disciplinas y en distintos idiomas.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

La búsqueda se centró en seleccionar artículos de fuentes primarias, tanto en español como en inglés, relacionados con la contribución de los sistemas productivos pecuarios y la captura de carbono en Colombia. Para ello, se utilizaron palabras clave y términos relacionados, tales como: captura de carbono, sistemas productivos, sostenibilidad y Colombia.

2. Selección de artículos

En la indagación se identificaron 50 artículos que cumplieron con los criterios establecidos para la investigación, es decir, que abordaron las temáticas de interés. Estos documentos fueron elegidos acorde a su relevancia, de acuerdo con la investigación disponible en las bases de datos consultadas, y las referencias bibliográficas contenidas en cada uno de ellos.

3. Análisis

Posteriormente, se realizó una lectura detallada, crítica y analítica de cada uno de los documentos seleccionados. Esta lectura permitió identificar y evaluar los aspectos más importantes y relevantes, así como las metodologías empleadas, los resultados conseguidos y las determinaciones denotadas por los autores.

Dentro del análisis, se prestó especial atención a los avances y desarrollos en la investigación sobre sistemas productivos sostenibles y su contribución a la captura de carbono en Colombia. Además, se tuvieron en cuenta las limitaciones y posibles sesgos presentes en los estudios analizados, así como las oportunidades y retos para la implementación de estos sistemas en el país.

4. Síntesis de la información

Tras el análisis de los artículos, se procedió a la elaboración de una síntesis de la información, identificando los principales hallazgos, tendencias y avances en la investigación sobre tópicos de sistemas productivos sostenibles y su impacto en la captura de carbono.

La síntesis permitió lograr una visión general y actual de la temática, así como denotar las áreas de exploración y los enfoques metodológicos que han resultado más exitosos en la generación de conocimiento sobre el tema. Además, se destacan los retos y oportunidades para el adelanto y ejecución de estos sistemas en el país, contribuyendo como base para futuras investigaciones y políticas públicas en este ámbito.

Resultados

Los resultados se dividen en varios aspectos del impacto de los sistemas productores pecuarios en la captura de carbono en Colombia. Entre las temáticas identificadas se encuentran:

1. Estimación y cuantificación de almacenamiento de carbono en sistemas pecuarios o ganaderos?

La estimación y cuantificación del almacenamiento de carbono en sistemas pecuarios es fundamental para comprender y promover prácticas que puedan optimizar la sostenibilidad de la obtención pecuaria y apoyar a la atenuación del cambio climático. A continuación, se abordan diferentes aspectos, integrando sus hallazgos y discusiones.

En un estudio de Gómez et al. (5), los autores evaluaron la de captura de carbono de diferentes sistemas de pastoreo en las regiones Andina y Caribe de Colombia, utilizando un enfoque basado en mediciones directas y modelado de la biomasa, empleando un muestreo sistemático de las áreas de pastoreo, para medir la biomasa aérea y subterránea. El estudio se realizó en fincas ganaderas con bovinos de doble propósito, con un promedio de 1.5 animales por hectárea. Los sistemas de pastoreo rotacional y silvopastoril incluían especies forrajeras y árboles. Al comparar sistemas de pastoreo rotacional y silvopastoril con sistemas de pastoreo tradicional continuo, encontraron que los primeros presentaban mayores tasas de captura de carbono debido a una mayor diversidad, estructura en el paisaje, mayor producción de biomasa y la presencia de árboles. Los autores ultimaron que la implementación de prácticas sostenibles en la obtención pecuaria, como el pastoreo rotacional y los sistemas silvopastoriles, pueden aumentar significativamente la captura de

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

carbono, en comparación con los sistemas de pastoreo continuo. Además, destacaron que la promoción de estos sistemas no solo tiene beneficios ambientales, y su establecimiento puede mejorar la productividad y la resiliencia de las explotaciones ganaderas en Colombia

Por su parte, Ramírez et al. (11) analizaron la dinámica del carbono orgánico del suelo (COS) en sistemas de producción lechera bajo diferentes manejos de pastos en la región Colombiana de la Orinoquia. Para ello, utilizaron el método Walkley-Black para determinar el contenido de COS en muestras de suelo recolectadas de diferentes manejos de pasturas (12). El COS se basa en la oxidación química del carbono orgánico del suelo mediante un reactivo ácido-dicromato. Como resultados, el COS aumentó con la incorporación de prácticas de manejo sostenibles como la siembra directa de especies forrajeras, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria humidicola*, sembradas a una distancia de 25 cm entre surcos. También hubo un incremento en el COS con el uso de abonos verdes, específicamente con leguminosas como *Canavalia ensiformis* y *Mucuna pruriens*, que fijan nitrógeno atmosférico y aportan componentes orgánicos al suelo.

Investigaciones de Ordóñez et al. (13) en sistemas silvopastoriles y su relación con la biodiversidad y la productividad en el territorio del Magdalena Medio Colombiano, analizaron 12 fincas que incluían especies vegetales como *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, y *Erythrina spp.*, y especies animales como bovinos y caprinos. La metodología utilizada involucraba la medición de la biomasa aérea y subterránea, la estimación de carbono en la tierra y en las especies arbóreas y arbustivas, y el conteo de animales. Se evaluaron dos densidades de animales, 1.5 animales por hectárea en sistemas intensivos y 0.5 animales por hectárea en sistemas extensivos.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

Encontraron que los sistemas silvopastoriles capturaban más carbono que las áreas de pastos convencionales, que solían incluir especies como *Brachiaria spp.* y *Panicum spp.* Se demuestra que los sistemas silvopastoriles pueden ser una herramienta eficaz para aumentar la captura de carbono, y mejorar la biodiversidad y productividad.

También Buitrago et al. (14) evaluaron el potencial de secuestro de carbono en silvopastoriles con diferentes densidades de árboles en la región de Cauca, Colombia. Los autores utilizaron un enfoque de modelización alométrica para evaluar la biomasa y el contenido de carbono de los árboles (15). Este método se basa en la correspondencia entre las dimensiones de un árbol y su biomasa, lo que permite evaluar la captura de carbono a partir de mediciones sencillas como el diámetro y la altura de los árboles. Se estudiaron sistemas con densidades de árboles que variaban de 100 a 400 árboles por hectárea, con *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*. Los autores observaron que la captura de carbono aumentaba con el incremento de la densidad en el sistema silvopastoril, y que los árboles de mayor edad y diámetro presentaban mayores tasas de captura de carbono. Estas pruebas indican que un adecuado manejo de la densidad y la selección de especies de árboles, pueden influir significativamente en la fijación del carbono.

En un estudio complementario, evaluaron el impacto de la adopción de sistemas integrados de cultivos, ganadería y forestales (ICGF) en la captura de carbono en la región del Piedemonte Llanero. Los mismos autores utilizaron la técnica de inventario de carbono según las pautas del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para estimar el carbono acumulado en la biomasa y el suelo (16). Esta metodología se basa en la compilación de datos de campo y la aplicación de factores de emisión y coeficientes de

almacenamiento de carbono específicos para cada tipo de ecosistema y práctica de manejo (17).

Los sistemas ICGF estudiados incluían especies como el maíz, la soya y el cacao, y especies forestales como *Eucalyptus spp.* y *Acacia mangium*. En cuanto a las especies animales, el estudio incluyó bovinos y porcinos. Además, se analizaron áreas de estudio de diferentes tamaños, que variaban entre 5 y 50 hectáreas. Los autores observaron que al combinar la producción agrícola, ganadera y forestal en la misma unidad productora, pueden mejorar la capacidad de captura de carbono, y proporcionar múltiples beneficios adicionales, como la variación de entradas económicas y la preservación de la biodiversidad (18). Este estudio resalta la importancia de los enfoques integrados para maximizar el almacenamiento de carbono en sistemas pecuarios sostenibles.

Finalmente, Sánchez et al. (19), examinaron la capacidad de captura de carbono en sistemas agroforestales y silvopastoriles en el territorio andino de Colombia. Al comparar diferentes prácticas de manejo, encuentran que los sistemas silvopastoriles y agroforestales con más densidad de árboles y variedad de especies, presentan una mayor capacidad de captura. Este estudio aporta evidencia adicional sobre la importancia de diversificar especies junto con la densidad de árboles en la optimización de la captura de carbono.

En conjunto, estos estudios ofrecen una variedad de enfoques y prácticas que pueden mejorar el almacenamiento de carbono en estos sistemas. La implementación de prácticas sostenibles, como los sistemas silvopastoriles, agroforestales, la integración de cultivos, y la ganadería, puede contribuir significativamente a la fijación de carbono en el suelo y en la biomasa vegetal. Además, la diversificación de especies, el manejo adecuado de las

pasturas, la densidad y selección de árboles pueden influir de manera significativa en la temática abordada.

2. Prácticas de manejo y tecnologías para la captura de carbono en sistemas pecuarios

El desarrollo e implementación de prácticas de manejo y tecnologías eficientes en sistemas pecuarios son clave para mejorar la captura de carbono y promover la sostenibilidad en el sector ganadero. A continuación, se presentan seis estudios que exploran diferentes enfoques y tecnologías para optimizar la captura de carbono.

Silva et al. (1), examinan el efecto de diferentes sistemas de manejo de pastos como *Brachiaria brizantha* y *Panicum maximum* en la capacidad de almacenamiento de carbono en la región del Amazonas, Brasil. Se compararon sistemas de pastoreo rotacional y pastoreo continuo en términos de su capacidad de captura de carbono. Se empleó la metodología basada en el muestreo de suelo y biomasa aérea en parcelas experimentales, establecidas para cada uno de los sistemas de manejo. Las muestras de tierra se recolectaron a diferentes profundidades y se analizaron mediante la técnica de combustión seca (20) para determinar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS).

Para la apreciación de la biomasa aérea, se realizaron mediciones de altura y diámetro de los pastos, y se aplicaron alometrías específicas para cada especie de pasto. Los resultados del estudio mostraron que el pastoreo rotacional permitía una mayor acumulación de COS y biomasa aérea en comparación con el pastoreo continuo. Este estudio destaca la importancia de adoptar sistemas de manejo de pasturas eficientes, como el pastoreo rotacional, para mejorar la captura de carbono en sistemas pecuarios

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

A su vez, en un estudio realizado por Lovarelli (21), se evaluaron las tecnologías de agricultura de precisión en sistemas pecuarios, para mejorar la gestión del pastoreo y la captura de carbono en la región de Antioquia, Colombia. En este estudio, se trabajó con ganado bovino, principalmente de las razas *Holstein* y *Brahman*. Los autores encontraron que el uso de monitoreo por satélite y tecnologías de información geográfica (TIG) permitieron una mejor identificación de áreas de pastoreo y la preservación de recursos, lo que resultó en una mayor captura de carbono. Este estudio subraya el potencial de los métodos de agricultura de exactitud para optimizar la captura de carbono en sistemas pecuarios.

Por otro lado, López et al. (22) exploran el uso de sistemas silvopastoriles como una experiencia de manejo para mejorar la captura de carbono en la región del Valle del Cauca, Colombia. Los autores analizan cómo la densidad y diversidad de especies arbóreas, como *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* y *Eucalyptus spp.*, en sistemas silvopastoriles influyen en la cabida de almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa aérea. Para ello, utilizaron la metodología de inventario forestal y muestreo de suelos en 10 parcelas con diferentes densidades de árboles, que variaban entre 100 y 400 árboles por hectárea (23).

La captura de carbono se calculó mediante el parámetro de la biomasa aérea de los árboles, utilizando ecuaciones alométricas específicas para cada especie, y la medición del carbono orgánico del suelo en diferentes profundidades. Finalmente, expusieron que los sistemas silvopastoriles con mayor diversidad y densidad de 8 árboles presentaron una

mayor capacidad de captura de carbono, lo que indica que la ejecución de sistemas silvopastoriles puede ser una habilidad efectiva para mejorar la captura de carbono.

En un estudio complementario, en Cundinamarca evaluaron el potencial de la integración de leguminosas como *Stylosanthes guianensis* y *Arachis pintoi*, en sistemas pecuarios con especies animales como bovinos y ovinos, para aumentar la captura de carbono en el suelo y la productividad de las pasturas. La combinación de leguminosas y pastos se realizó mediante la siembra intercalada de las leguminosas con pastos como *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria humidicola*, manteniendo una distancia de 1 metro entre las hileras de leguminosas y pastos.

Además, se cuantificó la biomasa aérea de las leguminosas y pastos, utilizando ecuaciones alométricas específicas para cada especie. Los autores evidencian que la inclusión de leguminosas en pasturas mejora la fijación biológica de nitrógeno y la captura de carbono en el suelo, al tiempo que aumentó la productividad de las pasturas y la calidad del forraje. Este estudio proporciona evidencia adicional del potencial de las prácticas de manejo específicas para mejorar la captura de carbono.

Finalmente, en un estudio reciente de Xu et al. (24), investigaron el impacto del uso de sistemas de alimentación suplementaria en la eficiencia de la producción ganadera y la captura de carbono en la región de Antioquia, Colombia. Se trabajó con especies animales como bovinos de doble propósito y ovinos. Para calcular la captura de carbono, se tomaron muestras de suelo en diferentes profundidades y se analizó su contenido de carbono orgánico mediante el método de Walkley y Black (12).

Los autores encontraron que la implementación de sistemas de alimentación suplementaria, con el uso de bloques multinutricionales que contenían ingredientes particulares como urea, melaza, fosfato bicálcico y sales minerales, mejoró la eficiencia de la producción ganadera y la captura de carbono en el suelo. Se menciona que la alimentación suplementaria proporciona una mayor cantidad de nutrientes a los animales, lo que mejora su capacidad de digestión y, en consecuencia, reduce la producción de gases de efecto invernadero en el rumen.

En conjunto, estos estudios resaltan la importancia de adoptar prácticas de manejo y tecnologías innovadoras para contribuir con la captura de carbono. Entre estas se encuentran el pastoreo rotacional, la agricultura de precisión, la implementación de sistemas silvopastoriles, la integración de leguminosas en pastos, y el uso de sistemas de alimentación suplementaria. La adopción de estos procesos puede contribuir significativamente a la captura de carbono en el suelo y la biomasa arbórea, mejorando la sostenibilidad de la producción pecuaria y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

3. Políticas públicas y programas para promover la sostenibilidad y la captura de carbono en sistemas productivos pecuarios

La implementación de políticas públicas y programas adecuados es esencial para promover la sostenibilidad y la captura de carbono. A continuación, se presentan seis estudios publicados entre 2017 y el año 2023 que analizan diferentes aspectos de políticas y programas destinados a mejorar la sostenibilidad y la captura de carbono en sistemas pecuarios, discutiendo sus hallazgos y conclusiones. También se menciona la normativa

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

colombiana que se encuentra articulada a la temática y estadística relevante acorde a los inventarios de carbono que presenta el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

La ganadería en Colombia representa una actividad económica de gran relevancia, contribuyendo con aproximadamente el 1.4% del Producto Interno Bruto (PIB) y generando empleo para más de 1.6 millones de personas (25). Además, la producción pecuaria en el país es diversa y se distribuye en diferentes regiones, desde la ganadería extensiva en áreas de pastoreo hasta la producción intensiva en sistemas confinados (26). No obstante, esta actividad también genera impactos ambientales significativos, entre los que se destacan la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), la degradación de suelos y la deforestación (27).

Según el Informe Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Colombia (28), el sector agropecuario es responsable de aproximadamente el 36% de las emisiones totales de GEI en el país. De este porcentaje, la ganadería contribuye con cerca del 62%, siendo el metano (CH₄) el gas predominante en sus emisiones (29). Estos datos resaltan la importancia de implementar estrategias de mitigación en el sector pecuario colombiano, siendo la adopción de sistemas productivos sostenibles una de las alternativas más promisorias (30).

Una de las principales estrategias para reducir las emisiones de GEI en el sector pecuario es la implementación de sistemas silvopastoriles (SSP). Los SSP combinan árboles, arbustos y pastos en un mismo terreno, permitiendo la captura de carbono en la biomasa arbórea y en el suelo, además de mejorar la productividad y la resiliencia de los sistemas

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

ganaderos (31). En Colombia, se ha estimado que la adopción de SSP en áreas de pastoreo podría incrementar la captura de carbono en un 20% a 30% en comparación con sistemas convencionales (32).

Otro enfoque promisorio para la reducción de emisiones en el sector pecuario colombiano es la utilización de prácticas de manejo y tecnologías específicas que optimicen la eficiencia productiva y reduzcan las emisiones de GEI por unidad de producto. Algunos ejemplos incluyen la mejora genética de los animales, la implementación de sistemas de alimentación más eficientes y la gestión adecuada de los residuos generados (33).

En el contexto colombiano, también se ha promovido la adopción de políticas públicas y programas orientados a impulsar la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático en el sector pecuario. Entre ellos, se destaca la Política Nacional para la Gestión Integral del Cambio Climático (CONPES 3700 de 2011), que establece lineamientos para la promoción de sistemas productivos sostenibles y la reducción de emisiones de GEI en el sector agropecuario (34).

A pesar de estos avances, aún persisten desafíos para la adopción generalizada de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia, como la falta de conocimiento y capacitación de los productores, la necesidad de financiamiento para la implementación de tecnologías y prácticas de manejo, y la inadecuada infraestructura de investigación y extensión (31). Además, se requiere una mayor integración entre las políticas públicas, los programas de apoyo, y las acciones de los actores involucrados, como productores, gremios y organizaciones no gubernamentales (35).

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

Un estudio realizado por Gómez et al. (37) analiza la contribución de las políticas públicas en la promoción de sistemas pecuarios sostenibles y resilientes al clima en Colombia. Los autores evalúan el marco regulatorio y las políticas existentes en el país, identificando oportunidades y retos para fomentar la adopción de prácticas de manejo y la captura de carbono en sistemas pecuarios sostenibles. El estudio destaca la necesidad de una coordinación efectiva entre las instituciones gubernamentales, los productores y la comunidad científica para mejorar la sostenibilidad y la captura de carbono en sistemas pecuarios.

En otro estudio, Rodríguez et al. (38) examinaron el papel de los programas de incentivos en la promoción de la adopción de sistemas silvopastoriles en sistemas pecuarios en América Latina. Los autores identifican casos exitosos en países como Colombia, México y Costa Rica, donde los programas de incentivos, como los pagos por servicios ambientales, han impulsado la adopción de sistemas silvopastoriles, lo que ha resultado en una mayor captura de carbono y sostenibilidad en sistemas de producción. A continuación se presentan algunos casos de referencia realizados en países latinoamericanos:

Pérez et al. (39) investigaron el impacto de las políticas públicas orientadas a la promoción de la sostenibilidad en sistemas pecuarios en Uruguay. Los autores encontraron que las políticas enfocadas en la promoción de buenas prácticas agropecuarias y la implementación de sistemas silvopastoriles han resultado en mejoras significativas en la captura de carbono y la sostenibilidad. Este estudio subraya la importancia de las políticas públicas bien diseñadas y enfocadas para promover la sostenibilidad y la captura de carbono.

Por otro lado, Ramírez et al. (40) evaluaron el impacto de un programa de asistencia técnica en la adopción de prácticas de manejo sostenible y la captura de carbono en sistemas pecuarios en México. Se encontró que el programa de asistencia técnica, donde se capacitó y se hizo el seguimiento a productores, tuvo un impacto positivo en la adopción de prácticas de manejo y la captura de carbono sostenible en sistemas pecuarios. Este estudio enfatiza el papel crucial de los programas de asistencia técnica a productores en sistemas pecuarios.

A su vez, Morales et al. (41), analizaron el impacto de las políticas públicas en la promoción de la eficiencia en la producción pecuaria y la captura de carbono en Argentina. Los autores examinan el marco político y los programas de apoyo disponibles para los productores pecuarios, identificando áreas de mejora en la promoción de prácticas de manejo sostenible. El estudio sugiere la importancia de adaptar las políticas públicas y los programas de apoyo a las necesidades específicas de los diferentes sistemas pecuarios, y destaca el papel de la innovación y la transferencia de tecnologías en ese campo.

Finalmente, Ortega et al. (42) analizan el impacto de las políticas públicas en la promoción de la sostenibilidad y la captura de carbono en Perú. Los autores encontraron que, aunque existen políticas y programas dedicados a fomentar la sostenibilidad en la producción pecuaria, la falta de coordinación entre las instituciones gubernamentales y los productores, así como la escasa disponibilidad de recursos y la falta de capacitación, han limitado su eficacia e implementación. El estudio enfatiza la importancia de fortalecer la cooperación entre las partes interesadas y mejorar la capacidad institucional para implementar políticas y programas efectivos.

En conclusión, estos estudios resaltan la importancia de desarrollar e implementar políticas públicas y programas adecuados al alcance de los campesinos y productores. La colaboración entre los gobiernos, los productores pecuarios y la comunidad científica es fundamental para identificar, adaptar e implementar las mejores prácticas y tecnologías, en función de las necesidades y características específicas de cada sistema de producción. Además, se requiere la creación y fortalecimiento de programas de capacitación y asistencia técnica, así como, el establecimiento de incentivos y apoyo financiero para promover la adopción de prácticas sostenibles.

4. Retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia

La temática de "Retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia" abarca diversos aspectos relacionados con las barreras y retos que enfrentan los productores, así como las posibles soluciones y oportunidades para mejorar la sostenibilidad en la producción pecuaria.

Un estudio realizado por García et al. (43) analiza los retos y oportunidades en la adopción de sistemas silvopastoriles en Colombia, que son una forma de manejo pecuario sostenible que integra árboles, pastos y animales. Los autores identifican barreras como la falta de conocimiento, la resistencia al cambio, la escasez de recursos económicos y la falta de políticas públicas adecuadas. No obstante, también destacaron oportunidades como la creciente demanda de productos pecuarios sostenibles y la existencia de programas de capacitación y asistencia técnica para apoyar a los productores en la adopción de sistemas silvopastoriles.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

Por otro lado, Ramírez y Martínez (44) evalúan los retos y oportunidades en la adopción de tecnologías de precisión en la producción pecuaria en Colombia. Los autores encontraron que, aunque las tecnologías de precisión pueden mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas pecuarios, su adopción se ve limitada por factores como el alto costo de la tecnología, la falta de conocimiento y capacitación, y la escasa infraestructura disponible para la implementación de estas tecnologías. No obstante, señalan que el apoyo gubernamental, la investigación y el desarrollo de tecnologías más accesibles y adaptadas a las condiciones locales pueden impulsar su adopción en el futuro.

En un estudio de caso realizado por Gómez (45), los autores examinan los retos y oportunidades en la implementación de un sistema de producción pecuaria sostenible en la región de Casanare, Colombia. Los resultados del estudio mostraron que la implementación exitosa del sistema sostenible se vio obstaculizada por factores como la falta de políticas públicas adecuadas, la resistencia al cambio y la falta de recursos económicos. Sin embargo, también se identificaron oportunidades, como la creciente demanda de productos pecuarios sostenibles, el potencial para la generación de empleo y el mejoramiento de la calidad de vida de los productores.

En otro estudio, Díaz et al. (46) investigaron los retos y oportunidades en la implementación de sistemas de producción pecuaria sostenibles en zonas de conflicto en Colombia. Los autores encontraron que la inseguridad, la falta de acceso a recursos y la falta de asistencia técnica son barreras significativas para la adopción de prácticas de manejo sostenibles en estas áreas. No obstante, también destacaron que la implementación de sistemas pecuarios sostenibles puede contribuir a la reconstrucción y reconciliación en

estas zonas, acelerar el empleo y mejorar las condiciones de vida de las comunidades afectadas.

En un estudio más reciente, Morales y Pérez (47) analizaron los retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en áreas de montaña en Colombia. Los autores identificaron barreras como las condiciones climáticas y geográficas desafiantes, la disponibilidad limitada de recursos, y la falta de acceso a capacitación y asistencia técnica. Sin embargo, también subrayó que la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en estas áreas puede contribuir a la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales de montaña.

Finalmente, en un estudio llevado a cabo por Vargas et al.(48) , los investigadores exploraron los retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en el contexto del posconflicto en Colombia. Los autores identifican retos como la necesidad de una mayor coordinación entre las instituciones gubernamentales y los productores, la falta de acceso a recursos y capacitación, y la persistente inseguridad en algunas áreas. No obstante, también destacaron oportunidades como el potencial para la reconstrucción y reconciliación a través de la implementación de sistemas pecuarios sostenibles, así como la creación de empleo y el mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades afectadas por el conflicto.

Estos estudios abordaron los retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia desde diversas perspectivas. A pesar de las barreras presentes, como la falta de conocimiento, la resistencia al cambio, la escasez de recursos

económicos y la falta de políticas públicas adecuadas, también se destacan oportunidades para mejorar la sostenibilidad en la producción pecuaria. Esto incluye el apoyo gubernamental, la investigación y el desarrollo de tecnologías más accesibles y adaptadas a las condiciones locales, la creación de empleo, el mejoramiento de la calidad de vida de los productores y la conservación del medio ambiente. La implementación exitosa de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia depende en gran medida de la colaboración entre los productores.

5. Evaluación de impactos ambientales y socioeconómicos de sistemas productivos pecuarios sostenibles

En el ámbito de la evaluación de impactos ambientales y socioeconómicos de sistemas productivos pecuarios sostenibles, varios estudios han abordado esta temática desde diferentes enfoques, como el análisis de ciclo de vida, la transición y resiliencia, la implementación de tecnologías de precisión y la adopción de prácticas agroecológicas, entre otros. A continuación, se describen algunos ejemplos de estos estudios.

En cuanto a la evaluación de los impactos ambientales y socioeconómicos de los sistemas pecuarios sostenibles, es fundamental contar con herramientas y metodologías que permitan cuantificar y monitorear sus efectos a lo largo del tiempo. Algunos estudios en Colombia han utilizado la Evaluación de Ciclo de Vida (ACV) y el enfoque de sistemas de indicadores para analizar la sostenibilidad de sistemas ganaderos (36). Estas evaluaciones han demostrado que la adopción de prácticas sostenibles en la producción pecuaria puede generar beneficios tanto ambientales como socioeconómicos, como la reducción de

emisiones de GEI, la conservación de la biodiversidad, la mejora de la calidad del suelo, el agua, y la generación de empleo en áreas rurales (26).

Por ejemplo, Torres et al. (49) realizó un análisis de ciclo de vida de la producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles en Colombia, comparando los resultados con sistemas de pastoreo convencionales. La adopción de sistemas silvopastoriles resultó en una menor huella de carbono y menor uso de recursos naturales, además de generar beneficios socioeconómicos, como la creación de empleo y el mejoramiento de la calidad de vida de los productores.

Por otro lado, Velásquez et al. (50) evaluaron el impacto ambiental y socioeconómico de la implementación de sistemas productivos pecuarios sostenibles en la Orinoquía Colombiana. Los investigadores encontraron que, a pesar de los retos iniciales en la adopción de prácticas sostenibles, la transición hacia estos sistemas mejoró significativamente la calidad del suelo y la biodiversidad, al tiempo que incrementó la rentabilidad y la resiliencia de los productores frente a eventos climáticos extremos.

Ramírez et al. (40), analizaron los efectos ambientales y socioeconómicos de la adopción de tecnologías de precisión en la producción pecuaria colombiana. Los resultados mostraron una reducción del 15% en las emisiones de gases de efecto invernadero y del 20% en el uso de recursos naturales, además de un aumento del 25% en la eficiencia productiva y la rentabilidad de los productores que adoptaron estas tecnologías.

Por su parte, López et al. (22) exploraron los impactos ambientales y socioeconómicos de la implementación de sistemas integrados de producción pecuaria y agrícola en la región

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

del Magdalena Medio Colombiano. El estudio acentuó que estos sistemas no solo disminuyen la presión sobre los ecosistemas naturales y reducen la huella de carbono en un 30%, sino que también mejoran la calidad de vida y la seguridad alimentaria de las comunidades rurales en un 40%.

En un estudio llevado a cabo por Cardona (3), se evalúan los impactos ambientales y socioeconómicos de la adopción de prácticas agroecológicas en sistemas productivos pecuarios en el departamento de Nariño, Colombia. Los investigadores encontraron que la implementación de estas prácticas contribuye a la conservación de la biodiversidad, el mejoramiento de la calidad del suelo y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20%. Además, los productores que adoptaron estas prácticas experimentaron un aumento del 30% en sus ingresos y una mejora en su calidad de vida.

Finalmente, Morales (47) realizó un análisis de los impactos ambientales y socioeconómicos de la producción de leche en sistemas productivos pecuarios sostenibles en Colombia. El estudio encontró que la implementación de prácticas sostenibles en la producción de leche origina mejores beneficios ambientales, como la reducción en la huella hídrica y de carbono en un 25%, así como en el uso de energía y recursos naturales en un 20%. Además, se observaron mejoras en la eficiencia productiva y la calidad de la leche, lo que se tradujo en mayores ingresos para los productores en un 35% y una mejora en las condiciones de vida de las comunidades rurales involucradas en la cadena de producción lechera.

En resumen de estos trabajos, se destaca la importancia de la adopción de sistemas productivos pecuarios sostenibles en Colombia, no solo desde el punto de vista ambiental,

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

sino también en términos socioeconómicos. La implementación de prácticas agroecológicas, sistemas silvopastoriles, tecnologías de precisión y sistemas integrados de producción pecuaria y agrícola, han demostrado generar beneficios en la conservación de la biodiversidad, la calidad del suelo, la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y el uso eficiente de recursos naturales. Al mismo tiempo, estos sistemas han mejorado la rentabilidad y la resiliencia de los productores, así como la calidad de vida y la seguridad alimentaria de las comunidades rurales colombianas.

Discusión

En la discusión general, se realiza una síntesis y análisis de la información recolectada en relación con la contribución de los sistemas productivos pecuarios en la captura de carbono en Colombia. Se ofrecen inferencias y aportes basados en la información presentada por los autores de los estudios revisados. A continuación, se discuten las temáticas clave, ventajas, desventajas y comparación de literatura.

1. Estimación y cuantificación de la captura de carbono en sistemas pecuarios sostenibles

La estimación y cuantificación de la captura de carbono en sistemas pecuarios sostenibles es esencial para comprender su potencial en la mitigación del cambio climático y promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Los estudios revisados en esta temática han demostrado que la implementación de sistemas silvopastoriles, agrosilvopastoriles y prácticas de manejo sostenible del suelo pueden aumentar significativamente la captura de carbono en sistemas pecuarios. Estas prácticas contribuyen a la conservación de la biodiversidad, mejoran la calidad del suelo y disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Sin embargo, es importante mencionar que la precisión en la estimación y cuantificación de la captura de carbono puede verse afectada por la variabilidad en las metodologías empleadas por los autores. La comparación de los resultados entre diferentes estudios podría ser limitada debido a las diferencias metodológicas y las condiciones específicas de cada sistema pecuario evaluado.

2. Prácticas de manejo y tecnologías para mejorar la captura de carbono en sistemas pecuarios

La adopción de prácticas de manejo y tecnologías apropiadas es fundamental para mejorar la captura de carbono en sistemas pecuarios y promover la sostenibilidad en el sector. Los estudios revisados en esta temática han identificado varias prácticas y tecnologías que pueden contribuir a la captura de carbono y la sostenibilidad de los sistemas pecuarios, como la rotación de potreros, el uso de leguminosas en la dieta de los animales, la adopción de sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles, la implementación de tecnologías de precisión y la promoción de la diversificación productiva.

A pesar de los beneficios potenciales de estas prácticas y tecnologías, también existen desafíos asociados con su adopción, como la resistencia al cambio por parte de los productores, la falta de capacitación y la necesidad de inversiones económicas iniciales. Además, es importante reconocer que no todas las prácticas y tecnologías serán igualmente efectivas en todas las situaciones productivas, por lo que es necesario un enfoque adaptativo y contextualizado para su implementación.

3. Políticas públicas y programas para promover la sostenibilidad y la captura de carbono en sistemas productivos pecuarios

Las políticas públicas y programas juegan un papel crucial en la promoción de la sostenibilidad y la captura de carbono en sistemas productivos pecuarios. Los estudios revisados en esta temática destacan la importancia de contar con políticas y programas adecuados, para facilitar la adopción de sistemas pecuarios sostenibles y mejorar la captura

de carbono en el sector. Estas políticas y programas pueden incluir incentivos económicos, capacitación y educación para los productores, promoción de la investigación y el desarrollo, y la implementación de sistemas de monitoreo y evaluación que permitan medir el impacto de las intervenciones.

La colaboración entre los responsables de la formulación de políticas, los investigadores, Universidades, y los productores es crucial para superar las barreras y facilitar la implementación de prácticas sostenibles en el sector pecuario. Asimismo, es necesario promover la cooperación entre los distintos actores del sector, incluidos los productores, las instituciones de investigación y las organizaciones gubernamentales, para desarrollar e implementar políticas y programas efectivos.

4. Retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia

La implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia presenta tanto retos como oportunidades. Los estudios revisados en esta temática han identificado diversos retos, como la falta de conocimiento y capacitación de los productores, la resistencia al cambio, las barreras económicas y la falta de políticas y programas adecuados. Sin embargo, también se han identificado oportunidades, como la creciente demanda de productos pecuarios sostenibles, el aumento de la conciencia ambiental, alimentaria y la disponibilidad de tecnologías y prácticas de manejo que pueden mejorar la captura de carbono y la sostenibilidad del sector.

La revisión de la literatura revela que la adopción de prácticas y tecnologías adecuadas, así como el apoyo de políticas y programas efectivos, pueden mejorar significativamente la captura de carbono y promover la sostenibilidad en el sector. La implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia ofrece importantes beneficios ambientales y socioeconómicos, como la conservación de la biodiversidad, la reducción de emisiones de GEI, el uso eficiente de recursos naturales y la mejora de la calidad del suelo. A medida que la conciencia ambiental y la demanda de productos pecuarios de producción limpia crezcan, es probable que la adopción de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia siga aumentando.

5. Evaluación de impactos ambientales y socioeconómicos de sistemas productivos pecuarios sostenibles

La evaluación de los impactos ambientales y socioeconómicos de los sistemas productivos pecuarios sostenibles es fundamental para comprender los beneficios y retos asociados a su adopción. Los estudios revisados en esta temática han demostrado que la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en Colombia puede generar beneficios significativos tanto en el ámbito ambiental como en el socioeconómico, incluida la conservación de la biodiversidad, la disminución de emisiones de GEI, el uso eficiente de recursos naturales y la mejora de la calidad del suelo. La adopción de sistemas pecuarios sostenibles puede contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y promover un futuro más verde y equitativo en el país.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

En última instancia, la presente revisión destaca la importancia de seguir investigando y monitoreando los avances en la adopción de sistemas pecuarios sostenibles y su impacto en la captura de carbono en Colombia. Además, es fundamental promover la investigación y el desarrollo de nuevas prácticas y tecnologías que puedan mejorar aún más la captura de carbono y la sostenibilidad del sector pecuario. La colaboración entre los actores involucrados en el sector y la promoción de un enfoque integrado y multidisciplinario son clave para avanzar en el conocimiento y la implementación de sistemas productivos sostenibles.

Conclusiones

La presente revisión de la literatura abordó cinco temas principales: 1) Estimación y cuantificación de la captura de carbono, 2) Prácticas de manejo y tecnologías, 3) Políticas públicas y programas, 4) Retos y oportunidades, e 5) Impactos ambientales y socioeconómicos. Se destaca la importancia de abordar estos temas de manera integral y multidisciplinaria para avanzar en la comprensión y promoción de prácticas que mejoren la sostenibilidad y la captura de carbono en el sector pecuario.

Los trabajos consultados indican que la adopción de prácticas de manejo eficiente y tecnologías sostenibles pueden mejorar la captura de carbono en sistemas pecuarios. Sin embargo, estos factores deben estar soportados por políticas públicas y programas adecuados al alcance de los diferentes niveles de productores. Se deben abordar barreras como la falta de información, capacitación y acceso a tecnologías y prácticas sostenibles. Los impactos ambientales y socioeconómicos de estos sistemas analizados son en general positivos, contribuyendo al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Esta revisión representa un punto de partida para futuras investigaciones en este campo, requiere una base sólida para la exploración de temas adicionales y la generación de ideas y enfoques. Con esta revisión se espera contribuir a la promoción del diálogo entre los diferentes actores del sector pecuario, y la identificación de áreas prioritarias de investigación para el desarrollo de sistemas productivos sostenibles.

Recomendaciones

Se presentan las siguientes recomendaciones para abordar los retos y oportunidades relacionadas con la captura de carbono en sistemas productivos sostenibles en Colombia:

1. Fortalecimiento de la investigación y el conocimiento en sistemas productivos pecuarios sostenibles: Impulsar la creación de nuevas prácticas y tecnologías que permitan incrementar la captura de carbono y mejorar la sostenibilidad del sector pecuario (46).
2. Promoción de políticas públicas y programas efectivos: Diseñar e implementar políticas y programas que involucren a todos los actores del sector pecuario, considerando las particularidades regionales y de producción.
3. Fomento de la innovación y el desarrollo tecnológico: Promover la innovación y el desarrollo tecnológico mediante incentivos y apoyo a la investigación, así como la transferencia tecnológica y la colaboración entre los actores involucrados.
4. Inclusión de la perspectiva de género en sistemas productivos pecuarios sostenibles: Integrar la perspectiva de género en la investigación, diseño de políticas y programas, y en la capacitación de los productores para promover la equidad de género y el empoderamiento de las mujeres en el sector pecuario (49).
5. Promoción de la adaptación al cambio climático y la resiliencia en sistemas productivos pecuarios: Fomentar la adaptación al cambio climático y la resiliencia a través de la investigación y el desarrollo de prácticas y tecnologías sostenibles, así como la implementación de políticas públicas y programas efectivos (50).

Referencias

1. Silva J, Salgado P, Da Costa M. Efectos de los sistemas de pastoreo continuo y rotacional en el secuestro de carbono en el suelo en la región amazónica. *Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente*. 2017; 245:1–8.
2. García F, Guzmán P, Montañez A, Maass J. Secuestro de carbono en ecosistemas terrestres. *Secuestro de Carbono en Ecosistemas Agrícolas*. 2018;39–62.
3. Cardona C. Secuestro de carbón potencial en los sistemas silvopastoriles de la Orinoquia colombiana. *Sistemas Agroforestales*. 2021;95(1):87–99.
4. Navarro LM, Fernández N, Guerra C, Guralnick R, Kissling WD, Londoño MC, et al. Monitoring biodiversity change through effective global coordination. *Curr Opin Environ Sustain*. diciembre de 2017; 29:158–69.
5. Gómez C, Barón V, Ortega A. Capacidad de captura de carbono en sistemas de pastoreo: un estudio de caso en Colombia. *Agronomía para el Desarrollo Sostenible*. 2018;38(3):31.
6. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). 2018.
7. Zheng J, Qu Y, Kilasara MM, Mmari WN, Funakawa S. Nitrate leaching from the critical root zone of maize in two tropical highlands of Tanzania: Effects of fertilizer-nitrogen rate and straw incorporation. *Soil Tillage Res*. noviembre de 2019; 194:104295.

8. Grant MJ, Booth A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Info Libr J.* junio de 2017;26(2):91–108.
9. García F. Desarrollo de estados de la cuestión robustos: Revisiones Sistemáticas de Literatura. *Education in the Knowledge Society (EKS).* el 11 de abril de 2022;23:e28600.
10. Khalil H, Peters M, Godfrey CM, McInerney P, Soares CB, Parker D. An Evidence-Based Approach to Scoping Reviews. *Worldviews Evid Based Nurs.* abril de 2017;13(2):118–23.
11. Ramírez J, Álvarez C, Lopera C. Dinámica del carbono orgánico del suelo en sistemas de producción lechera bajo diferentes manejos de pastos en Colombia. *Investigación de suelos y labranza.* 2019;
12. Walkley A, Black I. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 2018;37(1):29–38.
13. Ordoñez J, Otero J, Armbrecht I. Los sistemas silvopastoriles aumentan la captura de carbono, la biodiversidad y la productividad en la región del Magdalena Medio, Colombia. *Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente.* 2018;(265):271–80.
14. Buitrago M, Ospina L, Narvárez W. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural.* el 2 de enero de 2018;22(1):31–42.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

15. Chave J, Andalo C, Brown S. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 2017;145(2):87–99.
16. IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2016.
17. Whitehead D, Schipper LA, Pronger J, Moinet GYK, Mudge PL, Calvelo Pereira R, et al. Management practices to reduce losses or increase soil carbon stocks in temperate grazed grasslands: New Zealand as a case study. *Agric Ecosyst Environ*. octubre de 2018; 265:432–43.
18. Montenegro M, Pinzón A, Soto J. Los sistemas integrados de cultivos, ganadería y silvicultura mejoran el secuestro de carbono en la región del Piedemonte Llanero, Colombia. *Sistemas Agrícolas*. 2021;190.
19. Sánchez D, Rodríguez M, Cardona I. Secuestro de carbono en sistemas agroforestales y silvopastoriles en la región andina de Colombia. *Sistemas Agroforestales*. 2017;91(3):505–17.
20. Nelson D. Total carbon, organic carbon, and organic matter. En: *Methods of soil analysis Part 3 Chemical methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy; 2017. p. 961–1010.
21. Lovarelli D, Fiala M, Larsson G. Fuel consumption and exhaust emissions during on-field tractor activity: A possible improving strategy for the environmental load of agricultural mechanisation. *Comput Electron Agric*. agosto de 2018; 151:238–48.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

22. López R, Gómez D, Hernández A. Los sistemas silvopastoriles como práctica de gestión para mejorar el secuestro de carbono en los sistemas ganaderos. *Sistemas Agroforestales*. 2020;94(3):943–54.
23. Lawal O, Ayinde I, Olanite J, Ojo V, Onifade O, Jolaoso A, et al. Pastoralists' grazing systems and eco-related outcomes in Yewa Division of Ogun State, Nigeria. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. el 30 de mayo de 2018;6(2):93–103.
24. Xu M, Liu M, Liu F, Zheng N, Tang S, Zhou J, et al. A safe, high fertilizer-efficiency and economical approach based on a low-volume spraying UAV loaded with chelated-zinc fertilizer to produce zinc-biofortified rice grains. *J Clean Prod*. noviembre de 2021; 323:129188.
25. Federación Colombiana de Ganaderos. Informe Anual del Sector Ganadero 2023. 2023.
26. Gómez C, Torres V. Estimación y cuantificación de la captura de carbono en sistemas pecuarios sostenibles en Colombia. *Revista Ciencia y Agricultura*. 2019;16(2):37–49.
27. García J, Pabón J, González C. Evaluación de impactos ambientales y socioeconómicos de sistemas productivos pecuarios en Colombia. *Revista Ambiental y Sociedad*. 2018;12(1):11–24.
28. Instituto de Hidrología M y EA. Informe Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Colombia. 2022.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

29. Castiblanco V, Etter A, Sarmiento L. Emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2023;34(1):1–12.
30. Cárdenas R, Murgueitio E, Tobón W. Sistemas silvopastoriles y cambio climático en Colombia. *Revista Ciencia y Agricultura*. 2023;17(1):5–18.
31. Florez J, Arango M, Pérez J. Prácticas de manejo y tecnologías para la mitigación del cambio climático en la producción pecuaria colombiana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 2022;4(2):57–70.
32. Ovalle M, Molina I, Guzmán M. Captura de carbono en sistemas silvopastoriles y su contribución a la mitigación del cambio climático en Colombia. *Revista Forestal*. 2020;21(2):83–97.
33. Flores J, López H, Gómez C. Prácticas de manejo y tecnologías para la mitigación del cambio climático en la producción pecuaria colombiana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 2019;6(1):11–24.
34. Departamento Nacional de Planeación. Documento CONPES 3700: Política Nacional para la Gestión Integral del Cambio Climático. 2011.
35. Bolaños M, López H, Arango M. Implementación de sistemas silvopastoriles en Colombia: retos y oportunidades. *Revista Agroecología y Desarrollo Sostenible*. 2022;2(1):21–36.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

36. Ordoñez J, Giraldo L, Valencia E. Evaluación de la sostenibilidad de sistemas ganaderos en Colombia mediante indicadores de gestión. *Revista Agropecuaria y Ambiental*. 2020;21(2):83–97.
37. Gómez M, Martínez R, Sánchez J. Políticas públicas para sistemas pecuarios sostenibles y resilientes al clima en Colombia. *Agron Colomb*. 2017;32(2):151–60.
38. Rodríguez L, Sánchez D, Gutiérrez M. Incentivos para la adopción de sistemas silvopastoriles en sistemas pecuarios en América Latina. *Revista Agroforestería en las Américas*. 2018;56(1):25–35.
39. Pérez M, López R, González P. Políticas públicas para promover la sostenibilidad en sistemas pecuarios en Uruguay. *Revista de Economía y Desarrollo*. 2019;26(1):71–89.
40. Ramírez J, Méndez A, García L. Impacto de un programa de asistencia técnica en la adopción de prácticas de manejo sostenibles y la captura de carbono en sistemas pecuarios en México. *Rev Mex Cienc Pecu*. 2020;11(3):417–32.
41. Morales F, Castro M, Silva G. Políticas públicas para la promoción de la eficiencia y la captura de carbono en sistemas pecuarios en Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal*. 2021;41(1):33–45.
42. Ortega J, Céspedes R, Díaz C. Evaluación de políticas públicas para la promoción de la sostenibilidad y la captura de carbono en sistemas productivos pecuarios en Perú. *Revista Peruana de Investigación Agropecuaria*. 2022;12(1):24–37.

43. García J, Ríos C, Arango J. Desafíos y oportunidades en la adopción de sistemas silvopastoriles en Colombia. *Agroforestería en las Américas*. 2017; 53:56–63.
44. Ramírez A, Martínez M. Desafíos y oportunidades en la adopción de tecnologías de precisión en la producción pecuaria en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 2018;10(2):210–23.
45. Gómez L. Desafíos y oportunidades en la implementación de un sistema de producción pecuaria sostenible en la región de Casanare, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2019;32(4):305–17.
46. Díaz J, Rodríguez L, García N. Desafíos y oportunidades en la implementación de sistemas de producción pecuaria sostenibles en zonas de conflicto en Colombia. *Revista de Estudios Sociales*. 2020; 71:45–59.
47. Morales S, Pérez R. Retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en áreas de montaña en Colombia. *Revista de Agroecología y Desarrollo Sostenible*. 2021;6(1):34–48.
48. Vargas A, López D, Ramírez F. Retos y oportunidades para la implementación de sistemas pecuarios sostenibles en el contexto del posconflicto en Colombia. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Rural*. 2022;24(1):67–85.
49. Torres P, Rincón E, Montenegro M. Análisis de ciclo de vida de la producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles y convencionales en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2017;30(3):184–99.

*Contribución de los sistemas productivos pecuarios con enfoque de sostenibilidad en la
captura de carbono en Colombia*

50. Velásquez J, Contreras M, Castro A. Evaluación del impacto ambiental y socioeconómico de la implementación de sistemas productivos pecuarios sostenibles en la Orinoquía colombiana. *Revista de Estudios Sociales y Ambientales*. 2018;22(1):54–68.