

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS
FORRAJEROS TRADICIONALES Y CON TECNOLOGÍA DE LA GANADERÍA DE
MEXICO Y COLOMBIA.



ERIC ESTEBAN CESPEDES MILLAN
JUAN JOSE PARRADO TORRES



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS AGOPECUARIAS
VILLAVICENCIO

2024

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS
FORRAJEROS TRADICIONALES Y CON TECNOLOGÍA DE LA GANADERÍA DE
MEXICO Y COLOMBIA.

ERIC ESTEBAN CESPEDES MILLAN
JUAN JOSE PARRADO TORRES

Monografía de Seminario Internacional de Profundización (Sistematización de experiencias)
como requisito para optar al título de Administrador de Empresas Agropecuarias

Asesor
Ing. Esp. REINALDO ORTIZ BUITRAGO
Especialista en Recuperación de suelos contaminados

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS AGROPECUARIAS
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria Seccional Villavicencio

P. Kimmeln Noarli Cardenal CASAS, O.P.

Decano de División de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables

Mg. Mario Fernando PRIETO DELGADILLO

Decano Facultad Administración de Empresas Agropecuarias

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por contribuir en mi desarrollo como profesional siempre dándome todo su apoyo en los diferentes momentos, también agradecer a los docentes partícipes de mi formación como profesional, sembrando bases fundamentales para el excelente desarrollo como estudiante y futuro profesional.

Juan José Parrado Torres

A cada persona que ha sido parte de este viaje académico, les expreso mi más profunda gratitud. Este trabajo no es solo el resultado de horas de investigación y dedicación, sino también el fruto de un camino compartido con aquellos que me han acompañado, inspirado y sostenido. A mi familia, pilares fundamentales. A los profesores, que más allá de transmitir conocimiento, me han enseñado a pensar de forma crítica. Finalmente, a mis amigos y compañeros que han sido una red de contención y fuente de motivación en momentos difíciles.

Eric Esteban Cespedes Millan

Contenido

	Pág.
Resumen.....	7
Abstract	8
Prólogo.....	9
1. Introducción	12
2. Objetivos	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. Desarrollo.....	14
3.1 Ganadería en México y Colombia: Panorama general.	15
3.2 Sistemas forrajeros: Definición y tipos.....	17
3.3 Impacto ambiental de la ganadería.	19
3.4 Caracterización de los sistemas forrajeros implementados en México y Colombia.....	20
3.4.1 Sistemas Forrajeros en México: Panorama General.	21
3.4.2 Sistemas Forrajeros en Colombia: Características Distintivas.	21
3.4.3 Análisis Comparativo México-Colombia.	22
3.5 Impacto Ambiental de los Modelos de Alimentación Ganadera	22
3.5.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	22
3.5.2 Uso de Recursos Hídricos.....	23
3.5.3 Transformación y Biodiversidad	23
3.5.4 Degradación y Conservación de Suelos	24
3.5.5 Perspectiva Comparativa México-Colombia.....	24
3.6 Análisis comparativo de viabilidad económica y ambiental	24
3.6.1 Costos de Producción	25
3.6.2 Productividad y Rendimiento	25
3.6.3 Análisis de Rentabilidad	25
3.6.4 Viabilidad Ambiental.....	26
3.6.5 Factores de Adopción	26
3.6.6 Sistemas forrajeros innovadores en México y Colombia	26
3.6.7 Cambio climático y su impacto en los sistemas forrajeros.....	28

3.6.9 Perspectivas futuras.	30
Conclusiones	33
Recomendaciones	34
Referencias Bibliográficas	35

Resumen

Los sistemas forrajeros en México y Colombia representan un componente fundamental de la producción ganadera, caracterizados por una diversidad de estrategias que van desde modelos tradicionales extensivos hasta sistemas innovadores con alto componente tecnológico. La investigación analiza integral y comparativamente estos sistemas, considerando sus particularidades en dos contextos nacionales con características geográficas y climáticas distintivas. En México, predominan pasturas naturales en zonas áridas, con sistemas que evolucionan desde modelos extensivos hacia estrategias semi-intensivas, especialmente en estados como Jalisco, Chihuahua y Puebla. Colombia, por su parte, muestra mayor innovación con sistemas silvopastoriles en regiones tropicales como Antioquia y Cauca, integrando árboles y arbustos para optimizar la producción forrajera. Ambos países comparten desafíos en términos de sostenibilidad ambiental, eficiencia productiva y adaptación tecnológica. Los sistemas forrajeros se configuran como espacios de transformación continua, donde la investigación científica, el mejoramiento genético y las estrategias de manejo sostenible se constituyen como elementos centrales para enfrentar los requerimientos de una ganadería moderna que debe equilibrar productividad, conservación ambiental y viabilidad económica.

Palabras clave: Sistemas forrajeros, ganadería, México, Colombia, sostenibilidad, innovación tecnológica

Línea de investigación: Monografía de Seminario Internacional de Profundización

Abstract

Forage systems in Mexico and Colombia represent a fundamental component of livestock production, characterized by a diversity of strategies ranging from traditional extensive models to innovative systems with high technological components. The research comprehensively and comparatively analyzes these systems, considering their particularities in two national contexts with distinctive geographical and climatic characteristics. In Mexico, natural pastures predominate in arid zones, with systems evolving from extensive models towards semi-intensive strategies, especially in states like Jalisco and Chihuahua. Colombia, on the other hand, shows greater innovation with silvopastoral systems in tropical regions such as Antioquia and Cauca, integrating trees and shrubs to optimize forage production. Both countries share challenges in terms of environmental sustainability, productive efficiency, and technological adaptation. Forage systems are configured as spaces of continuous transformation, where scientific research, genetic improvement, and sustainable management strategies constitute central elements to address the requirements of modern livestock farming that must balance productivity, environmental conservation, and economic viability.

Keywords: Forage systems, livestock, Mexico, Colombia, sustainability, technological innovation

Research line: Monograph of the International Deepening Seminar

Prólogo

Este trabajo es parte de los productos generados a partir de la movilidad internacional 2024 desarrollada por el Programa de Administración de Empresas Agropecuarias con el apoyo de la Dirección de Relaciones Internacionales de la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio. Esta movilidad se realizó bajo la figura de Seminario de Profundización Internacional (SPI) que se ejecutó del 20 al 24 de mayo en Puebla – México. El SPI estuvo bajo de la Universidad Tecnológica de Huejotzingo, desarrollándose el siguiente programa: Día 1 20 de mayo: Conversatorio de Economía Social dirigido por la Dra. Adriana Guevara, experta en este campo de la referida universidad, día 2 21 de mayo: Creación de marca y taller del Modelo Lienzo Canvas, día 3 22 de mayo: Visita a la Planta de Producción de Bimbo en Puebla, día 4 23 de mayo: Visita a la empresa de lácteos Tamariz y día 5: Tour cultural, religioso y gastronómico en la ciudad de Puebla.

A partir de la experiencia vivida en esta movilidad internacional, surge la idea de realizar esta monografía que analiza de una manera comparativa los sistemas forrajeros que, implementados en el estado de Puebla, México frente a los sistemas forrajeros implementados en el departamento del Meta, Colombia, haciendo énfasis en su impacto ambiental y económico. Sin embargo, también se consideró la viabilidad de adaptación que se pueda asociar al lugar de estudio. En este Seminario de Profundización Internacional, especialmente en la visita realizada a la empresa TAMARIZ, se logró observar diferentes modelos de implementación relacionada a la dieta que establecen para la ganadería estabulada con la que trabajan, aunado a los diferentes sistemas de innovación tecnológica de una gran relevancia ya que se trata de tecnologías avanzadas.

La visita realizada a la planta de producción de Bimbo proporcionó una imagen totalmente diferente a la que se tenía de una planta como esta, resaltando la gestión eficiente de los diferentes procesos productivos que realiza a gran escala, aunque esta gran empresa no está directamente relacionada con la ganadería, sus sistemas de control de calidad y eficiencia ofrecen productos de alta calidad, logrando abarcar una gran parte de este mercado mexicano. Mencionando a Colombia, Bimbo, también tiene un gran mercado nacional con estos productos que si bien, cambian teniendo en cuenta el mercado, este factor se ve reflejado en el nombre de los productos y/o en el producto

final, ya que para cada país esto puede tener un significado diferente dependiendo del entorno en que se desarrollen los productos destinados al cliente final.

Algunos de los procesos que se visualizaron en esta empresa forman parte de su sistema integral de gestión, abarcando desde las materias primas hasta el producto final mediante la automatización de los procesos productivos y el control de calidad en tiempo real, aspecto fundamental ya que antes de llegar los productos al proceso de empaque, son previamente revisados, de tal manera que la disposición del producto final ha pasado por un control estricto de calidad, contribuyendo así a la eficiencia de los recursos, minimizando la cantidad de desperdicios en el proceso.

La visita a la empresa TAMARIZ representó una gran experiencia, permitiendo observar de primera mano la implementación de sistema forrajeros innovadores en un entorno de producción sostenible; esta empresa se destaca por su enfoque integral que combina la tecnología con las prácticas ganaderas sostenibles, estableciendo estándares de calidad en la industria mexicana.

El proceso de levante en TAMARIZ se caracteriza por ser un sistema de alimentación altamente sofisticado que así mismo integra múltiples componentes de calidad. La implementación de dietas balanceadas constituye uno de los muchos pilares que hacen de esta empresa una de las mejores en el mercado mexicano, donde se incorporan diferentes fuentes de proteína cuidadosamente seleccionadas para optimizar el desarrollo animal. Este proceso se complementa con un control meticuloso de raciones y suplementos, adaptados específicamente a las necesidades nutricionales de cada una de estas etapas de desarrollo del ganado, específicamente en el levante de terneras y producción lechera, lo que permite maximizar la eficiencia en la conservación alimenticia y crecimiento de los rumiantes.

Estas dietas que son proporcionadas en TAMARIZ representan un gran ejemplo de la integración de tecnología y conocimiento especializado de estos sistemas forrajeros. Esta empresa mediante un sistema avanzado establece el balance nutricional, que de una u otra manera permite ajustar las formulaciones en tiempo real según los requerimientos específicos del ganado y la disposición de estos forrajes. Esto no solo ayuda en la nutrición animal, sino que además optimiza los costos operativos, maximizando los beneficios productivos, generando en el mercado y en la industria un modelo de negocio sostenible y eficiente.

En este tema de las innovaciones tecnológicas, sobresale los sistemas de monitoreo, este control de la alimentación garantiza la precisión en las distribuciones de raciones, mientras que el seguimiento individual del ganado permite una trazabilidad completa en el proceso productivo, el registro digital de los parámetros productivos facilita la recopilación y análisis de datos fundamentales para la toma de decisiones, donde esto permite ajustes precisos en los protocolos de manejo y alimentación.

Esta experiencia en TAMARIZ ayuda a comprender como la integración exitosa de la tecnológica con las prácticas ganaderas tradicionales puede resultar en un modelo de producción altamente eficiente y sostenible, esta gran empresa no solo ha logrado optimizar sus procesos productivos, sino que también ha implementado un paradigma de innovación en la industria ganadera mexicana, demostrando que es posible alcanzar altos niveles de productividad mientras se mantiene un compromiso con los estándares establecidos en torno a la sostenibilidad ambiental y el bienestar animal, este modelo de negocio demuestra que la inversión e implementación en tecnología mejora la eficiencia en la actividad comercial generando beneficios rentables.

1. Introducción

La ganadería constituye uno de los pilares fundamentales en la economía tanto de México como de Colombia, representando no solo una fuente de empleo para el sector agropecuario sino también un sector clave para la seguridad alimentaria de ambas naciones. Esto debido a la importancia del sector en la cadena de comercialización en el cual se hace participe logrando características de calidad distintivas en el mercado de cada país, con sus diferentes registros de calidad y certificaciones que en si enmarcan el objetivo de comercializar con calidad todo lo relevante al sector ganadero. En la actualidad, el sector ganadero enfrenta demasiados desafíos, como la necesidad de aumentar la productividad hasta la implementación de prácticas que sean sostenibles ambientalmente entorno a que esta productividad sea confiable no solo para el mercado nacional sino para la canasta familiar.

En esta gran búsqueda de diferentes métodos que lleguen a hacer eficientes y sostenibles para la alimentación del ganado ha llevado a que se implemente diversos sistemas forrajeros, cada uno con sus propias implicaciones ambientales, económicas y nutricionales. Esta monografía explora los métodos tradicionales y las innovaciones tecnológicas en el sector, basándose en la experiencia obtenida durante el seminario internacional que se realizó en el estado de Puebla, México.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar el impacto ambiental y económico de los sistemas forrajeros tradicionales e innovadores en la ganadería mexicana y colombiana, a partir de la experiencia del Seminario de Profundización Internacional en Puebla - México.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los sistemas forrajeros implementados en México y Colombia.
- Evaluar el impacto ambiental de diferentes modelos de alimentación ganadera.
- Determinar la viabilidad ambiental y económica de los sistemas tradicionales con respecto a los sistemas Innovadores.

3. Desarrollo

La ganadería en México y Colombia representa un sector estratégico para la economía regional, caracterizado por sistemas forrajeros que enfrentan desafíos ambientales y económicos significativos (Rodríguez-Martínez, 2022). Las investigaciones recientes revelan que estos sistemas productivos ocupan aproximadamente entre el 38% y 40% de la superficie agrícola en ambos países, configurando un escenario complejo donde la sostenibilidad y la eficiencia productiva se entrelazan de manera crítica.

El impacto ambiental de los sistemas forrajeros tradicionales es particularmente preocupante. Estudios demuestran que cerca del 60% de las zonas ganaderas sufren procesos de degradación de pastizales, lo que compromete no solo la capacidad productiva sino también los ecosistemas asociados (Hernández-López, 2020). La contribución de estos sistemas a las emisiones de gases de efecto invernadero alcanza aproximadamente el 14.5% de las emisiones globales, evidenciando la necesidad urgente de implementar estrategias de mitigación y transformación tecnológica (Valencia-Ruiz, 2021). Por otra parte, se conoce que implementar estas estrategias es necesario en pro de proteger el medio ambiente y con ello contribuir a la sostenibilidad de esta actividad, considerando que estas estrategias son necesarias para mitigar los impactos ambientales de la actividad ganadera.

Desde una perspectiva económica, la ineficiencia de los sistemas forrajeros tradicionales representa un obstáculo significativo para la competitividad ganadera. Las investigaciones de Martínez-Castellanos (2022) indican que la modernización e implementación de tecnologías de precisión pueden aumentar la productividad hasta un 40% y reducir costos operativos en un 25%. Este potencial de mejora sugiere que la inversión en innovación constituye una estrategia fundamental para la sostenibilidad del sector. Los sistemas silvopastoriles, caracterizados por la incorporación de árboles y arbustos en las zonas de pastoreo, representan una innovación prometedora (Gómez-Cabrera et al., 2021). Estos sistemas no solo mejoran la productividad ganadera, sino que también contribuyen a la conservación de la biodiversidad, la recuperación de suelos degradados y la captura de carbono, generando beneficios ambientales y económicos simultáneos.

El mejoramiento genético de pasturas y la implementación de tecnologías de precisión para la gestión de pastizales se presentan como líneas de intervención estratégicas. Estas

aproximaciones permiten optimizar el uso de recursos, reducir el impacto ambiental y aumentar la eficiencia productiva. La integración de herramientas como sensores remotos, análisis de datos y sistemas de monitoreo continuo posibilita una gestión más precisa y sostenible de los sistemas forrajeros. La transformación de los sistemas forrajeros en México y Colombia requiere un enfoque multidimensional que integre aspectos tecnológicos, económicos y ambientales. La colaboración entre instituciones académicas, sector gubernamental y productores ganaderos resulta fundamental para desarrollar e implementar soluciones innovadoras que garanticen la sostenibilidad del sector ganadero. (Gómez-Cabrera et al., 2021).

3.1 Ganadería en México y Colombia: Panorama general.

La ganadería constituye uno de los pilares fundamentales del sector agropecuario tanto en México como en Colombia, representando no solo una actividad económica crucial sino también un elemento cultural y social profundamente arraigado en ambas naciones. Según el análisis del Banco Mundial (2022), estos dos países se posicionan como actores relevantes en la producción ganadera latinoamericana, cada uno con sus particularidades y desafíos específicos, pero compartiendo también numerosas características y retos comunes.

México, que ocupa el tercer lugar en población ganadera en América Latina, cuenta con una extensión aproximada de 109.8 millones de hectáreas dedicadas a la actividad ganadera, lo que representa cerca del 56% del territorio nacional (INEGI, 2023). De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2023), esta actividad contribuye con aproximadamente el 4% al PIB nacional y genera más de 1.5 millones de empleos directos. El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023) reporta que el inventario ganadero mexicano alcanza los 35.2 millones de cabezas de ganado bovino, con una producción anual de carne que supera los 2.1 millones de toneladas.

La distribución geográfica de la ganadería en México muestra una clara diferenciación regional, con estados como Veracruz, Jalisco, Chiapas, Chihuahua y Sonora liderando la producción nacional (SAGARPA, 2022). Cada región ha desarrollado sistemas de producción adaptados a sus condiciones particulares, desde la ganadería extensiva tradicional en las zonas tropicales hasta los sistemas intensivos altamente tecnificados en el norte del país.

Por su parte, Colombia se posiciona como el cuarto productor de carne bovina en América Latina, según la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN, 2023), con 34.4 millones de hectáreas destinadas a la ganadería, representando aproximadamente el 30% del territorio nacional. El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2023) reporta que el sector ganadero colombiano aporta el 3.6% al PIB nacional y genera alrededor de 810,000 empleos directos, con un inventario de 28.8 millones de cabezas de ganado y una producción anual de carne de 1.8 millones de toneladas.

La Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2023) indica que la ganadería colombiana se concentra principalmente en los departamentos de Antioquia, Córdoba, Casanare, Meta y Santander, regiones que han desarrollado una importante tradición ganadera y que cuentan con condiciones agroecológicas favorables para esta actividad. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, 2022) señala que el sistema de producción predominante es el extensivo tradicional, aunque en los últimos años se ha observado una tendencia hacia la intensificación y la implementación de sistemas silvopastoriles.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) destaca que, en ambos países, la modernización del sector ganadero ha sido impulsada por la necesidad de mejorar la competitividad y cumplir con los estándares internacionales de calidad. México ha implementado el sistema Tipo Inspección Federal (TIF) y diversos programas de certificación que garantizan la calidad e inocuidad de los productos cárnicos (SADER, 2023). De manera similar, Colombia ha desarrollado el sistema de Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) y certificaciones del ICA, que buscan elevar los estándares de producción y facilitar el acceso a mercados internacionales (FEDEGAN, 2023).

Los desafíos que enfrenta el sector ganadero en ambos países son similares y están relacionados principalmente con el cambio climático, la sostenibilidad ambiental y la competitividad (Banco Mundial, 2022). Las sequías prolongadas, la variabilidad en las precipitaciones y la degradación de pasturas representan amenazas significativas para la producción ganadera. El CIAT (2022), enfatiza que la deforestación asociada a la expansión ganadera y las emisiones de gases de efecto invernadero son temas de creciente preocupación que requieren atención inmediata.

SAGARPA (2022), proyecta que la innovación tecnológica representa una oportunidad significativa para el desarrollo del sector. La digitalización de procesos, el mejoramiento genético y la implementación de tecnologías de precisión están transformando la manera en que se gestiona la producción ganadera. Estas innovaciones permiten un mejor control de los procesos productivos, una mayor eficiencia en el uso de recursos y una mejora en la calidad de los productos.

El futuro de la ganadería en México y Colombia dependerá en gran medida de su capacidad para adaptarse a los cambios globales y adoptar prácticas más sostenibles (FAO, 2022). La modernización del sector, la implementación de tecnologías innovadoras y el desarrollo de estrategias de producción ambientalmente responsables serán fundamentales para garantizar su viabilidad a largo plazo.

3.2 Sistemas forrajeros: Definición y tipos.

Los sistemas forrajeros representan el pilar fundamental de la producción ganadera sostenible, donde se tiene en cuenta la interacción de factores biológicos y técnicos que proporcionan alimentación animal de manera eficiente y claramente sostenible. Según Pérez-Ramírez, J., et al. (2022, pag-322) estos sistemas se definen como “la integración estructurada de componentes y prácticas que permiten la producción, conservación y utilización estratégica de forrajes para la alimentación animal, considerando las particularidades ambientales, económicas y socioculturales de cada región”. Es por ello por lo que se debe tener en cuenta a la hora de evaluar todos estos sistemas el ambiente del cual son propios, ya que por las características ambientales pueden variar las especies, las características organolépticas y demás que pueden ayudar de manera sostenible a la implementación de estas prácticas ganaderas.

Los sistemas forrajeros constituyen la base fundamental de la producción ganadera sostenible, representando estructuras complejas que integran elementos biológicos, tecnológicos y de gestión orientados a la producción de forraje para la alimentación animal. La diversidad de estos sistemas refleja la adaptación a diferentes condiciones ambientales, económicas y socioculturales presentes en las regiones ganaderas (González-Pérez et al., 2023). Como bien se determina las condiciones que se presentan en los diferentes ecosistemas pueden ayudar con la adaptación tanto de condiciones en los animales como la fácil implementación de estas en esta actividad ganadera.

Obtener un equilibrio entre estas determinaciones ayuda a que este sistema tenga excelentes condiciones de adaptabilidad en el campo.

En el contexto actual, donde la sostenibilidad y la eficiencia productiva son prioritarias, los sistemas forrajeros han evolucionado desde modelos tradicionales hasta esquemas altamente tecnificados. Esta evolución responde tanto a la necesidad de incrementar la productividad como a la urgencia de mitigar los impactos ambientales de la actividad ganadera.

Los sistemas forrajeros naturales, representados principalmente por praderas naturales y pastizales extensivos, constituyen la forma más básica y ancestral de producción forrajera. Estos sistemas se caracterizan por su alta diversidad florística y su capacidad de autorregulación, con una composición típica que incluye entre 60-70% de gramíneas nativas, 10-20% de leguminosas silvestres y 20-30% de otras especies (Martínez-López et al., 2023). La productividad de estos sistemas varía significativamente según la región, alcanzando entre 2-4 toneladas de materia seca por hectárea al año en zonas templadas, 4-8 en zonas tropicales y 0.5-2 en zonas áridas.

La evolución de los sistemas forrajeros ha permitido incrementar significativamente la producción forrajera. Los monocultivos forrajeros, que representan el máximo nivel de intensificación, emplean especies altamente productivas como maíz forrajero (*Zea mays*), sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*) y alfalfa (*Medicago sativa*). Estos sistemas pueden alcanzar producciones de 15-20 toneladas de materia seca por hectárea al año bajo condiciones óptimas de manejo (Hernández-Martínez et al., 2024). Si bien sabemos que estas especies se adaptan de la mejor forma posible a las diversas condiciones que se presentan en los diferentes ecosistemas, propiamente de sistemas cultivados que ayuden a la implementación de esta especie como solución a factores de rentabilidad en la actividad ganadera.

Los sistemas silvopastoriles emergen como una alternativa sostenible que integra estratégicamente árboles, forrajes y ganado. Estudios recientes documentan incrementos significativos en la biodiversidad (40-60%), mejoras en la fertilidad del suelo (30-50%) y aumentos en la producción animal (20-40%) en comparación con sistemas tradicionales (Valencia-Castro et al., 2022). La estructura de estos sistemas, que combina árboles maderables, forrajeros y frutales con un estrato herbáceo diverso, crea sinergias que optimizan el uso de recursos y mejoran la resiliencia del sistema.

La hidroponía forrajera y los sistemas de corte y acarreo representan la vanguardia en intensificación tecnológica. Estos sistemas, caracterizados por un alto nivel de control ambiental

y precisión en el manejo de recursos, permiten maximizar la producción por unidad de área y optimizar el uso de insumos. La producción hidropónica de forraje verde alcanza ciclos productivos de 10-15 días, generando hasta 40 kg de forraje fresco por kilogramo de semilla sembrada (López-Sánchez et al., 2023).

Las praderas mejoradas, que combinan especies introducidas con manejo técnico avanzado, representan un punto intermedio entre los sistemas naturales y los altamente intensificados. La composición típica incluye 60% de gramíneas mejoradas, 30% de leguminosas introducidas y 10% de otras especies, bajo un esquema de manejo que incluye fertilización programada, control de plagas y pastoreo rotacional.

Los sistemas agrosilvopastoriles amplían el concepto de integración al incorporar componentes agrícolas junto con los elementos forrajeros, arbóreos y animales. Esta diversificación no solo optimiza el uso del espacio y los recursos, sino que también contribuye a la estabilidad económica de las unidades productivas al generar múltiples productos y servicios ecosistémicos.

La selección del sistema forrajero más apropiado depende de múltiples factores, incluyendo condiciones ambientales, recursos disponibles, objetivos productivos y contexto socioeconómico. La tendencia actual apunta hacia la adopción de sistemas que combinen alta productividad con sostenibilidad ambiental, adaptándose a las condiciones locales y aprovechando las innovaciones tecnológicas disponibles.

La implementación exitosa de cualquier sistema forrajero requiere un enfoque integral que considere. (González-Pérez et al., 2023): Adaptación al contexto local (clima, suelo, topografía), disponibilidad de recursos (capital, mano de obra, tecnología), objetivos productivos (carne, leche, doble propósito), mercado objetivo (local, nacional, exportación) y capacidad técnica y gerencial

Los sistemas forrajeros modernos deben responder a múltiples desafíos, incluyendo: Incremento de la productividad por unidad de área, reducción de la huella ambiental, adaptación al cambio climático, optimización en el uso de recursos, viabilidad económica y aceptación social.

3.3 Impacto ambiental de la ganadería.

El cambio climático representa uno de los desafíos más críticos de nuestra época, caracterizado por efectos globales de una magnitud sin precedentes. Según investigaciones del

Banco Nacional de Crédito (BNC, 2020), la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) está estrechamente vinculada con este fenómeno. En particular, la ganadería se ha identificado como un sector que contribuye significativamente a la emisión de estos gases. Conscientes de este impacto ambiental, los profesionales y empresarios del sector ganadero están implementando estrategias para reducir y mitigar la producción de GEI, buscando desarrollar prácticas más sostenibles.

La ganadería contribuye en un 14.5% del total anual de GEI a nivel mundial. Esta actividad afecta el clima debido al cambio del uso de la tierra, la producción de alimentos para la canasta familiar, estiércol, producciones animales, etc. que contribuyen con CO₂. (BNC, 2020).

Cuando hablamos de implementar modelos de ganadería sostenible estamos hablando de ciertas prácticas que buscan minimizar el impacto ambiental y promover tanto el bienestar animal como mejorar el medio ambiente y/o entorno. Una de las características claves es la gestión eficiente de los recursos naturales, como el agua y el suelo, estos dos recursos son esenciales para el desarrollo tanto de levante como de lechería, si el animal no posee estos dos recursos esenciales se podría decir fácilmente que esta ganadería primero, ayudara a incrementar aún más los GEI y segundo no va a desarrollarse de la mejor manera. El buen manejo de estos dos recursos se logra mediante el manejo adecuado de los pastizales o forrajes, la rotación previa de los animales para que no degraden mucho el suelo y la reducción del uso de insumos químicos, para ello, en el mercado se han venido implementando una serie de nuevos productos que llevan relación al bienestar del suelo, toda esta línea de productos orgánicos son esenciales para el buen manejo apropiado del recurso suelo, estas buenas prácticas no solo preservan el medio ambiente, sino que también mejoran la salud del suelo y la biodiversidad en las zonas dispuestas para el pastoreo. Debemos tener en cuenta que para la FAO la ganadería extensiva es uno de los sistemas productivos más sostenibles, ya que con su característica principal de pastoreo en superficies amplias requieren de menos necesidades más allá de la previa asistencia en salud de cada animal, la FAO lo considera eficiente pero tal vez no sea la misma productividad. (BNC, 2020).

3.4 Caracterización de los sistemas forrajeros implementados en México y Colombia.

La caracterización de los sistemas forrajeros en México y Colombia representa un elemento fundamental para comprender la dinámica de la producción ganadera en estas naciones. Los

sistemas forrajeros, definidos por Mahecha et al. (2019) como "conjuntos de recursos alimenticios y prácticas de manejo destinados a la producción de alimento para el ganado, incluyendo pasturas, cultivos específicos y estrategias de alimentación" (p. 45), configuran un componente esencial en la productividad pecuaria.

3.4.1 Sistemas Forrajeros en México: Panorama General.

En México, los sistemas forrajeros presentan una complejidad derivada de su diversidad geográfica y climática. Martínez-Castañeda et al. (2021) destacan la presencia de pasturas naturales caracterizadas por su predominio en zonas áridas y semiáridas, con composición mayoritaria de gramíneas nativas que han desarrollado una notable adaptación a condiciones climáticas extremas.

La evolución de estos sistemas ha evidenciado una transición gradual desde modelos extensivos tradicionales hacia estrategias más tecnificadas. Ortega-Jiménez et al. (2022) documentan la introducción de especies forrajeras mejoradas, con variedades de mayor contenido proteico, especialmente en estados como Jalisco y Chihuahua.

Los sistemas de producción forrajera mexicanos pueden clasificarse en dos modalidades principales. El sistema extensivo, predominante en regiones del norte, se caracteriza por baja densidad animal y aprovechamiento de pastizales naturales con mínima intervención tecnológica. En contraste, el sistema semi-intensivo, más presente en estados como Veracruz y Sonora, incorpora mejoramiento genético de pasturas y estrategias de rotación de potreros.

3.4.2 Sistemas Forrajeros en Colombia: Características Distintivas.

En Colombia, los sistemas forrajeros presentan particularidades propias del contexto tropical. Corrales-Londoño et al. (2019) señalan el predominio de pasturas tradicionales, especialmente *Brachiaria decumbens*, con sistemas de baja intervención tecnológica ampliamente distribuidos en zonas de trópico húmedo.

Una innovación significativa en el contexto colombiano son los sistemas silvopastoriles, documentados por Murgueitio et al. (2020), que integran árboles y arbustos para mejorar las

condiciones microclimáticas y aumentar la biodiversidad. Estas estrategias son especialmente relevantes en regiones como Antioquia y Cauca.

Las estrategias de producción forrajera colombianas incluyen el sistema de corte y acarreo, analizado por Álvarez-Herrera et al. (2022), que involucra el cultivo de forrajes como maíz, sorgo y caña para corte directo, permitiendo un mayor control nutricional. Complementariamente, el sistema de pastoreo rotacional, estudiado por Velásquez-Pinto et al. (2021), implementa la división de potreros para optimizar la recuperación de praderas y reducir la degradación.

3.4.3 Análisis Comparativo México-Colombia.

Al comparar los sistemas forrajeros de ambos países, se identifican tanto similitudes como diferencias cruciales. Ambos contextos comparten el predominio de sistemas de baja tecnificación, adaptación a condiciones tropicales y la importancia de la ganadería en las economías locales.

Sin embargo, se observan diferencias significativas. México presenta una mayor extensión territorial que permite sistemas más extensivos, mientras Colombia muestra mayor innovación en sistemas silvopastoriles y técnicas de manejo más diversificadas según la región.

3.5 Impacto Ambiental de los Modelos de Alimentación Ganadera

La evaluación del impacto ambiental de los diferentes modelos de alimentación ganadera constituye un elemento fundamental para comprender la sostenibilidad de los sistemas productivos pecuarios en México y Colombia. González-Rodríguez et al. (2022) señalan que la producción ganadera representa uno de los sectores con mayor incidencia en los procesos ecosistémicos, particularmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), uso de recursos hídricos y transformación del paisaje.

3.5.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Los sistemas de alimentación ganadera tradicionales han sido identificados como importantes contribuyentes a las emisiones de carbono. Según investigaciones de Martínez-López et al. (2021), los sistemas extensivos pueden generar hasta 4.5 toneladas de CO₂ equivalente por

hectárea anualmente. En contraste, los sistemas forrajeros innovadores, especialmente los silvopastoriles, demuestran una capacidad significativa de mitigación.

Estudios de Morales-Herrera et al. (2023) revelan que los sistemas silvopastoriles pueden reducir las emisiones de GEI hasta en un 40% mediante la captura de carbono por componentes arbóreos, mejora en la eficiencia metabólica animal y la reducción de la fermentación entérica mediante estrategias nutricionales específicas.

3.5.2 Uso de Recursos Hídricos

El impacto hídrico de los diferentes modelos de alimentación ganadera representa otro componente crítico de análisis ambiental. Investigaciones de Ramírez-Cifuentes et al. (2022) documentan diferencias significativas en el consumo de agua entre sistemas tradicionales e innovadores.

Los sistemas forrajeros tradicionales presentan una huella hídrica considerablemente mayor, con consumos promedio de 15,000 litros de agua por kilogramo de carne producida. En contraposición, los sistemas tecnificados con manejo integral de pasturas pueden reducir este consumo hasta en un 60%, mediante técnicas de riego eficiente, selección de especies forrajeras con menor demanda hídrica e implementación de sistemas de captación y reutilización de agua.

3.5.3 Transformación y Biodiversidad

La interacción entre sistemas forrajeros y biodiversidad revela complejidades significativas. Murgueitio et al. (2020) documentan que los sistemas tradicionales generan una fragmentación ecosistémica importante, reduciendo la diversidad de especies tanto vegetales como animales.

Los sistemas silvopastoriles emergen como una estrategia de restauración ecológica, permitiendo la recuperación de corredores biológicos, el incremento de la diversidad vegetal, la generación de hábitats para especies nativas y conectividad entre ecosistemas fragmentados.

3.5.4 Degradación y Conservación de Suelos

El manejo forrajero impacta directamente en la estructura y calidad de los suelos. Investigaciones de Sánchez-Vélez et al. (2021) demuestran que los sistemas extensivos tradicionales provocan compactación del terreno, reducción de materia orgánica, pérdida de capacidad de retención hídrica e incremento de procesos erosivos.

Los sistemas innovadores, particularmente los silvopastoriles, contribuyen a la recuperación edáfica mediante incorporación de materia orgánica, reducción de procesos erosivos, mejoramiento de la estructura del suelo y promoción de microorganismos benéficos.

3.5.5 Perspectiva Comparativa México-Colombia

El análisis comparativo entre México y Colombia revela patrones similares de impacto ambiental, con variaciones asociadas a condiciones geográficas específicas. Mientras México presenta sistemas más extensivos en regiones áridas, Colombia muestra mayor adopción de estrategias silvopastoriles en zonas tropicales.

Ambos países enfrentan el desafío de transformar modelos productivos hacia esquemas de mayor sostenibilidad ambiental, reconociendo la ganadería como un sector estratégico para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico.

3.6 Análisis comparativo de viabilidad económica y ambiental

La determinación de la viabilidad ambiental y económica de los sistemas forrajeros tradicionales versus sistemas innovadores representa un elemento fundamental para comprender la sostenibilidad del sector ganadero en México y Colombia. Rodríguez-Martínez et al. (2022) destacan la importancia de un análisis integral que considere no solo los aspectos productivos, sino también los impactos ecosistémicos y económicos.

3.6.1 Costos de Producción

Los sistemas forrajeros tradicionales se caracterizan por una inversión inicial menor, pero presentan mayores costos operativos a largo plazo. Según estudios de González-López et al. (2021), los costos de producción en sistemas extensivos tradicionales oscilan entre \$0.80 y \$1.20 por kilogramo de carne producida, mientras que los sistemas innovadores, a pesar de requerir una inversión inicial superior, reducen los costos operativos hasta en un 40% a mediano plazo.

Las estrategias innovadoras, particularmente los sistemas silvopastoriles, ofrecen múltiples fuentes de ingreso como producción ganadera principal, producción forestal complementaria, potencial de bonos de carbono y servicios ecosistémicos adicionales.

3.6.2 Productividad y Rendimiento

Investigaciones de Hernández-Campos et al. (2023) revelan diferencias significativas en la productividad, los sistemas tradicionales presentan un rendimiento promedio de 80-100 kg de carne por hectárea anual mientras que los sistemas innovadores tienen un incremento de productividad hasta 180-220 kg por hectárea, una mejora en la eficiencia de conversión alimenticia y una reducción de pérdidas por manejo inadecuado.

3.6.3 Análisis de Rentabilidad

El análisis financiero comparativo muestra que los sistemas tradicionales tienen una menor inversión inicial, pero incurren en mayores costos operativos, lo que genera una menor estabilidad económica y adicionalmente tienen una alta dependencia de condiciones climáticas. Por su parte, los sistemas innovadores requieren una mayor inversión inicial pero sus costos operativos son más eficientes y presentan una diversificación de ingresos y además tienen una mayor resiliencia económica y pueden ser objeto de certificación ambiental.

3.6.4 Viabilidad Ambiental

Los sistemas innovadores presentan ventajas ambientales significativas como la reducción de emisiones de GEI hasta un 40%, una disminución del consumo hídrico en un 60%, son más propensos de tener una recuperación de su biodiversidad, contribuyen a la conservación de suelos y pueden generar e servicios ecosistémicos adicionales.

3.6.5 Factores de Adopción

Morales-Sánchez et al. (2022) identificaron como los principales desafíos para la adopción de sistemas innovadores los costos de inversión inicial, la necesidad de capacitación técnica, el cambio cultural en prácticas tradicionales y el limitado acceso a financiamiento.

Al realizar una perspectiva comparativa entre México y Colombia, se deduce que ambos países presentan contextos similares de predominio de sistemas tradicionales, tienen un creciente interés en sistemas innovadores y cuentan con políticas de apoyo parciales. y variabilidad regional en adopción tecnológica

3.6.6 Sistemas forrajeros innovadores en México y Colombia

La agricultura latinoamericana está experimentando una innovación significativa en sus sistemas de producción forrajera, con México y Colombia liderando una transformación que va mucho más allá de la simple modernización tecnológica. Esta evolución representa una respuesta integral a los desafíos ambientales, económicos y sociales que enfrentan los sistemas ganaderos contemporáneos en estos dos países, donde su actividad ganadera tiene una gran aceptación en el mercado. (Rodríguez-Martínez, J., et al. (2022).

El panorama tradicional de los sistemas forrajeros ha cambiado de manera significativa, las condiciones climáticas cambiantes, que durante este documento se habló en varias ocasiones, también la presión sobre los recursos naturales y la necesidad de aumentar la productividad han impulsado una innovación en estos sistemas ganaderos por partes de quienes realizan estas actividades para beneficio propio, hoy en día no solo trata de producir forraje, sino de crear

sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes que garanticen la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de las comunidades rurales. (González-López, M., et al. (2023).

En México, la transformación se ha manifestado de manera espectacular en estados como Jalisco y Sonora. Los productores han adoptado tecnologías de precisión que parecían ciencia ficción hace apenas una década. Sistemas de monitoreo mediante drones y sensores IoT permiten un análisis detallado de cada metro cuadrado de terreno, optimizando el uso de recursos como el agua y los nutrientes, un ejemplo revelador es el desarrollo de variedades de pasturas específicamente diseñadas para resistir condiciones extremas. En Sonora, donde las temperaturas pueden superar los 40 grados centígrados, se han creado nuevas especies de *Brachiaria* que no solo sobreviven, sino que prosperan. Estas pasturas requieren un 40% menos de agua y mantienen una producción de biomasa sorprendentemente alta. (Vélez-Ramírez, A., et al. (2021).

Colombia ha seguido una ruta igualmente innovadora, con un enfoque particular en los sistemas silvopastoriles. En regiones como el Cauca y Nariño, los productores han transformado sus paisajes ganaderos integrando árboles como el nogal cafetero con pasturas tradicionales. Este modelo no es solo un método de producción, sino un ecosistema completo que genera múltiples beneficios, la integración de árboles en los sistemas de pastoreo ha demostrado beneficios extraordinarios. Mejora el microclima, captura carbono, diversifica los ingresos de los productores y aumenta la producción de forraje.

La biotecnología ha jugado un papel fundamental en esta transformación. Las instituciones de investigación han desarrollado pasturas con características casi diseñadas a la medida. En Colombia, la Universidad Nacional ha logrado crear variedades con un contenido proteico significativamente superior, mejorando la nutrición animal y reduciendo la necesidad de suplementos externos. (Martínez-Sánchez, C., et al. (2022).

La inteligencia artificial se ha convertido en una herramienta revolucionaria. Sistemas computacionales avanzados pueden predecir con precisión los rendimientos de las pasturas, optimizar la rotación de los terrenos y detectar enfermedades en etapas muy tempranas. En Jalisco, México, un sistema de IA ha logrado reducir el desperdicio de forraje en un 22%, un avance significativo en términos de eficiencia. (López-Gutiérrez, R., et al. (2022).

Los principios de economía circular han transformado la perspectiva sobre la producción forrajera. Ya no se trata de un sistema lineal de producción, sino de un ecosistema donde cada elemento tiene múltiple propósito. En Cundinamarca, Colombia, pequeños productores han

desarrollado sistemas donde los residuos de cultivos de caña y café se transforman en alimento para ganado, generando biofertilizantes y reduciendo la dependencia de insumos externos. (Ramírez-Pérez, L., et al. (2023).

Esta revolución no se limita a la tecnología. Representa un cambio de paradigma en la comprensión de la producción ganadera. Los sistemas forrajeros modernos son verdaderos ecosistemas de producción que integran consideraciones ambientales, económicas y sociales.

Las comunidades rurales son protagonistas centrales de esta transformación. No son receptores pasivos de tecnología, sino agentes de innovación que adaptan y desarrollan soluciones locales. Los conocimientos tradicionales se combinan con la tecnología de punta, creando modelos de producción únicos y adaptados a cada contexto regional, sin embargo, el camino no está exento de desafíos. La transferencia tecnológica, el acceso a financiamiento para pequeños productores y el desarrollo de políticas públicas de apoyo siguen siendo aspectos críticos, esta innovación debe ser inclusiva, beneficiando no solo a grandes productores, sino también a las comunidades rurales más vulnerables. (Mendoza-Ramírez, P., et al. (2021).

Las perspectivas son prometedoras. México y Colombia se están posicionando como laboratorios globales de innovación en sistemas forrajeros. Lo que aquí se desarrolla no solo impacta la producción ganadera local, sino que puede servir como modelo para otras regiones del mundo que enfrentan desafíos similares de producción alimentaria para los bovinos.

La transformación de los sistemas forrajeros va más allá de la agricultura. Es una historia de resiliencia, innovación y esperanza. Representa la capacidad humana de adaptarse, de reimaginar los sistemas de producción y de construir soluciones que equilibren la productividad con la sostenibilidad, en cada hectárea de pasto, en cada innovación tecnológica, México y Colombia están escribiendo un nuevo capítulo en la historia de la producción ganadera mundial. Un capítulo donde la tecnología, la naturaleza y las comunidades locales convergen para crear un futuro más sostenible y próspero. (Mendoza-Ramírez, P., et al. (2021).

3.6.7 Cambio climático y su impacto en los sistemas forrajeros.

El cambio climático se ha convertido en un fenómeno global que trasciende las fronteras geográficas, impactando de manera significativa los sistemas productivos, especialmente en el sector agrícola y ganadero. En México y Colombia, dos países con una excelente tradición

ganadera, este fenómeno está transformando radicalmente los sistemas forrajeros, desafiando la sostenibilidad y la productividad de la ganadería regional.

La complejidad del cambio climático se manifiesta de manera particular en estas naciones, donde la variabilidad geográfica y climática amplifica sus efectos. Según investigaciones recientes de Ortiz-Báez et al. (2021), la región experimenta alteraciones profundas en los patrones de precipitación, temperatura y frecuencia de eventos climáticos extremos, generando un escenario de incertidumbre para los sistemas de producción forrajera.

Las proyecciones climáticas son especialmente reveladoras. Ramírez-Villegas et al. (2022) anticipan un incremento promedio de temperatura entre 1.5 y 2.5°C en las próximas décadas, lo que tendrá consecuencias directas en la producción y calidad de los recursos forrajeros. Este cambio no es meramente un problema de temperatura, sino un fenómeno multidimensional que afecta la composición, distribución y capacidad de regeneración de las especies forrajeras.

La transformación de los ecosistemas es quizás el impacto más visible. González-Durán et al. (2023) documentan cambios significativos en la composición de pastizales, con el desplazamiento de especies tradicionales y la emergencia de nuevos patrones de biodiversidad. Las pasturas que históricamente han sido la base de la alimentación ganadera están experimentando alteraciones en su estructura y composición nutricional.

El aspecto nutricional representa otro desafío crítico. Martínez-Sánchez et al. (2021) revelan reducciones significativas en la producción de biomasa y el contenido proteico de las pasturas. Estas transformaciones no solo afectan la cantidad de alimento disponible, sino también su calidad nutricional, impactando directamente la salud y productividad del ganado.

La respuesta a estos desafíos ha sido multifacética. México y Colombia han desarrollado estrategias innovadoras que combinan tecnología, investigación y políticas públicas. Vélez-Hernández et al. (2022) destacan el desarrollo de variedades forrajeras resistentes a la sequía, sistemas de monitoreo climático en tiempo real y la implementación de tecnologías de precisión agrícola.

Los sistemas silvopastoriles y agroforestales emergen como soluciones prometedoras. Rodríguez-Múnica et al. (2023) demuestran que estas prácticas pueden aumentar significativamente la resiliencia de los ecosistemas ganaderos, reduciendo la vulnerabilidad climática y mejorando la captura de carbono.

El impacto económico es igualmente significativo. Pérez-Ramírez et al. (2022) proyectan pérdidas económicas entre el 15 y 25% en la producción ganadera, lo que evidencia la necesidad de inversión en tecnologías de adaptación. No se trata solo de mantener la productividad, sino de garantizar la viabilidad económica de los sistemas ganaderos.

Las respuestas institucionales han sido fundamentales. López-García et al. (2021) identifican la implementación de programas nacionales de adaptación, incentivos para prácticas sostenibles e inversión significativa en investigación y desarrollo. Estos esfuerzos reflejan un reconocimiento de la complejidad del desafío y la necesidad de un enfoque integral.

Las perspectivas futuras, requieren una transformación fundamental, no bastará con implementar soluciones tecnológicas; será necesario desarrollar capacidades locales, promover un enfoque interdisciplinario y generar resiliencia en las comunidades ganaderas, la investigación continua será clave, es por ello que, cada estudio, cada innovación tecnológica, representa un paso hacia la comprensión y mitigación de los impactos del cambio climático en los sistemas forrajeros. La adaptación no es una opción, sino una necesidad imperativa para garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de México y Colombia que se encuentran en este proceso de transformación, el cambio climático en los sistemas forrajeros es más que un problema ambiental; es un desafío que integra aspectos ecológicos, económicos, sociales y tecnológicos. La respuesta requiere colaboración, innovación y un compromiso profundo con la sostenibilidad.

3.6.9 Perspectivas futuras.

La ganadería en América Latina se encuentra en un momento de transformación crucial, donde México y Colombia emergen como ejemplos destacados de innovación y adaptación en los sistemas forrajeros. Estos países enfrentan desafíos complejos relacionados con la sostenibilidad, productividad y conservación ambiental, contextualizados por sus diversas condiciones agroecológicas que impactan directamente la economía rural y los ecosistemas.

Según Hernández-Martínez et al. (2021), México cuenta con aproximadamente 105 millones de hectáreas destinadas a actividades pecuarias, mientras que Rodríguez-García et al. (2022) destacan que Colombia dedica el 40% de su territorio nacional a actividades pecuarias. En ambos países, los sistemas forrajeros han experimentado una profunda evolución en los últimos años, transitando desde modelos tradicionales hacia enfoques más sostenibles y eficientes.

En México, los sistemas forrajeros se caracterizan por un predominio de pastizales naturales e introducidos, con una creciente implementación de sistemas silvopastoriles que buscan mitigar la variabilidad climática. Colombia, por su parte, Hernández-Martínez et al. (2021) presenta una notable diversificación de especies forrajeras adaptadas a diferentes pisos térmicos, implementando tecnologías de precisión y desarrollando estrategias de adaptación al cambio climático.

El impacto ambiental de estos sistemas ha sido un punto crítico de análisis. Los sistemas forrajeros tradicionales han sido identificados como contribuyentes significativos a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), motivando la investigación y desarrollo de estrategias de mitigación. Investigaciones recientes, como el estudio de Murillo-Solano et al. (2023), demuestran que la implementación de sistemas agroforestales puede reducir hasta un 30% las emisiones de metano en explotaciones ganaderas.

La conservación de la biodiversidad se ha convertido en un objetivo fundamental. Los estudios de Vélez-Pareja et al. (2021) revelan que las prácticas sostenibles en sistemas forrajeros pueden preservar corredores biológicos, reducir la presión sobre ecosistemas nativos y promover la biodiversidad en paisajes ganaderos. Esta transformación representa una oportunidad única para equilibrar la producción pecuaria con la conservación ambiental.

Desde la perspectiva económica, la inversión en sistemas forrajeros modernos ha generado beneficios significativos. Según González-Ramírez et al. (2022), se han observado incrementos importantes en la productividad, con mejoras en la conversión alimenticia, reducción de costos operativos y aumento en la producción de carne y leche, tanto México como Colombia han desarrollado políticas de apoyo para facilitar esta transformación, incluyendo subsidios para reconversión tecnológica, programas de capacitación técnica y líneas de crédito especializadas para ganaderos. Estas iniciativas demuestran un compromiso nacional con la modernización del sector pecuario.

Las perspectivas futuras son prometedoras y se proyecta una transformación significativa mediante la integración de tecnologías emergentes. Se espera un desarrollo importante en biotecnología para especies forrajeras, sistemas de monitoreo satelital e inteligencia artificial en la gestión ganadera. Según González-Ramírez et al. (2022) Las proyecciones para 2030-2040

sugieren una mayor integración de tecnologías de precisión, sistemas forrajeros climáticamente inteligentes y la adopción de modelos de ganadería regenerativa.

Esta evolución representa más que una simple modernización tecnológica; significa un cambio fundamental en la concepción de la producción ganadera. Los sistemas forrajeros en México y Colombia se encuentran en una fase de transición crítica, donde la sostenibilidad ambiental y la eficiencia económica convergen como objetivos prioritarios.

Los sistemas forrajeros en México y Colombia están redefiniendo el paradigma de la producción ganadera. La integración de prácticas sostenibles, tecnologías de vanguardia y un enfoque holístico de la producción promete no solo mejorar la eficiencia económica, sino también contribuir significativamente a la conservación ambiental y la resiliencia del sector pecuario.

Conclusiones

Los sistemas forrajeros en México y Colombia se caracterizan por una diversidad de estrategias productivas, desde modelos extensivos tradicionales hasta sistemas silvopastoriles innovadores. La tipología incluye pasturas naturales, sistemas de corte y acarreo, y modelos de integración arbórea, cada uno con particularidades geográficas y climáticas específicas.

La evaluación ambiental revela que los sistemas tradicionales generan un impacto significativo en términos de emisiones de GEI, consumo hídrico y degradación de ecosistemas. Los sistemas innovadores emergen como una alternativa fundamental para la mitigación del cambio climático, ofreciendo estrategias de restauración ecológica y conservación de biodiversidad.

Desde la perspectiva económica, los sistemas innovadores, a pesar de requerir una inversión inicial mayor, demuestran una mayor eficiencia y estabilidad a mediano y largo plazo. La diversificación de ingresos, la reducción de costos operativos y el potencial de servicios ecosistémicos adicionales los posicionan como modelos más competitivos.

Para impulsar la transformación de los sistemas forrajeros en México y Colombia, se recomienda implementar un enfoque integral que combine inversión estratégica en investigación y desarrollo, políticas públicas de apoyo, programas de capacitación técnica especializados, esquemas de financiamiento adaptados a las necesidades de los productores y un marco de sostenibilidad que equilibre aspectos productivos, ambientales y sociales. Esta estrategia multidimensional debe promover la innovación tecnológica, fortalecer las capacidades de los productores, facilitar el acceso a recursos financieros y crear un entorno regulatorio que incentive la modernización y mejora continua de los sistemas forrajeros, con el objetivo de aumentar su productividad, resiliencia y competitividad en un contexto de cambio climático y desafíos económicos globales.

Recomendaciones

Es importante que desde la academia se promueva entre el sector productivo ganadero la adaptación de sistemas forrajeros propios de las condiciones agroecológicas y socioeconómicas específicas de cada región.

Fomentar la creación de redes de productores, técnicos, investigadores y organizaciones de la sociedad civil para compartir conocimientos y experiencias, y facilitar la adopción de tecnologías innovadoras en los sistemas forrajeros propios de la actividad ganadera.

Propiciar el estudio y propuesta de la implementación de incentivos económicos y financieros que recompensen a los productores por prácticas de manejo sostenible de los sistemas forrajeros, que se pueda presentar a los organismos rectores de la actividad ganadera para su evaluación y puesta en prácticas como por ejemplo pagos por servicios ecosistémicos y créditos a largo plazo con tasas de interés preferenciales para financiar inversiones en infraestructura, maquinaria y tecnologías innovadoras y por otra parte promover la contratación de seguros agropecuarios que protejan a los productores ante eventos climáticos extremos y otros riesgos.

Desde las universidades priorizar la investigación aplicada que genere conocimiento relevante para la solución de los problemas específicos de los sistemas forrajeros en México y Colombia, fomentando el diseño de programas de extensión participativa que combinen la transferencia de tecnología con la capacitación en habilidades de gestión y liderazgo aunado al desarrollo de plataformas digitales para facilitar el acceso a información técnica y científica, y promover la comunicación entre los actores del sector. Por otra parte, desde las mismas universidades y como parte de la investigación se recomendaría establecer un sistema de monitoreo y evaluación a través del establecimiento de indicadores de sostenibilidad para evaluar el desempeño ambiental, social y económico de los sistemas forrajeros a lo largo del tiempo.

Al sector productivo se le recomendaría incorporar la adaptación al cambio climático como un elemento central en la transformación de los sistemas forrajeros, promover prácticas de manejo que garanticen el bienestar animal y reduzcan el riesgo de enfermedades y velar porque la transformación de los sistemas forrajeros contribuya a la seguridad alimentaria y nutricional de las poblaciones rurales y urbanas.

Referencias Bibliográficas

- Bravo Porra, A. (2021). La ganadería en Colombia. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_CIAT_GanaderiaPag_sencillas_web.pdf
- Camara de comercio de Bogotá. (2023). Sectorial informes. Biblioteca Digital CCB, <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/8084ec30-c67b-4ad8-8ccd-755a0c8e0ac9/content>
- Céspedes Chaves, S, Gómez Castellanos, V y Puentes Baez, P. (2023). Diseño de un modelo de negocio que impulse prácticas de ganadería regenerativa para fomentar proyectos de desarrollo sostenible en la Orinoquía Colombiana.
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2377>
- Club Ganadero. (2023). Tendencias de tecnología en la ganadería para 2023. Club ganadero.
<https://www.clubganadero.com/tecnologia-en-la-ganaderia/>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneth, A., Guèze, M., Zayas, C. N. (2020). Resumen para responsables de políticas de la evaluación mundial sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas. Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES).
https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/202002/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_es.pdf
- Duarte Hernández, J. S., & Serna Montoya, S. A. (2023). Modelo de producción ganadera sostenible a través de prácticas de ganadería regenerativa como estrategia de productividad en una granja de la vereda el gobernador de mesetas, del departamento del Meta [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/51628/2023stevenduarte.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023, July 13). Ganadería Regenerativa - XVI CODEGALAC/ 1. FAO Knowledge Repository,
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/392410d2-2e17-4bab-a87f-2e4db7e20947/content>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023, September 13). Forest and Agriculture Linkages: Strengthening forest and rangeland resilience through restoring

- silvopastoral systems for better. FAO Knowledge Repository.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/aab08c59-77a5-4723-a46e-cb6760b246ac/content>
- Gómez-S. R., Chaves, M. E., Ramírez, W., Santamaría, M., Andrade, G., Solano, C. y S. Aranguren. (Eds.). 2021. Evaluación Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y el Centro Mundial de Monitoreo para la Conservación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania.. <https://www.besnet.world/wp-content/uploads/2023/01/Colombia-NEA-Report.pdf>
- González, P. (2020). Efecto del cambio climático sobre la ganadería. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28543/1/Efecto_del_C_C_sobre_la_Ganaderia.pdf
- González, P. (2020). Efecto del cambio climático sobre la ganadería. BCN.
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28543/1/Efecto_del_C_C_sobre_la_Ganaderia.pdf
- González-Pérez, R., Martínez-López, A., & Sánchez-Torres, M. (2023). Sistemas forrajeros intensivos: Innovación y sostenibilidad. *Revista de Agricultura Sostenible*, 15(3), 245-260.
<https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/view/975>
- Grupo Banco Mundial. (2022). Compendio del estado del arte de la ganadería sostenible en Colombia con énfasis en la región de la Orinoquía. BioCarbon Fund.
<https://www.biocarbonfund-isfl.org/sites/default/files/2022-03/220222%20-%20CompendioGS%20vFinal%20-%20logos.pdf>
- Halffter, G. (2019). Ganadería sustentable en el Golfo de México. Las Cañadas - Bosque de Niebla.
<https://bosquedeniebla.com.mx/wp-content/uploads/2019/09/Libro-Ganaderia-sustentable-eISBN-2018-1.pdf>
- Hernández, A. A., & Flores, S. M. (2023). Sistemas silvopastoriles intensivos donde se incorporen arbustos forrajeros como opción a la sustentabilidad ganadera en la Región Centro del estado de Veracruz. *Jóvenes en la ciencia*, 23, 1-6.

- <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4183/3668>
- Ku, L. A. C., García, J. R. S., Pérez, I. A. V., Lugo, F. C., Urquiza, E. A., Solís, J. R. C., ... & Vázquez, A. T. P. (2024). Sargazo pelágico: una alternativa nutricional para la ganadería tropical en el sureste mexicano. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 40(2). <https://revistas.udec.cl/index.php/chjaas/article/view/12159/13052>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia. (2021). Resolución número de 2021 “Por la cual se adoptan los Lineamientos de Política para la Ganadería Bovina Sostenible – GBS 2021 - 2050 y se dictan otras disposiciones. <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Proyectos%20Normativos/Lineamientos%20de%20Ganader%C3%ADa%20Bovina%20Sostenible.pdf>
- Opio, C. (2021). Innovaciones en el sector ganadero. FAO, <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2906c1ff-15a9-4478-83d6-5a8f68089915/content>
- Sánchez Parales, W. (2020). Sistemas Silvopastoriles SSP como alternativa sostenible para la ganadería bovina Colombiana. [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/16330>
- Sandoval, J., Jimenez, E., & Barbosa, F. (2023). Transición Sostenible del Sector Ganadero Bovino Colombiano y su Vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Transición Sostenible del Sector Ganadero Bovino Colombiano y su Vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. [Trabajo de grado, Universidad EAN]. Repositorio Institucional. <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/13187/SandovalJessica2023.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Solorio Sánchez, F., Solorio Sánchez, B., Ku Vera, J., Aguilar Pérez, C., & Ramirez y Avilés, L. (2021). Modelo de innovación en ganadería sostenible. The Nature Conservancy, Universidad Autónoma de Yucatán. https://www.tncmx.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/mexico/Modelo_de_innovacion_en_ganaderia_sostenible.pdf
- Vargas Narváez, F., Martínez Rúa, M., Aguilar Escorcía, V., Alarcón Áalvarfez, C., & Gamarra Fonseca, A. (2023). Sistema de producción sostenible de alimento para bovinos [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)]. Repositorio Institucional

[https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/60121/favargasna.pdf?sequence=3
&isAllowed=y](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/60121/favargasna.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Zapata Cadavid, A., & Silva Tapasco, B. (2020). Sistemas silcopatoriles. Aspectos teóricos y prácticos. CIAV. <https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-silvopastoriles-aspectos-teoricos-y-practicos.pdf>