

**INDICADORES DE EMERGÍA EN LA GANADERÍA REGIONAL: ESTADO ACTUAL Y RETOS DE LAS
FINCAS BOVINAS EN FUSAGASUGÁ.**

***EMERGY INDICATORS IN REGIONAL LIVESTOCK: CURRENT STATUS AND CHALLENGES OF
CATTLE FARMS IN FUSAGASUGÁ.***

Autor 1 (Edwin Hernán Yaya)^{1*},

¹ universidad de Cundinamarca, Facultad de ciencias agropecuarias, Programa de Zootecnia, Sede
Fusagasugá,

Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia. ORCID

Resumen

La ganadería, como actividad inserta dentro de un ecosistema, está sujeta a múltiples flujos de energía que influyen en su funcionamiento y sostenibilidad. En este contexto, el concepto de energía se refiere al conjunto de energía que fluye dentro de un sistema productivo, incluyendo tanto las entradas directas como las indirectas. Aplicado a la ganadería, permite evaluar el uso y desgaste energético más allá de los indicadores económicos tradicionales.

Este estudio tuvo como objetivo identificar y evaluar los principales indicadores de energía en los sistemas productivos bovinos del municipio de Fusagasugá, Colombia. Se analizaron las prácticas de manejo predominantes, haciendo énfasis en los impactos energéticos asociados a insumos como concentrados comerciales, fertilizantes químicos, combustibles fósiles, pesticidas, electricidad y medicamentos veterinarios.

Los resultados muestran que existe una alta carga energética no renovable en los sistemas ganaderos locales, y que la relación entre inversión financiera y valor energético de la producción puede superar hasta 800 veces el capital invertido. Esto subraya la necesidad de integrar el análisis energético como herramienta clave para optimizar el uso de los recursos naturales y promover sistemas ganaderos más sostenibles en el ámbito regional.

Palabras clave: Energía, ganadería regional, impactos energéticos.

Abstract

By identifying the requirements and challenges of current cattle production, there is a need to determine the energy indicators in regional livestock farming. The present analysis aims to identify and evaluate the energy indicators in cattle production systems in the municipality of Fusagasugá, Colombia. Emphasis will be placed on the energy impacts and determine the energy indicators in regional livestock farming associated with cattle production, without taking into account traditional economic indicators, using energy flow and expenditure (emergy) as a key tool for improving production systems. Currently, it is observed that the relationship between financial investment and the energy value of cattle production is considerably high, exceeding up to 800 times the actual financial investment. This underscores the urgent need to identify energy indicators in production systems to optimize the use of natural resources and improve the sustainability of livestock farming in the municipality.

Key words: Emergy, regional livestock, energy impacts

INTRODUCCIÓN

La vida en la tierra es mantenida por el flujo de energía radiado por el sol y que entra a la biosfera por medio de la fotosíntesis, esta es fijada en las plantas en forma de calor químico latente, desde el cual, todos los eslabones de la cadena alimenticia derivan energía necesaria para sus procesos vitales y para la obtención de los productos de interés pecuario (Jaramillo & Bustamante, 2025).

La ganadería actual se ha vuelto más compleja debido a la creciente demanda de productos de origen animal y a la disminución de agricultores y ganaderos (Brendon C y Besler, 2024), si para el 2050 se prevé que el crecimiento de la demanda de productos de origen animal aumentará en un 70% (Berckmans, 2017), lo cual causa que los sistemas ganaderos estén en constante cambio y adaptación a las nuevas necesidades y a las nuevas tecnologías, siempre se ha hablado de ser más sostenibles, eficaces y el reducir nuestra huella ambiental, pero para esto debemos entender primero las dinámicas que ocurren en estos sistemas y los cambios energéticos (Izursa Azurduy, 2011).

Los análisis de energía son muy importantes en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícolas o pecuarios (Jairo Mora y Delgado, 2006) se ha evidenciado que los ahorros en energía que se pueden lograr cuando se sustituyen insumos convencionales (altos en energía indirecta) por insumos orgánicos o prácticas culturales los ahorros energéticos son reales y permiten comprender que la diferencia entre la tecnología orgánica e inorgánica no es realmente aparente (Jairo Mora-Delgado, 2006).

La energía se define como la capacidad para realizar trabajo y se clasifica en potencial (almacenada y que puede ser transformada) y cinética (energía del movimiento). La energía, es un concepto físico que se refiere a la capacidad de realizar transformaciones o cambios en los sistemas, como la conversión de una forma de energía a otra (Izursa Azurduy, 2011). Mientras que el concepto de energía es ampliamente conocido como la capacidad de realizar trabajo, el ecólogo H.T. Odum, con más de cinco décadas de experiencia en ecología y teoría general de sistemas, propuso el término emergía para extender este concepto hacia un enfoque biofísico integral. Según Odum, la emergía representa la energía total —incluyendo tanto la directa como la incorporada e indirecta— que se requiere para generar un determinado flujo de energía útil en un

proceso o sistema a lo largo del tiempo (Izursa Azurduy, 2011). Esta perspectiva no se limita únicamente a la cantidad de energía aplicada, sino que considera también los recursos energéticos previos involucrados en su transformación y disponibilidad. De este modo, la emergía permite analizar con mayor profundidad la dinámica energética de los sistemas ecológicos y productivos, como la ganadería, al considerar todos los aportes energéticos que sustentan su funcionamiento.

El entender e identificar los indicadores de emergía en los sistemas ganaderos regionales se vuelve fundamental para evaluar con precisión el uso real de los recursos y detectar pérdidas energéticas que, aunque pequeñas individualmente, pueden acumularse y afectar significativamente la eficiencia del sistema. Estas “micro fugas de energía”, muchas veces invisibles en los registros contables o productivos, funcionan de manera análoga a los “micro gastos” financieros descritos por Muñoz (2004), los cuales, al no ser controlados, terminan generando fugas importantes de capital. En el ámbito ganadero, prestar atención a estas pérdidas energéticas permite no solo mejorar la eficiencia de los procesos, sino también optimizar el diseño y manejo de los sistemas productivos, contribuyendo directamente a su sostenibilidad ambiental, técnica y económica en contextos locales como el del municipio de Fusagasugá.

PLANTEAMIENTO O DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la ganadería contemporánea, la rentabilidad suele evaluarse exclusivamente en términos económicos, midiendo resultados a partir de unidades monetarias como el costo-beneficio o el retorno sobre la inversión (JOSÉ et al., 2019). Sin embargo, este enfoque tradicional no permite cuantificar la totalidad de la energía utilizada en los procesos productivos, como la obtención de carne o leche. Esta visión parcial deja por fuera un componente esencial para comprender la verdadera eficiencia de los sistemas: la energía total directa e indirecta que fluye a través del sistema productivo.

Para comprender este flujo, es necesario partir de principios básicos de la termodinámica, los cuales explican cómo la energía solar incide sobre el follaje vegetal, es absorbida por las hojas y distribuida a través del dosel de las comunidades de plantas. Esta energía, al ser transformada y transferida dentro del ecosistema, sostiene los procesos ecológicos y productivos de los cuales depende la ganadería. No obstante, en los sistemas ganaderos actuales, gran parte de esa energía es perdida en forma de fugas no visibles, muchas veces ignoradas en el análisis técnico y financiero.

En el caso del municipio de Fusagasugá, cuya economía rural cuenta con una participación significativa de la actividad ganadera, no se dispone de estudios locales que identifiquen y cuantifiquen estos flujos energéticos ni que analicen los insumos energéticos empleados desde una perspectiva sistémica. Esto dificulta la toma de decisiones fundamentadas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las unidades productivas.

Identificar los indicadores de energía en los sistemas ganaderos del municipio se vuelve entonces crucial. No solo permite evidenciar pérdidas energéticas acumuladas —como las generadas por el uso ineficiente de insumos, combustibles, fertilizantes o electricidad—, sino que además facilita la construcción de sistemas productivos más eficientes, resilientes y sostenibles, alineados con el uso racional de los recursos naturales y con los desafíos del cambio climático y la seguridad alimentaria. El análisis energético, aplicado a nivel local, puede así convertirse en una herramienta de gestión fundamental para la optimización integral de la ganadería regional.

JUSTIFICACIÓN

La dinámica actual de la producción agropecuaria enfrenta retos complejos, especialmente en lo que respecta al impacto ambiental y la sostenibilidad de los sistemas de producción (Brendon C. Besler, 2024). En el caso de la ganadería, tradicionalmente se ha priorizado el beneficio económico inmediato, evaluando los resultados principalmente desde el punto de vista de la rentabilidad y la productividad (Jaramillo & Bustamante, 2025). Sin embargo, este enfoque a menudo pasa por alto las consecuencias a largo plazo sobre los recursos naturales, como el suelo, el agua y la biodiversidad, lo que puede llevar a la degradación de los ecosistemas y a un desgaste de los recursos que son fundamentales para la continuidad del sistema productivo.

Según Izursa Azurduy (2011), el concepto de emergía, al incorporar tanto la energía directa como indirecta utilizada en un sistema productivo, ofrece una nueva perspectiva para comprender la magnitud del impacto ambiental y los costos reales asociados a la producción ganadera. Al identificar los indicadores de emergía en la ganadería regional de Fusagasugá, es factible que más adelante se pueda calcular la energía total necesaria para generar un flujo de productos y subproductos, y evaluar el grado de eficiencia con el que se utilizan los recursos.

En este contexto, es relevante destacar la importancia de la ganadería en el municipio de Fusagasugá para el 2023, se registra un total de 13.668 bovinos distribuidos en 939 fincas ganaderas activas. De estas, 884 fincas manejan entre 1 y 50 animales, lo que representa una mayoría de pequeñas unidades productivas. Asimismo, 39 fincas tienen entre 51 y 100 bovinos, 15 fincas entre 101 y 500, y únicamente una finca supera los 500 animales. Estos datos evidencian que la estructura ganadera local está compuesta principalmente por pequeños y medianos productores, lo cual resalta aún más la necesidad de implementar herramientas como el análisis de emergía para mejorar la eficiencia, reducir pérdidas energéticas y garantizar la sostenibilidad de este renglón productivo clave para la economía rural del municipio. (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, s. f.).

OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar los indicadores de emergía en los sistemas productivos agropecuarios ganaderos del municipio de Fusagasugá Colombia.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar las producciones ganaderas del municipio de Fusagasugá, Colombia.
2. Analizar los flujos energéticos de los sistemas productivos ganaderos en el municipio de Fusagasugá, Colombia.
3. Determinar los indicadores de emergía en los sistemas productivos agropecuarios ganaderos, basándose en información del municipio de Fusagasugá, Colombia.

MARCO REFERENCIAL

6.1 Marco teórico

En la galaxia están presentes el Sol y la Tierra, en la que, existen diversos organismos, como las plantas (Montero Torres, 2022). El sol siempre ha sido la fuente de energía principal por naturaleza, y va a seguir proveyendo de energía a el planeta tierra por muchos siglos, este no solo provee de energía a los seres vivos del planeta, sino también a todas las fuentes de energía inanimada que emplea el hombre (Yepes Jaramillo & Martínez Bustamante, 2005). El Sol al ser fuente primaria, de energía radiante, propagada a través del espacio, en forma de pulsaciones u ondas; desde el punto de vista corpuscular, la radiación solar consiste en un flujo de paquetes de energía denominado cuanto o fotón, propagadas ondulatoriamente (Montero Torres, 2022).

La fotosíntesis, impulsada por la radiación solar, es esencial en los sistemas productivos agrícolas, ya que permite a las plantas convertir CO₂, agua y minerales en nutrientes para su crecimiento. Aprovechar esta energía solar es clave para optimizar la producción de hortalizas, especialmente en invernaderos, y para generar energía en áreas rurales para riego y otros servicios (Montero Torres, 2022).

La agricultura aprovecha esta energía por eso es considera una de las formas más antiguas de genera energía, provee de alimentos y productos de valor de uso y de trasformación a la humanidad, todo eso es posible porque las plantas aprovechan la energía solar (Jaramillo & Bustamante, 2005).

Para entender mejor estos procesos debemos partir de las leyes de la termo dinámica los cuales analizaremos dos:

Primera ley de termodinámica: La energía no se crea ni se destruye, ésta se conserva durante las transformaciones. Cuando entra en un sistema debe salir o permanecer en el interior. En el caso de las plantas, la energía ingresa al sistema desde varias fuentes (luz solar, agua, nutrientes) y se convierte en biomasa para luego ser aprovechada por los animales de interés zootécnico (Izursa Azurduy, 2011).

Segunda ley de termodinámica: Las transformaciones de energía de una forma a otra conducen a una pérdida en su capacidad para hacer el trabajo. Se pierde capacidad para realizar trabajo, pero no se pierde energía (primera ley). Esta pérdida de capacidad resulta en un aumento de la entropía. (Izursa Azurduy, 2011), un ejemplo de esta ley puede ser el aprovechamiento de la energía dentro del animal pues no toda se convierte en producto de interés el animal destina energía a otros factores (mantenimiento, reproducción, producción).

También debemos considerar las demás fuentes de energía como lo son las transformadas por el hombre como los combustibles fósiles, la energía eléctrica y la producida por el trabajo muscular de un animal (Yepes Jaramillo & Martínez Bustamante, 2005).

En un principio el análisis de energía fue un método utilizado para estimar el uso directo e indirecto de energía fósil en la producción de bienes o servicios, posteriormente se aplicó principalmente para evaluar el consumo de energía en sistemas agrícolas, analizar impactos de la gestión energética y comparar diferentes métodos de producción (Benavides Patiño, 2016).

Un análisis energético debe considerar diversas fuentes de energía y su efecto ambiental y se considera una metodología adecuada para la evaluación de los sistemas de producción ganadera y permite una comparación entre sistemas similares y otros tipos de sistemas ya que los factores y su cálculo son adaptables, con lo que su uso representa un avance real en la estimación del uso de la energía (Benavides Patiño, 2016).

El interés por el uso de la energía en los sistemas agrícolas surgió tras la primera crisis del petróleo en la década de 1970. Según Vigne et al. (2012), a nivel mundial se han realizado solo 244 estudios de análisis de energía en sistemas agropecuarios, de los cuales el 48% se enfocaron en sistemas europeos. En América, los estudios fueron considerablemente menos frecuentes, lo que se atribuye a que, hasta tiempos recientes, el uso de energía fósil no era considerado una prioridad (Benavides Patiño, 2016). Los análisis de energía pueden centrarse en la energía aplicada al sistema directamente y que es cuantificable como lo son los combustibles fósiles el gas o la electricidad, pero también debemos considerar las formas indirectas

de energía como lo son los plásticos según Veysset et al., 2010, plaguicidas según Hanegraaf et al., 1998, servicios veterinarios según Rabier et al., 2010, los edificios o maquinaria según Schils et al., 2007 (Benavides Patiño, 2016). Sin embargo, en algunos estudios se ha observado que los sistemas ganaderos apenas alcanzan 1 MJ (mega- joule) de energía alimentaria producida por MJ de energía no renovable consumida esto dicho por Benoit y Laignel, 2010 (Benavides Patiño, 2016).

En cuanto a indicadores energéticos, se han resaltado en anteriores investigaciones los siguientes, eficiencia y productividad energética, también se le asigna un valor energético que se determinó al contabilizar la cantidad de ingreso de cada insumo y multiplicarlo por su factor de equivalencia, para así obtener los valores energéticos netos y calcular el balance energético (Benavides Patiño, 2016) los culés explicamos continuación (tabla 1):

Factores de equivalencias energéticas empleadas por Benavides Patiño para contabilizar el ingreso de energía.

Elemento	Unidad	Valor de equivalencia Energética	Referencias
Directos	Mj/litro	40.6	Dalgaard et al. (2001), Wells (2001), Hülsbergen et al. (2001), Maertens and Van Lierde (2003), Vito (2004), Australian Institute of Energy (2004), Boustead (2003).
lubricantes	Mj/litro	3.6	Dalgaard et al. (2001).
Electricidad	Mj/litro	14.4	Leach (1976).
Gasolina	Mj/litro	46.3diesel	Kittani (1999).
Indirectos			
Nitrógeno	MJ/kg	55,3	Dalgaard et al. (2001), Wells (2001), Hülsbergen et al. (2001), Gezer et al. (2003), Gliessman (2000)
Fósforo	MJ/kg	15,8	Hülsbergen et al. (2001)
Potasio	MJ/kg	9,3	Hülsbergen et al. (2001)
Concentrados	MJ/kg	6,3	de Haan y Feikema (2001)
Maíz	MJ/kg MS	14,5	Ceccon (2002)
Guandul	MJ/kg	14,1	Gopalan et al. (1978), Binning et al. (1983)
Soya	MJ/kg	18,1	Gopalan et al. (1978), Binning et al. (1983)
Ensilaje de Cáscara Naranja	MJ/kg	1,9	Ozkan B (2004), Kittani (1999)
Semilla de algodón	MJ/kg	11,8	Singh (2002)
Maíz, ensilaje	MJ/kg MS	12,9	Ceccon (2002)

Semilla soya	MJ/kg	25,0	Ozkan et al. (2004)
Arroz	MJ/kg	14,7	Gopalan et al. (1978), Binning et al. (1983)
Trigo	MJ/kg	15,7	Gopalan et al. (1983)
Praderas	MJ/kg MS	12,8	Ceccon (2002)
Avena	MJ/kg	16,3	Leach (1976)
Herbicidas	MJ/kg MS	214,0	Dalgaard et al. (2001), Hülsbergen et al. (2001), Gezer et al. (2003)
Insecticidas	MJ/kg	278,0	Dalgaard et al. (2001), Hülsbergen et al. (2001)
Fungicidas	MJ/kg	276,0	Dalgaard et al. (2001), Wells (2001), Hülsbergen et al. (2001)
Maquinaria	MJ/litro diésel	12,0	Dalgaard et al. (2001)

Tabla 1: valor de equivalencia energética

Fuente: (Benavides Patiño, 2016)

También se tuvieron en cuenta para esa investigación los siguientes parámetros e indicadores (tabla 2):

Parámetros	Composición
Ingreso de energía directa (IE _d)	Diesel + Electricidad + Lubricantes + Otros
Ingreso de energía indirecta (IE _i)	Fertilizantes + concentrados + Forrajes + Herbicidas + Otros
Ingreso de energía (IE)	IE = IE _d + IE _i
Egreso de energía (EE)	Energía Volumen Unidad de Producto (Kg)
Indicadores	
Eficiencia energética (Ef. E)	Ef. E = EE/IE
Productividad energética (PE)	PE = Producto obtenido/IE

Tabla 2: parámetros e indicadores de energía

Fuente:(Benavides Patiño, 2016)

Según (Benavides Patiño, 2016) concluyen que el análisis energético del sistema revela que tanto el uso de fertilizantes como el empleo de concentrados comerciales con alto contenido proteico están contribuyendo a un manejo ineficiente de los recursos y un alto impacto ambiental. El exceso en la aplicación de nitrógeno, especialmente en los planes de fertilización, y el elevado consumo de concentrados proteicos generan una presión innecesaria sobre los animales, lo que resulta en un aprovechamiento subóptimo de los nutrientes y una mayor excreción de estos al medio ambiente. Esto resalta la necesidad de ajustar las prácticas agrícolas y ganaderas para optimizar el uso de recursos, reducir la ineficiencia y mitigar los impactos ambientales. Al final recomienda realizar un análisis detallado de cada situación particular para implementar soluciones específicas que mejoren tanto la productividad como la sostenibilidad del sistema.

6.2 Marco conceptual

Energía: Energía es la suma de toda la energía de una forma, necesaria para desarrollar un flujo de energía de otra forma, en un período de tiempo dado. Esta herramienta es utilizada para comparar la obra de la naturaleza con la de los humanos sobre una base justa y equitativa. (Izursa Azurduy, 2011) .

Eficiencia energética: La eficiencia energética (EE) se define como el cociente entre la energía requerida para desarrollar una actividad específica, y la cantidad de energía primaria usada para el proceso. (Sánchez & Fuquen, 2014).

Productividad energética: La productividad energética nos permite determinar el comportamiento productivo del agroecosistema en megajoules (MJ). (Purroy-Vásquez et al., 2016).

Ganadería: La explotación ganadera es una actividad económica de origen muy antiguo que consiste en el manejo de animales domesticables con fines de producción para su aprovechamiento. Dependiendo de la especie ganadera, se pueden obtener diversos productos derivados, tales como la carne, la leche, los huevos, los cueros, la lana y la miel, entre otros. (De et al., n.d.)

Calor latente: se refiere a la energía requerida por una sustancia para cambiar de estado. Cuando este cambio supone pasar de fase sólida a líquida, hablamos de calor latente de fusión, y cuando el cambio se produce de estado líquido a gaseoso, hablamos de calor latente de vaporización. (S&P, 2024).

A continuación, se describirán los posibles indicadores que podríamos encontrar en la ganadería regional de Fusagasugá y su importancia en el sistema.

- Indicadores directos

Diésel

El diésel es un combustible líquido usado en motores de compresión. Proviene de una fracción del petróleo que hierve entre 200 y 350 °C, y está compuesto por cadenas de carbono con entre 8 y 21 átomos (Speight, 2011), El combustible diésel se emplea en motores diésel a nivel mundial, tanto en carretera como fuera de ella, incluyendo la agricultura, el transporte ferroviario, marítimo y la ganadería, donde se usa para operar maquinaria, generadores y sistemas de bombeo (Kaiser & McAllister, 2022), Al quemarse, el diésel suele liberar entre 37,7 y 39,1 MJ/l (Speight, 2011).

Gasolina

La gasolina es un combustible líquido utilizado en motores de encendido por chispa. Se obtiene a partir de la destilación del petróleo, con un punto de ebullición que varía entre 30 y 215 °C, y está compuesta por hidrocarburos con entre 5 y 12 átomos de carbono por molécula (Soares, 2015). A nivel mundial, la gasolina se usa principalmente en vehículos ligeros y motocicletas, pero también en maquinaria agrícola, equipos portátiles, y en la ganadería para motores pequeños como motosierras, bombas y generadores (Sarkar, 2015). Al quemarse, la gasolina libera entre 34,9 MJ/l MJ/l (Speight, 2011).

- Indicadores Indirectos

Nitrógeno

En los sistemas ganaderos, el nitrógeno se introduce principalmente mediante fertilización de praderas, suplementos alimenticios ricos en proteína y el estiércol de los animales, que contribuye al ciclo del nitrógeno en el suelo. Como fertilizante, suele aplicarse en forma de urea, nitrato de amonio u otras sales nitrogenadas para estimular el crecimiento del forraje y mejorar la productividad de los pastos (Vonk et al., 2025). También puede ingresar al sistema a través de la suplementación con concentrados que contienen proteínas de alta calidad, las cuales aportan nitrógeno orgánico que luego es excretado y reciclado en el ecosistema ganadero (Vonk et al., 2025). El nitrógeno es un elemento esencial para las plantas, y su aplicación adecuada permite maximizar la producción vegetal, aunque un uso excesivo puede provocar pérdidas por lixiviación o volatilización, con impactos ambientales (Olivier Godinot et al., 2024), su eficiencia energética ha sido estimada en 55,3 MJ por kg (Benavides Patiño, 2016).

Concentrados

Los alimentos concentrados son productos de alta densidad energética y/o proteica que se utilizan en la ganadería para complementar la dieta de los animales, especialmente cuando los forrajes no cubren completamente sus requerimientos nutricionales. Estos alimentos incluyen granos (como maíz, cebada y sorgo), subproductos de la agroindustria (como afrecho de trigo, harina de soya, pulpas secas, entre otros) y mezclas formuladas comercialmente que pueden contener vitaminas, minerales y aditivos ([Glosario de Nutrición Animal] - Ministerio - Mapa.gob.es, 2025).

En los sistemas ganaderos, los concentrados se utilizan para mejorar la eficiencia productiva, acelerar el crecimiento, optimizar la conversión alimenticia y aumentar la producción de leche o carne. Son especialmente importantes en momentos de alta demanda fisiológica, como la lactancia, el engorde final o el crecimiento acelerado de terneros. Además, permiten mantener una nutrición balanceada en condiciones de escasez de pasto o en sistemas intensivos donde el pastoreo es limitado.

6.3 Marco legal:

Ley 89 de 1993

Establece la Cuota de Fomento Ganadero y Lechero y crea el Fondo Nacional del Ganado. (Normatividad | FEDEGAN, s. f.) con esta ley podemos tener un contexto claro de los desafíos económicos que enfrenta las producciones ganaderas en nuestro país y de esta manera contextualizar nuestra investigación

Resolución 16409 de 2024

Establece los requisitos para la certificación en Bienestar Animal en la producción primaria pecuaria. (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, s. f.) el ICA es una de las entidades reguladoras por excelencia, al conocer los requisitos para el bienestar animal en la producción primaria podremos darle un contexto a y podremos juzgar de una manera objetiva las producciones que participen en el trabajo de campo

Resolución 383 de 2021

Establece que la información del Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Animal se limita a establecer el origen, destino, sanidad e inocuidad de los productos de origen animal. (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, s. f.) es importante conocer la trazabilidad de las razas y ejemplares que se movilizan por todo el territorio esto supone un gasto energético lo que debemos considerar.

Lineamientos de Política para la Ganadería Bovina Sostenible – GBS 2021 – 2050 Promueve la modernización y reconversión de las actividades ganaderas tradicionales hacia sistemas ganaderos sostenibles. (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, s. f.) al buscar que sean más sostenibles las producciones ganaderas debemos conocer el concepto para así poder ser oportunos a la hora de hacer algún tipo de recomendación.

Política de Ganadería Bovina Sostenible- GBS 2022-2050

Contiene tres ejes estructurales: sostenibilidad, productividad y mercados; gobernanza e institucionalidad; y financiamiento. (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, s. f.) esta política es muy completa y nos proyecta algo que debemos tener en cuenta pues ¿A dónde va la ganadería en Colombia? ¿le está apostando a una ganadería sostenible con hábitos de consumo que no atenten contra el medio ambiente? ¿podrá suplir la demanda de alimentos que según la FAO aumentaran en un 20%? (El Desafío, 2009.)

Estado del arte

7.1 Bovine energy balance climatology and livestock potential in Nigeria

El estudio se centra en el análisis del balance energético en la ganadería, específicamente en dos razas de ganado, Jersey y Shorthorn, considerando cuatro parámetros climáticos: radiación solar, temperatura, humedad y viento. La metodología empleada incluye un enfoque teórico que integra datos climáticos y de producción ganadera, además de conclusiones previas sobre otros animales cuando es pertinente. Se analizaron los patrones de almacenamiento de energía durante los meses de marzo y julio, así como el potencial de la tierra para sustentar ambos tipos de ganado. Los resultados indican que el patrón de

distribución del término de almacenamiento es predominantemente zonal, aunque presenta irregularidades dependiendo del parámetro climático que más influya. Se identificó que la región alrededor de la meseta de Jos es la más adecuada para la producción ganadera a gran escala. Sin embargo, al considerar el factor viento, el área alrededor de Ibadan se presenta como una alternativa viable. Este análisis proporciona una base teórica para aplicar la climatología del balance energético en la mejora del potencial productivo ganadero en la región.(Ojo, 1971)

7.2. Energy Balance Assessment in Agricultural Systems; An Approach to Diversification

El estudio se centra en la evaluación del balance energético en un sistema agrícola y ganadero en Sri Lanka, utilizando el enfoque de evaluación del ciclo de vida (LCA). Se analizaron 18 cultivos y 5 tipos de ganado, recopilando datos a partir de registros de la granja, contactos personales y literatura existente. Los resultados revelaron un balance energético negativo en la producción agrícola, con un valor de $-316,87$ GJ ha/año, lo que sugiere un sistema eficiente en términos de producción. En contraste, la producción ganadera mostró un balance positivo de $758,73$ GJ año, indicando una mayor pérdida de energía en este sector. La eficiencia del uso del agua (WUE) para la producción agrícola fue de $31,35$ MJ m^{-3} , y el balance energético total de la granja se estimó en $736,2$ GJ año. Estos hallazgos destacan la importancia de evaluar el balance energético en sistemas agrícolas diversificados para promover la sostenibilidad y sugieren que el procedimiento puede ser útil para futuras evaluaciones de huella de carbono en estos sistemas (Dhanapala et al., 2023).

7.3. Multi-objective optimization of integrated crop-livestock system for biofuels production: A life-cycle approach.

El estudio presenta un enfoque innovador y novedoso para optimizar la producción de biocombustibles a partir de un sistema integrado de cultivo y ganadería en una finca del Medio Oeste brasileño. Este método combina la rotación de cultivos, como soja y maíz, con el engorde de ganado en pasturas y corrales, creando diversas y variadas cadenas de biocombustibles, incluyendo biodiesel, bioetanol y biogás. Para llevar a cabo esta optimización, se utiliza un marco de evaluación del ciclo de vida (LCA) que permite medir el impacto

ambiental de cada actividad agrícola y ganadera. Las decisiones se fundamentan en dos métricas clave y esenciales: las emisiones de gases de efecto invernadero y el balance energético, lo que proporciona una visión clara y comprensible sobre la sostenibilidad del sistema.

Los resultados del estudio revelan que el biodiesel producido a partir de soja tiene un mayor potencial energético y genera menos emisiones por kilogramo en comparación con el bioetanol y el biogás. Sin embargo, se destaca que la alta densidad de ganado en los corrales de engorde puede ofrecer un mejor balance energético que la agricultura, siempre que no se incluyan las fases iniciales del crecimiento animal. La optimización sugiere que se debe minimizar la proporción de pasturas en el uso de la tierra. Al aplicar pesos iguales a las diferentes funciones objetivo, se determina que la distribución óptima sería 88,58% para agricultura, 10% para pastura y 1,42% para corrales de engorde. Este modelo no solo es útil y beneficioso para esta finca específica, sino que también puede aplicarse a otros sistemas agrícolas, ayudando a guiar tanto decisiones privadas como públicas en el sector agro energético hacia prácticas más sostenibles y eficientes (Esteves et al., 2021).

7.4. Análisis energético y balance de nitrógeno a escala predial en sistemas ganaderos de lechería especializada en el norte de Antioquia con diferentes niveles de intensificación.

Esta tesis se analizaron 25 sistemas de producción en el norte de Antioquia con diferentes niveles de intensificación, se observó que los valores de exceso e ineficiencia en los sistemas productivo se encuentran directamente ligados con el manejo agro cultural y zootécnico realizado por el productor, también se encuentra que los planes de fertilización se encuentran muy arraigados al nitrógeno por un componente cultural de la región, esto se corrobora con los niveles de nitrógeno ha año referenciados en el estudio, a esto le podemos sumar el uso de alimentos concentrados que supera el contenido de proteína encontrándose en un rango del 16% al 18%, lo que causa un alto uso de nitrógeno en las actividades agropecuarias. Lo cual al final se resume en un exceso y un no aprovechamiento del recurso el cual es devuelto al ambiente por el animal lo que por obvias razones se resume en pérdidas económicas y en impacto ambiental.

También se pudo determinar que Las condiciones particulares de la zona productiva como precipitación, radiación solar, fertilidad de suelos entre otras inciden directamente sobre los parámetros productivos y de uso de las prácticas agronómicas realizadas, incidiendo directamente en el aprovechamiento de los nutrientes ingresados en el sistema (Benavides Patiño, 2016).

7.5 Análisis de la gestión energética en sistemas de producción ganaderos

El artículo que fue publicado en la Revista FAVE - Ciencias Agrarias, estudia la gestión de la energía en dos sistemas de producción de leche y dos de carne, ubicados en diferentes regiones agroecológicas. En el e analizan todos los ingresos de energía al sistema, caracterizados a través de flujos de materia física. La producción obtenida por hectárea se transforma en egreso de energía utilizando coeficientes de contenido energético específicos para cada producto. Para evaluar estos sistemas, se emplean indicadores como la eficiencia energética y la productividad de la energía.

La producción de alimentos se considera un subsistema dentro de cada sistema ganadero, y se realiza un balance energético para cada cultivo que se integra en un balance superior representando el subsistema de alimentación. (DENOIA et al., 2024).

Los resultados muestran que la producción alimentaria es energéticamente eficiente y presenta una alta productividad energética. Sin embargo, los cultivos que requieren altas cantidades de energía indirecta resultan ser los menos eficientes en términos energéticos. En cuanto a los sistemas de producción, se observa que tanto la eficiencia como la productividad energética son bajas en comparación con los subsistemas de alimentación. Los dos sistemas lecheros analizados resultaron ser más eficientes energéticamente que los sistemas productores de carne, con una mayor productividad energética también en estos últimos. Este análisis proporciona una base sólida para comprender cómo se puede mejorar la

gestión energética en la producción ganadera, destacando la importancia de optimizar el uso de recursos y mejorar la sostenibilidad del sistema. (DENOIA et al., 2024)

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

Fusagasugá es un municipio del departamento de Cundinamarca, ubicado en la provincia de Sumapaz con una temperatura aproximada de Temperatura 19 °C. Se encuentra a aproximadamente 70 kilómetros al suroeste de Bogotá, lo que representa alrededor de 2 horas de viaje en automóvil. Este municipio es conocido por su clima templado y su entorno natural, siendo un destino popular para el turismo y la agricultura (Gobernación de Cundinamarca, 2025).

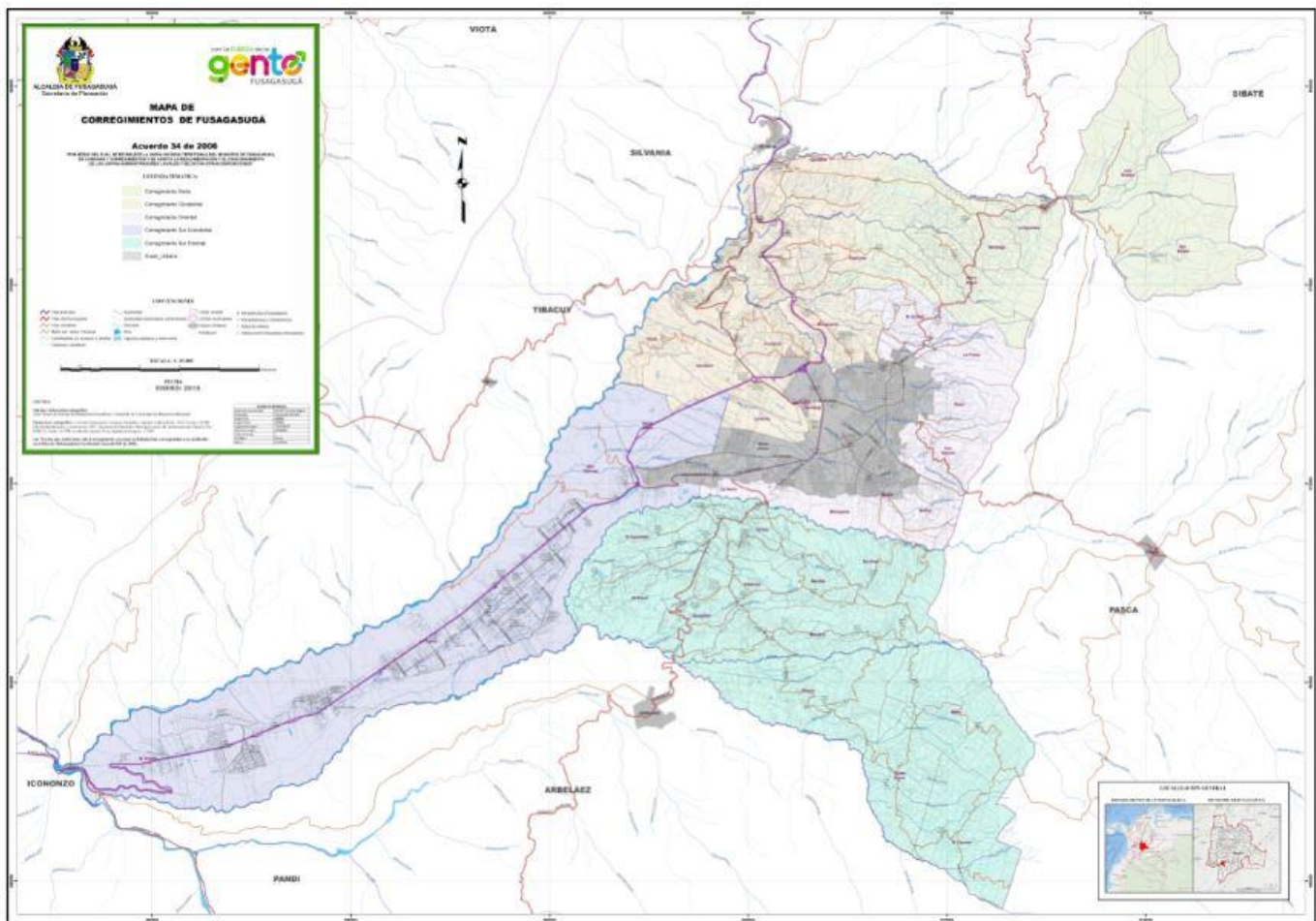


Ilustración 1: Mapa del municipio de Fusagasugá

Fuente: (Cartografía Fusagasugá - Observatorio Fusagasugá, 2024).

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Fusagasugá, Colombia, con una metodología en cascada con los objetivos se desarrolló en cinco fases interrelacionadas:

caracterización de las producciones ganaderas, recolección de datos primarios y secundarios, análisis de flujos energéticos, cálculo de indicadores de emergía y, finalmente, interpretación y recomendaciones. Estas fases están diseñadas para garantizar un enfoque riguroso y sistemático que permita cumplir con los objetivos del estudio. El análisis inicial incluyó la recopilación de información sobre las prácticas actuales, tipos de ganado, y condiciones socioeconómicas de los 939 productores registrados por el ICA en el primer periodo de vacunación del 2024 (Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, s. f.). Para asegurar la representatividad de los resultados, la selección de la muestra de productores se realizó mediante el uso de redes de contacto existentes, aprovechadas en las etapas iniciales de la investigación para reclutar participantes de manera estratégica y garantizar una cobertura adecuada de las distintas realidades productivas de la zona.

Se realizó el cálculo del tamaño de muestra para analizar utilizando la metodología propuesta por José Antonio García y García et al., 2013.

$$n = \frac{N \times Z\alpha^2 \times p \times q}{e^2 \times (N - 1) + Z\alpha^2 \times p \times q}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra necesaria

N: tamaño de la población total

Z α : valor crítico de la distribución normal estándar para un nivel de confianza deseado.

p: proporción esperada de éxito (0.5)

q: complemento de p. (q=1-p)

he: margen de error aceptado

Determinado la necesidad de aplicar 273 encuestas. Para lograr los objetivos planteados en primera instancia se diseñó una encuesta (anexo 1) para captar datos relevantes sobre la producción, el manejo de recursos y las prácticas energéticas en sus sistemas. Posteriormente se realizó la aplicación de esta encuesta estructurada dirigida a los productores ganaderos de la provincia de Fusagasugá Colombia los cuales serán seleccionados al azar, los datos recolectados fueron analizados utilizando estadística descriptiva mediante el uso de la herramienta Excel, Este análisis permitió identificar patrones y

correlaciones que facilitan la comprensión de los flujos energéticos en los sistemas productivos ganaderos.

posteriormente se identificaron los indicadores de emergencia basándose en la información recopilada. Estos indicadores proporcionaron una visión clara sobre la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas productivos en el municipio. A través de esta metodología, se obtuvo un panorama detallado que caracterizó las producciones ganaderas de Fusagasugá Colombia, y también aportó información valiosa para mejorar la gestión energética y fomentar prácticas más sostenibles en el sector agropecuario.

RESULTADOS

Objetivo 1. Caracterizar las producciones ganaderas del municipio de Fusagasugá-Colombia.

Para el desarrollo de este objetivo se encuestaron 273 sistemas productivos ganaderos (anexo 1) obteniendo los siguientes resultados:

En la Gráfica 1, se observa que el 72% de los encuestados compra sus semillas, se evidencia una alta dependencia de fuentes externas para el establecimiento de cultivos. Esta situación podría generar mayores costos de producción y reducir la autonomía del sistema productivo. En contraste, el 28% produce sus propias semillas, lo que constituye una práctica sostenible que debería fomentarse para fortalecer la resiliencia del sistema agrícola.

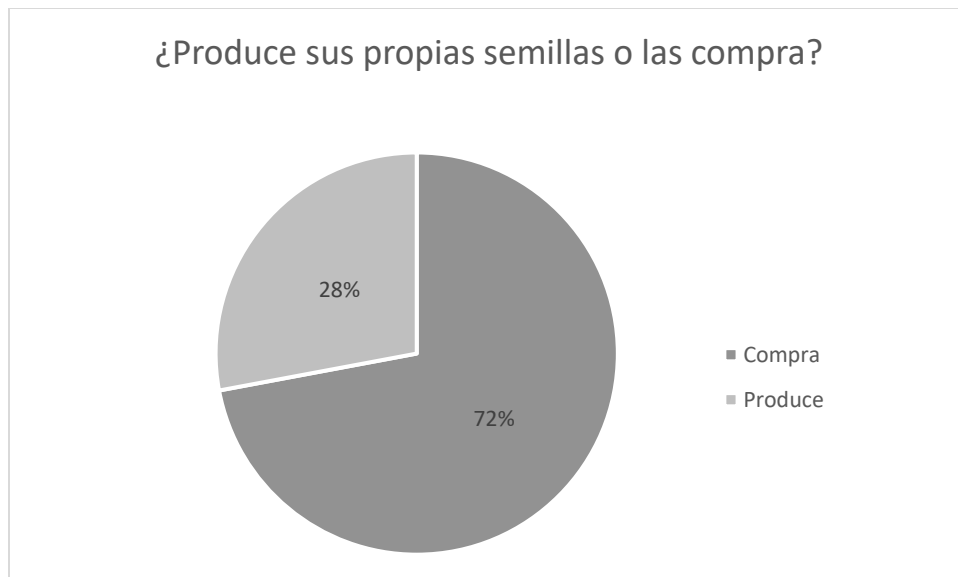


figura 1: Producción de Semillas. **Nota:** Autor propio

En cuanto a la práctica de compostaje, solo el 24% de los productores (Gráfica 2) practica el compostaje, lo que refleja una implementación limitada de técnicas agroecológicas. Esta situación representa una oportunidad significativa de mejora, ya que el compostaje optimiza la gestión de residuos orgánicos, mejora la fertilidad del suelo y contribuye a la reducción del uso de fertilizantes sintéticos.

Además, se identificó una fuerte dependencia de fertilizantes químicos. El 25% de los encuestados aplica 25 kg/ha, mientras que el 22% utiliza 50 kg/ha. Estos datos evidencian una tendencia sostenida hacia el uso de insumos sintéticos, lo que podría comprometer la sostenibilidad del sistema productivo si no se implementan medidas de regulación adecuadas.

Por ello, fortalecer prácticas como el compostaje resulta esencial, ya que no solo contribuye a mejorar la calidad del suelo, sino que también puede reducir los costos económicos y el impacto ambiental asociado al uso intensivo de fertilizantes químicos.



figura 2: Prácticas de Compostaje y Uso de Fertilizantes **Nota:** Autor propio

La mayoría de los productores reportan (figura 3) tener suelos francos (53%), que son ideales para la producción agropecuaria por su buen equilibrio entre retención de agua y aireación. Sin embargo, un 25% cuenta con suelos arenosos, el 19% con suelos limosos, que requieren un manejo diferenciado para evitar pérdidas de nutrientes o problemas de retención hídrica y el 3% con suelos arcillosos o barrosos.

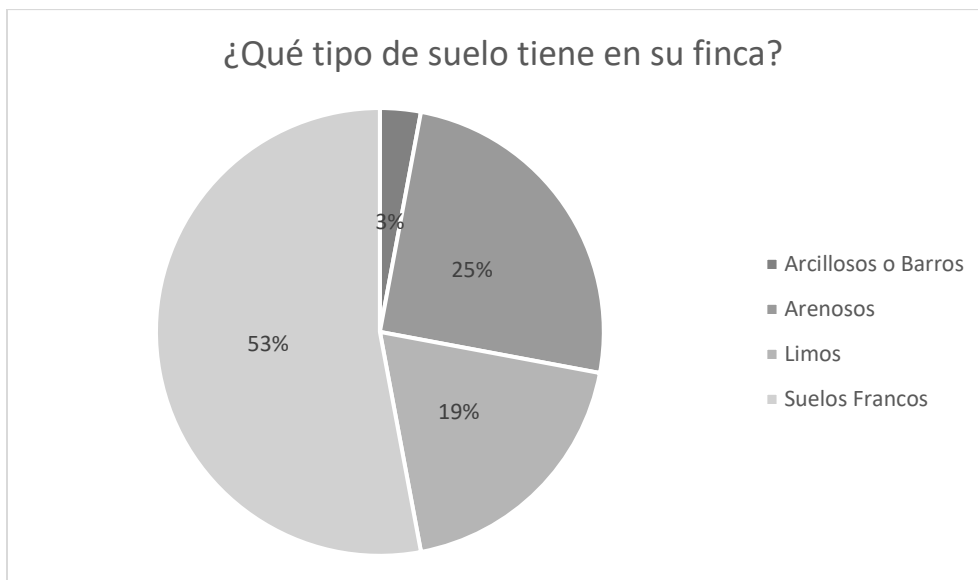


figura 3: Tipo de Suelo Predominante en las Fincas **Nota:** Autor propio

Una alta frecuencia en la aplicación de fertilizantes (figura 4) 87% aplica al menos una vez cada 6 meses sugiere una intensificación del uso de insumos externos, lo que puede incrementar el impacto ambiental si no se acompaña de un manejo adecuado. La frecuencia anual es minoritaria 13%, lo que podría reflejar producciones menos intensivas o con prácticas más sostenibles.

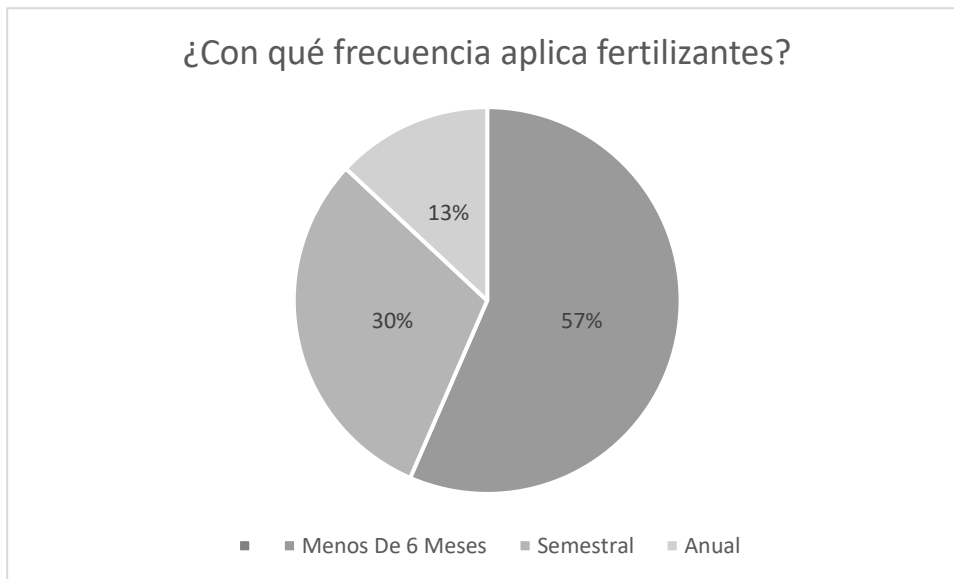


figura 4: Frecuencia de Aplicación de Fertilizantes **Nota:** Autor propio

En cuanto al tipo de fertilizante que utiliza, el 74% de los productores utiliza fertilizantes químicos exclusivamente (figura 5), lo cual está alineado con la alta frecuencia de aplicación mencionada anteriormente y sugiere una dependencia significativa de insumos sintéticos. Solo un 7% utiliza fertilizantes orgánicos de forma exclusiva, mientras que un 19% combina ambos, lo que indica una incipiente transición hacia modelos de producción más sostenibles.

Además, considerando que un 25% de los encuestados aplica 25 kg/ha de fertilizante químico y un 22% aplica 50 kg/ha, se confirma que esta dependencia no solo está generalizada, sino también cuantificada. Este patrón sugiere que el uso de fertilizantes químicos se ha convertido en una práctica rutinaria en la región. En este contexto, aumentar el uso de técnicas como el compostaje no solo es viable, sino

necesario, pues permitiría reducir la carga de insumos externos, mejorar la salud del suelo y avanzar hacia una producción más sostenible y eficiente.

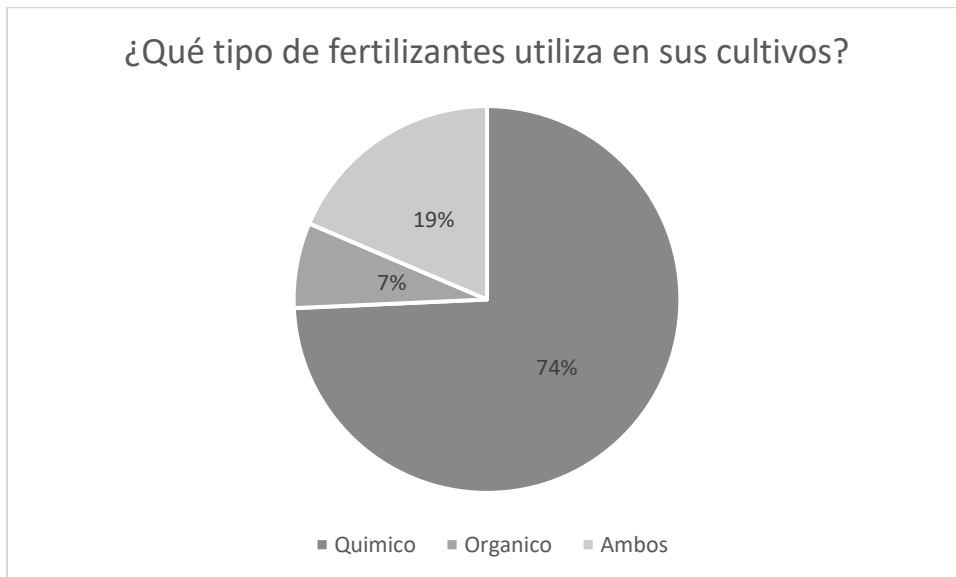


figura 5: Tipo de Fertilizantes Utilizados **Nota:** Autor propio

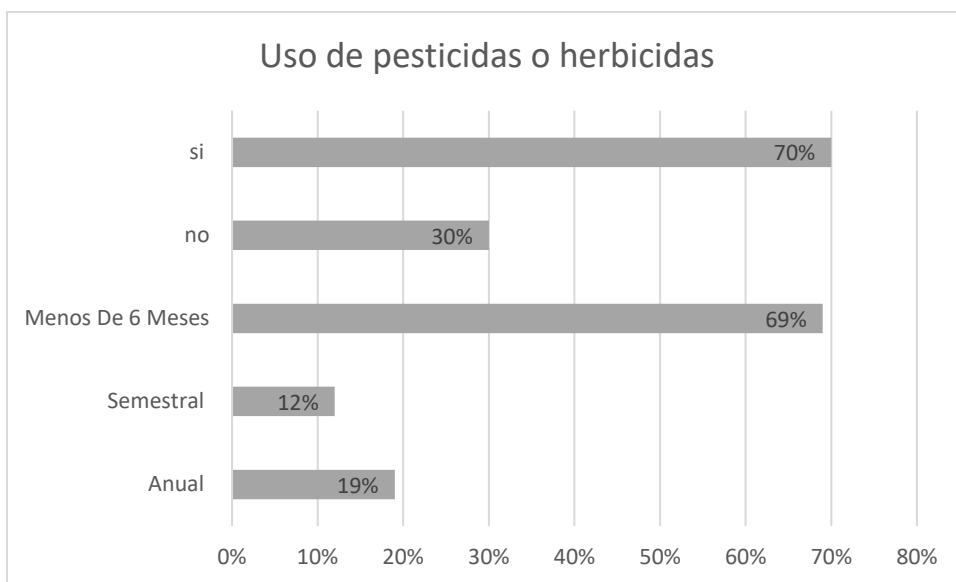
Los resultados evidencian una producción ganadera mayoritariamente convencional, caracterizada por el uso frecuente de fertilizantes químicos, baja implementación de compostaje y dependencia de semillas externas. No obstante, la presencia de suelos francos en más de la mitad de las fincas representa una ventaja natural que podría potenciarse con una mejor gestión de los recursos.

Objetivo 2. Analizar los flujos energéticos de los sistemas productivos ganaderos en el municipio de Fusagasugá-Colombia.

Se realizó el análisis del uso de pesticidas y herbicidas en los sistemas ganaderos de Fusagasugá. Como parte del cumplimiento del segundo objetivo específico, se analizaron los flujos energéticos de los sistemas productivos ganaderos, evaluando la frecuencia con que se utilizan los pesticidas y los herbicidas, dado que pueden constituir una forma sustantiva de ingreso energético indirecto a lo largo de la cadena de valor, como

la producción, el transporte, y la aplicación de estos insumos en los sistemas agropecuarios. Los resultados obtenidos indican que un 70% de los productores ganaderos en Fusagasugá utilizan pesticidas.

También se observa (figura 6) que el 69% de los productores recurren a estas prácticas en menos de 6 seis meses esto puesto que el uso de pesticidas es muy común para la eliminación de ectoparásitos como lo son nuches piojos mosca o garrapata que son muy comunes en este tipo de climas, el 19% reporta una aplicación anual, y un 12% lo hace de manera semestral. Esta alta frecuencia de uso conlleva una mayor carga energética indirecta, ya que los pesticidas y herbicidas tienen factores de equivalencia energética elevados (por ejemplo, herbicidas: 214 MJ/kg; insecticidas: 278 MJ/kg, según Benavides Patiño, 2016).



Gráfica 6: uso de pesticidas o herbicidas **Nota:** Autor propio

En el análisis de los flujos de energía en los sistemas de producción ganadera del municipio de Fusagasugá, existe un aspecto que a menudo es poco valorado en el enfoque de la energía, pero que es importante considerar, la utilización de energía eléctrica en las actividades como lo son el uso doméstico y en el funcionamiento de cerca o cercados eléctricos. La energía eléctrica supone un importante ingreso directo para las fincas, dado que su generación y distribución implican un alto coste energético, aunque no siempre

se incorpora al sistema productivo. La encuesta realizada (figura 7) mostró que el 90% de los productores ganaderos utilizan energía eléctrica en su finca, lo que indica a su vez un alto nivel de adopción de tecnologías que utilizan este tipo de energía.

Este dato puede llegar a ser lo suficientemente significativo si se considera (anexo 1), que el 96% de los encuestados afirman que para su granja su principal fuente de energía es la red eléctrica pública, el 3% de los productores mantiene un generador en la granja, mientras que un 1% utiliza generador y conexión a la red, lo que muestra un bajo grado de diversificación de la matriz del flujo energético de las fincas y una fuerte dependencia de recursos externos. En términos del enfoque de la emergencia, eso quiere decir que la energía utilizada no sólo es importada, sino que también tiene un propio flujo.

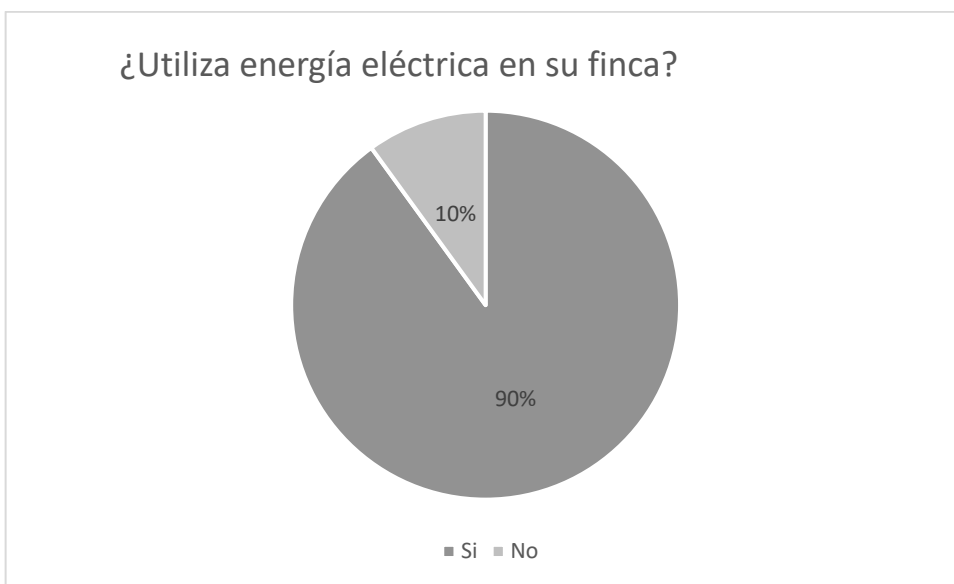


Figura 7: tipo de energía utilizada *Nota: Autor propio*

El análisis de emergencia en los sistemas ganaderos no puede omitir el impacto del uso de combustibles fósiles, ya que estos constituyen una de las principales fuentes de ingreso de energía directa en los sistemas productivos. En el municipio de Fusagasugá, el 59% de los productores ganaderos reportaron el uso de combustibles fósiles como insumo de sus labores cotidianas, especialmente en actividades claves como el ordeño mecánico, bombeo de agua, riego de pasturas, mecanización de labores agrícolas y establecimiento de nuevas praderas. Esta cifra refleja una alta dependencia de fuentes energéticas no renovables, las cuales implican un alto costo energético desde su extracción hasta su uso final en finca. De los encuestados que

afirmaron usar combustibles fósiles (figura 8), se determina que el 73% utiliza tanto diésel como gasolina en sus actividades, el 17% usa exclusivamente gasolina y el 10% utiliza únicamente diésel.

Desde la perspectiva de energía, esta variabilidad es relevante porque cada tipo de combustible tiene un valor de equivalencia energética distinto. Según Benavides Patiño (2016): La gasolina tiene un valor energético de 46.3 MJ/litro y el diésel tiene un valor de 37.7 a 39.1 MJ/litro.

Esto significa que el uso combinado de ambos combustibles representa una carga energética significativa dentro del balance total del sistema. El uso predominante de gasolina, por ejemplo, implica una alta tasa de conversión energética con mayores emisiones de carbono, mientras que el diésel, aunque ligeramente menos energético por litro, suele estar asociado a maquinaria de mayor rendimiento o capacidad.

Este patrón de consumo refleja una realidad productiva intensiva y mecanizada en ciertos procesos, lo que hace imprescindible registrar estos ingresos energéticos como parte del flujo total del sistema. A su vez, esta información permite identificar posibles puntos de optimización en el consumo de combustibles y considerar alternativas de menor impacto, como la electrificación de equipos o el uso de fuentes renovables.

La cuantificación precisa del uso de combustibles fósiles no solo ayuda a calcular con mayor exactitud los indicadores de energía, sino que también permite desarrollar estrategias para reducir la dependencia de recursos no renovables, avanzar hacia sistemas más sostenibles y mejorar la eficiencia energética general.

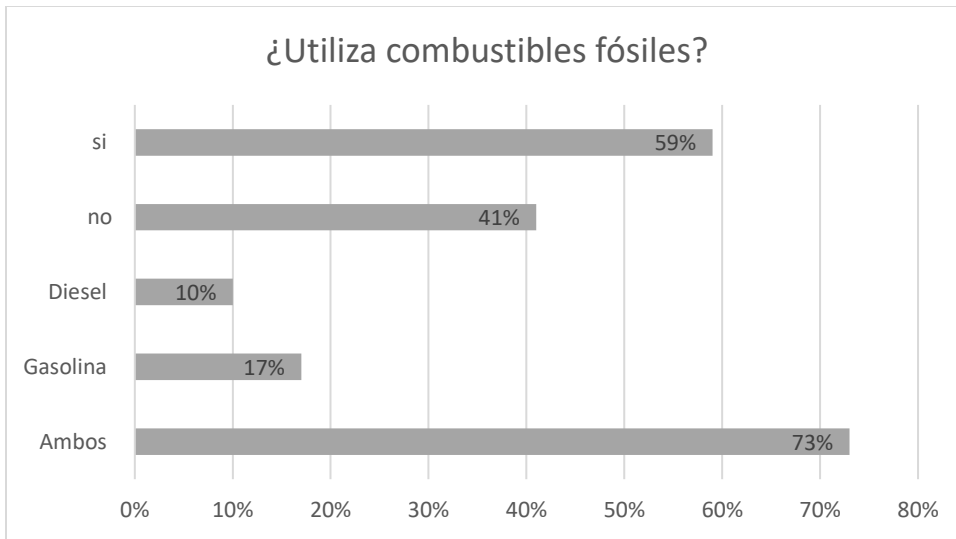


figura 8: tipo de combustible utilizado *Nota: Autor propio*

En el marco del análisis de emergía de los sistemas ganaderos en Fusagasugá, se evaluó el uso de biomasa principalmente leña y residuos de cultivos como fuente energética dentro de las unidades productivas. Los resultados muestran que (figura 9) el 43% de los productores afirmó utilizar biomasa, mientras que el 57% no la emplea en sus actividades.

Aunque su uso aún está presente, especialmente en contextos rurales con acceso limitado a otras fuentes de energía, la biomasa no representa un aporte energético significativo en términos del funcionamiento directo de las labores ganaderas o agrícolas. En la mayoría de los casos, su uso está relacionado con actividades domésticas, como la cocción de alimentos, y no con procesos productivos.

Por esta razón, en el contexto de este estudio, el uso de biomasa no se considerará como un indicador energético relevante, dado que su impacto dentro del sistema productivo es indirecto y marginal. Sin embargo, su presencia aún refleja una posible oportunidad para la implementación futura de tecnologías que permitan aprovechar mejor los residuos orgánicos, como los biodigestores o sistemas de generación de calor.

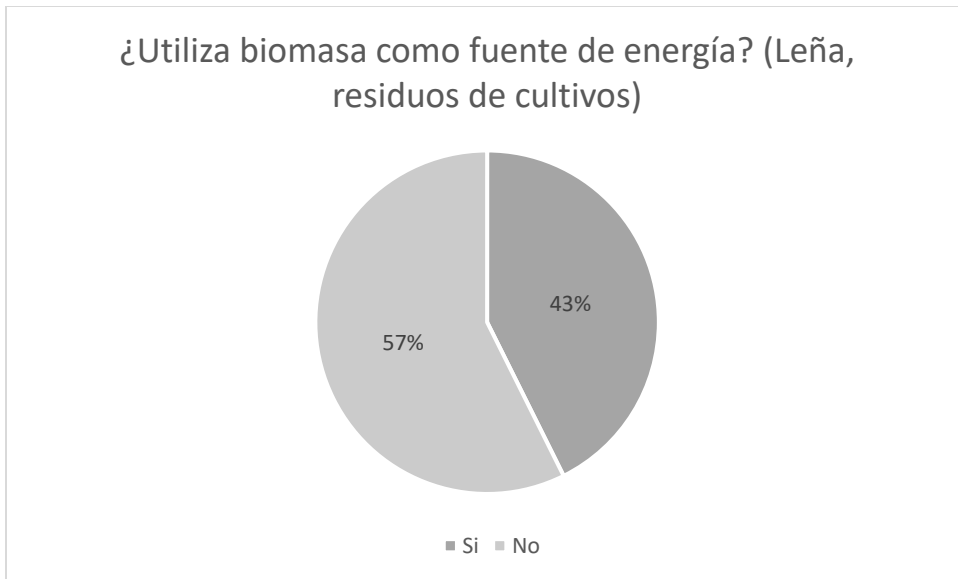


figura 9:utilizacion de Biomasa **Nota:** Autor propio

Dentro de los componentes indirectos del flujo energético en los sistemas ganaderos, el uso de medicamentos veterinarios representa un aspecto que, aunque menos visible, tiene implicaciones importantes en términos de energía. Este tipo de insumos, aunque no siempre se cuantifica en los balances energéticos, implica costos energéticos ocultos derivados de su fabricación, transporte y aplicación.

Según los datos recolectados (figura 10), el 66% de los productores utiliza medicamentos veterinarios “según necesidad”, mientras que el 18% lo hace de manera mensual y un 16% de forma trimestral. Estos resultados evidencian que la gran mayoría de las fincas utilizan productos veterinarios, aunque no bajo un programa regular de control sanitario.

El uso "según necesidad" puede parecer esporádico, pero en la práctica suele ser frecuente, ya que muchos ganaderos consideran necesario aplicar purgantes, vitaminas u otros tratamientos aun cuando los animales no presenten patologías clínicas evidentes. Este patrón se ve reforzado por la ausencia generalizada de programas estructurados de purgas o planes sanitarios estandarizados, como los trimestrales o semestrales, que permitirían mayor control y eficiencia en el uso de estos productos.

Desde el enfoque de energía, este comportamiento indica que la probabilidad de ingreso energético por productos veterinarios es alta, aunque no se registre en periodos fijos. Por lo tanto, no debe ser descartado

como un indicador energético, ya que su uso frecuente, aunque “reactivo” implica un consumo continuo de recursos externos al sistema.

Además, el uso no planificado de medicamentos puede generar riesgos en términos de residuos, resistencias y sobrecostos energéticos si no se gestiona adecuadamente. Este aspecto subraya la importancia de incluir estos insumos en el análisis integral de emergía, con miras a proponer estrategias que aumenten la eficiencia en su uso y reduzcan su impacto ambiental y energético.

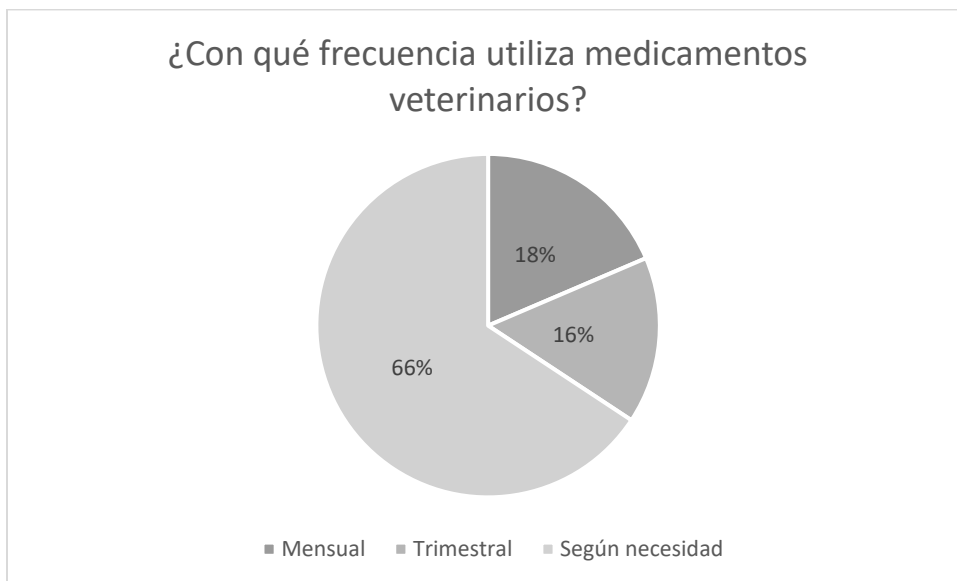


figura 10: uso de productos veterinarios *Nota: Autor propio*

En el análisis de emergía aplicado a los sistemas ganaderos, la alimentación animal representa uno de los componentes más importantes del ingreso de energía directa. En Fusagasugá, (figura 11) el 74% de los productores encuestados indicaron que utilizan concentrados comerciales en sus fincas, mientras que el 26% no lo hace. Esta alta dependencia de insumos externos refleja un sistema productivo que, en buena medida, suple las necesidades nutricionales del ganado con productos industriales formulados.

Los concentrados comerciales tienen un valor energético significativo. De acuerdo con Benavides Patiño (2016), su equivalencia energética es de 6.3 MJ/kg, lo que implica un flujo considerable de energía hacia el sistema, especialmente en producciones intensivas. Estos insumos permiten mejorar la conversión

alimenticia y aumentar la productividad, pero también incrementan los costos energéticos acumulados y la huella ambiental del sistema.

Por esta razón, el uso de concentrados comerciales debe considerarse un indicador energético directo, clave en el balance de energía, y su evaluación permite identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y fomentar prácticas más sostenibles, como el uso de forrajes de alta calidad o el manejo rotacional de praderas.



figura 11: uso de concentrados comerciales *Nota: Autor propio*

Por otro lado, la fertilización de praderas es otro aspecto fundamental dentro del análisis de energía, ya que representa una entrada de energía indirecta al sistema ganadero. En el municipio de Fusagasugá, se evidenció que la gran mayoría de los productores que fertilizan sus praderas lo hacen utilizando productos químicos, dejando en segundo plano las opciones orgánicas.

Uno de los insumos más relevantes en este contexto es el nitrógeno, cuyo uso está ampliamente extendido debido a su impacto positivo sobre la productividad de los pastos. Sin embargo, desde el punto de vista energético, el nitrógeno representa uno de los insumos con mayor carga: 55.3 MJ/kg, según Benavides Patiño (2016). Este valor supera ampliamente el de otros fertilizantes como el fósforo (15.8 MJ/kg) o el potasio (9.3 MJ/kg).

La aplicación frecuente de fertilizantes químicos en las fincas sin planes de manejo técnico, como se observó en los resultados de la encuesta, puede derivar en un uso ineficiente de este recurso, con pérdidas por lixiviación y consecuencias ambientales negativas. Por lo tanto, el uso de fertilizantes químicos, especialmente nitrogenados, debe considerarse un indicador energético indirecto esencial, que permite cuantificar la intensidad del sistema productivo y su dependencia de insumos externos de alta carga energética.

Objetivo 3. Determinar los indicadores de energía en los sistemas productivos agropecuarios ganaderos, basándose en información del municipio de Fusagasugá-Colombia.

Con base en los resultados obtenidos a través de la caracterización de las prácticas productivas y el análisis de los flujos energéticos, se identificaron y clasificaron los principales indicadores de energía que intervienen en los sistemas ganaderos de la región. Estos indicadores se han agrupado en dos grandes categorías: energía directa y energía indirecta, según su forma de ingreso al sistema:

- **Indicadores de energía directa**

Indicador	Justificación	Valor energético (MJ/unidad)
Alimentos concentrados comerciales	Suplementación directa al ganado; el 74% de las fincas los utilizan.	6.3 MJ/kg
Combustibles fósiles (gasolina y diésel)	Se usan para ordeño, riego, bombeo, transporte y mecanización de labores.	46.3 MJ/l (gasolina) 37.7–39.1 MJ/l (diésel)
Electricidad	Se usa en 90% de las fincas para labores como cercas eléctricas y equipos de ordeño. Fuente principal: red pública (96%).	11.93 MJ/kWh
Medicamentos veterinarios	Aunque no se usan regularmente, el 66% los aplica “según necesidad”, por lo que su ingreso energético es frecuente.	Valor variable; se considera energético indirecto de tipo material-producto técnico.

Tabla 3: indicadores de energía directa *Nota: Autor propio*

La energía directa corresponde a los recursos que ingresan al sistema y son utilizados de forma inmediata en las actividades ganaderas, ya sea por consumo del animal, funcionamiento de maquinaria o aplicación en campo.

Estos insumos tienen una relación directa con el funcionamiento diario del sistema productivo. Su uso responde a necesidades inmediatas del proceso (nutrición, mecanización, control sanitario), por lo cual su impacto en el análisis de energía es evidente, constante y cuantificable.

- Indicadores de energía indirecta

La energía indirecta incluye los insumos o recursos cuya producción, transporte y aplicación representan una carga energética para el sistema, aunque no siempre estén presentes visiblemente en el día a día del predio.

Indicador	Justificación	Valor energético (MJ/kg)
Fertilizantes químicos (nitrógeno, fósforo, potasio)	Utilizados por el 74% de los productores; representan un ingreso constante de energía externa al suelo.	N: 55.3 MJ/kg; P: 15.8 MJ/kg; K: 9.3 MJ/kg
Pesticidas y herbicidas	El 70% los utiliza; el 69% los aplica cada menos de 6 meses.	Herbicidas: 214 MJ/kg; Insecticidas: 278 MJ/kg
Semillas compradas	El 72% de los productores adquiere semillas, en lugar de producirlas localmente.	Depende del cultivo; valor energético indirecto incorporado.

Tabla 4: Indicadores de energía indirecta *Nota:* Autor propio

Estos elementos no siempre se observan como consumos diarios, pero su huella energética es significativa debido al proceso de industrialización, transporte y aplicación. Su inclusión en el análisis permite entender la dependencia de recursos no renovables y evaluar la eficiencia real del sistema.

DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo principal analizar los flujos de energía e identificar los indicadores energéticos para los sistemas ganaderos del municipio de Fusagasugá, en el departamento de Cundinamarca, Colombia.

Los resultados obtenidos permiten no solo caracterizar las prácticas productivas predominantes en la región, sino también identificar los principales insumos energéticos que ingresan al sistema, su frecuencia y magnitud, lo que contribuye a comprender la eficiencia y sostenibilidad de estas unidades ganaderas.

Los hallazgos revelan un sistema productivo con una alta dependencia de insumos externos, como fertilizantes químicos, concentrados comerciales, pesticidas, electricidad de red y combustibles fósiles. Esta característica evidencia que las fincas ganaderas de Fusagasugá operan bajo esquemas de producción convencionales e intensivos, que tienden a favorecer el rendimiento a corto plazo, pero que implican una carga energética significativa. Esta situación coincide con estudios previos en agroecosistemas tropicales, como los de Giraldo et al. (2018) y Benavides Patiño (2016), quienes advierten sobre el bajo rendimiento energético neto en sistemas ganaderos que dependen de fuentes no renovables.

Particularmente, es relevante el uso de fertilizantes nitrogenados (74%), cuyo valor energético (55.3 MJ/kg) representa uno de los aportes más altos al sistema, tanto en frecuencia como en impacto ambiental. De forma similar, el uso de concentrados comerciales (6.3 MJ/kg) en el 74% de las fincas indica una estrategia alimentaria dependiente de productos industrializados, más que de forrajes de producción propia. Estas prácticas, aunque eficaces en términos productivos, elevan el costo energético y económico de la producción y reducen la autosuficiencia del sistema.

Otro hallazgo destacado es la frecuencia de uso de pesticidas y herbicidas (70%), con un 69% de productores que los aplican en periodos menores a seis meses. Este patrón de uso recurrente, también reportado en sistemas de caña y pasturas en la región Andina (Mora et al., 2019), indica un sistema de manejo intensivo, con bajos niveles de control biológico o agroecológico, lo cual limita la sostenibilidad del sistema a mediano plazo.

En cuanto a las fuentes de energía utilizadas, el estudio evidenció que el 96% de las fincas dependen exclusivamente de la red pública para alimentar labores productivas como ordeño y funcionamiento de cercas eléctricas. Solo el 3% tiene generadores propios. Este hallazgo pone en evidencia una baja autonomía energética en el territorio, lo que representa un riesgo potencial ante variaciones en costos o disponibilidad del servicio.

Desde el enfoque de emergía, estos resultados tienen implicaciones importantes. En primer lugar, permiten construir balances energéticos más realistas e identificar puntos críticos de intervención. En segundo lugar, orientan políticas públicas hacia la promoción de prácticas más sostenibles, como el compostaje, el manejo rotacional de praderas, o la diversificación de fuentes energéticas. También abren oportunidades para la educación técnica de los ganaderos en temas como eficiencia energética, salud animal planificada y uso racional de insumos.

No obstante, este estudio también presenta limitaciones que deben considerarse. La principal es el enfoque local del análisis, limitado al municipio de Fusagasugá. Si bien sus hallazgos pueden ser representativos de otras regiones con características agroecológicas similares, se requiere ampliar la escala espacial para validar su aplicabilidad en contextos más diversos. Asimismo, aunque se utilizaron valores promedio de equivalencia energética aceptados en la literatura, no se realizó una medición directa de consumo por finca, lo que podría complementarse en estudios posteriores con una evaluación cuantitativa precisa.

Este trabajo representa, una contribución valiosa para la comprensión del contexto ganadero regional, permitiendo visualizar de manera clara el comportamiento energético de los sistemas e identificar los indicadores prácticos para su evaluación. También constituye una base sólida para futuras investigaciones que deseen profundizar en eficiencia energética, impacto ambiental, o transición agroecológica en sistemas ganaderos locales y nacionales

CONCLUSIONES

- Este trabajo de investigación permitió identificar y analizar indicadores claves de emergía dentro de los sistemas productivos ganaderos de Fusagasugá, proporcionando una herramienta integral para evaluar su sostenibilidad energética. A lo largo del estudio, se establecieron diferencias claras entre las entradas directas (como el uso de concentrados comerciales, combustibles fósiles, electricidad y medicamentos veterinarios) y las entradas indirectas (fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas y semillas compradas), todos con un papel determinante en el flujo de energía del sistema.
- Este trabajo representa, además, una valiosa oportunidad para aproximarse al contexto productivo regional, brindando una mirada técnica y contextualizada de la ganadería en Fusagasugá. A través del diagnóstico energético, se identificaron prácticas comunes, fortalezas y limitaciones que abren paso a oportunidades claras de mejora, como la incorporación del compostaje y la fertilización orgánica, la implementación de programas sanitarios planificados, el aprovechamiento eficiente de recursos energéticos como la electricidad y los combustibles, y la diversificación de fuentes energéticas con alternativas renovables como biodigestores o paneles solares.
- Finalmente, este estudio genera las bases para futuras investigaciones, desde el enfoque de emergía hasta áreas complementarias como la eficiencia económica, los servicios ecosistémicos, el bienestar animal y la gestión integrada de insumos. Los resultados obtenidos no solo aportan a la comprensión de la realidad ganadera local, sino que también constituyen un insumo estratégico para el diseño de políticas públicas, planes de extensión rural y modelos de producción más sostenibles, aplicables en Fusagasugá y en otros municipios con condiciones similares.

1. BIBLIOGRAFÍA

- Benavides Patiño, L. M. (2016). Análisis energético y balance de nitrógeno a escala predial en sistemas ganaderos de lechería especializada en el norte de Antioquia con diferentes niveles de intensificación. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58883>
- DCH. (2017, septiembre 21). LAS NUEVAS NECESIDADES EN LA ALIMENTACIÓN EN LAS EMPRESAS | DCH. DCH - Organización Internacional de Directivos de Capital Humano. <https://www.orgdch.org/ltn/las-nuevas-necesidades-en-la-alimentacion-en-las-empresas/>
- DENOIA, J., BONEL, B., MONTICO, & DI LEO, N. (2024). (PDF) Análisis de la Gestión Energética en Sistemas de Producción Ganaderos. ResearchGate. <https://doi.org/10.14409/fa.v7i1/2.1327>
- Dhanapala, S., Nilmalgoda, H., Gunathilake, M. B., Rathnayake, U., & Wimalasiri, E. M. (2023). Energy Balance Assessment in Agricultural Systems; An Approach to Diversification. *AgriEngineering*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5020059>
- Otávio Cavalett, Ferraz, J., & Ortega, E. (2005). Energy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193(3-4), 205–224. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.023>
- Esteves, E. M. M., Brigagão, G. V., & Morgado, C. R. V. (2021). Multi-objective optimization of integrated crop-livestock system for biofuels production: A life-cycle approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111671. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111671>
- El desafío (2009). https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
- Gobernación de Cundinamarca. (2025). municipios. Cundinamarca.gov.co. <https://www.cundinamarca.gov.co/municipios/Fusagasuga>
- Infostat—Software estadístico. (s. f.). Recuperado 28 de noviembre de 2024, de

<https://www.infostat.com.ar/>

Instituto Colombiano Agropecuario—ICA. (s. f.). Recuperado 27 de noviembre de 2024, de

<https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-nacionales/leyes>

Izursa Azurduy, J. L. (2011). Emergía (con M), una herramienta nueva para estimar el valor de la madera en el bosque. *Ecología en Bolivia*, 46(2), 71-76.

MAPA. (2019). *MAPA DE CORREGIMIENTOS ACU 34 de 2006.pdf*. Google Docs.

<https://drive.google.com/file/d/1nRlxv87MEN6kPbHMWKwVEnebc4Zq9by-/view>

Montero Torres, J. (2022). Relación de la radiación solar con la producción de plantas:

Agroproductivas. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(1), 48-62. <https://doi.org/10.53287/oqym7033yy88k>

JOSÉ, N., MIRANDA, C., & HUMBERTO, O. (2019). EL SECTOR DE GANADERÍA BOVINA EN COLOMBIA. APLICACIÓN DE MODELOS DE SERIES DE TIEMPO AL INVENTARIO GANADERO. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación Y Reflexión*, 16(1), 165–177. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-68052008000100012

Muñoz C., M. (2004). DETERMINANTES DEL INGRESO Y DEL GASTO CORRIENTE DE LOS HOGARES. *Revista de Economía Institucional*, 6(10), 183-199.

Normatividad | Fedegán. (s. f.). Recuperado 27 de noviembre de 2024, de

<https://www.fedegan.org.co/normatividad>.

Ojo, O. (1971). Bovine energy balance climatology and livestock potential in Nigeria. *Agricultural Meteorology*, 8, 353-369. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90122-1](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90122-1)

Purroy-Vásquez, R., Gallardo-López, F., Ortega-Jiménez, E., Díaz-Rivera, P., López-Ortiz, S., Torres-Hernández, G., Purroy-Vásquez, R., Gallardo-López, F., Ortega-Jiménez, E., Díaz-Rivera, P., López-Ortiz, S., & Torres-Hernández, G. (2016). Eficiencia energética y económica, bienestar familiar y productividad en agroecosistemas tropicales. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(4), 513-527.

Retrieved April 30, 2025, from <https://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/07/RIMA->

048.2017_GRANJA-NOVEX-%E2%80%93-CRIA-Y-ENGORDE-ANIMALES-BOVINOS-Y-PORCINOS-%E2%80%93-CONSTRUCCION-Y-OPERACI%C3%93N-DE-RELLENO-SANITARIO_EXP.-SEAM-19388.16_NOVEX-S.A.pdf

Sánchez, C., & Fuquen Gonzalez, H. (2014). EFICIENCIA ENERGÉTICA.

https://www.researchgate.net/publication/333089139_EFICIENCIA_ENERGETICA

S&P. (2024, junio 21). Calor latente: Fusión y vaporización | S&P. S&P Sistemas de Ventilación.

<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calor-latente/>

Yepes Jaramillo, G., & Martínez Bustamante, E. (2005). Los balances energéticos en la producción agropecuaria. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3634>

Sánchez, C., & Fuquen Gonzalez, H. (2014). EFICIENCIA ENERGÉTICA.

https://www.researchgate.net/publication/333089139_EFICIENCIA_ENERGETICA

S&P. (2024, junio 21). Calor latente: Fusión y vaporización | S&P. S&P Sistemas de Ventilación.

<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calor-latente/>

Yepes Jaramillo, G., & Martínez Bustamante, E. (2005). Los balances energéticos en la producción agropecuaria. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/36340>

Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming, *Animal Frontiers*.

Animal Frontiers, Volume 7, 6.

Brendon C. Besler, P. M. (2024). Scoping review of precision technologies for cattle monitoring.

Smart Agricultural Technology, 21.

Jairo Mora-Delgado, C. R. (2006). ANÁLISIS BENEFICIO-COSTO Y CUANTIFICACIÓN DE LA ENERGÍA INVERTIDA EN SISTEMAS DE CAFICULTURA CAMPESINA EN PURISCAL, COSTA RICA. PURISCAL: Agronomía Costarricense.

Speight, J. G. (2011). Production, properties and environmental impact of hydrocarbon fuel conversion.

Advances in Clean Hydrocarbon Fuel Processing, 54–82.

<https://doi.org/10.1533/9780857093783.1.54>

Kaiser, M. J., & McAllister, E. W. (2023). Specifications. *Pipeline Rules of Thumb Handbook, 1089–1146.*

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822788-6.00019-0>

Soares, C. (2015). Gas Turbine Fuel Systems and Fuels. *Gas Turbines*, 317–411.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-410461-7.00007-9>

Sarkar, D. K. (2015). Fuels and Combustion. *Thermal Power Plant*, 91–137. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801575-9.00003-2>

Vonk, W. J., Schut, A. G. T., van Ittersum, M. K., Grillot, M., Topp, C. F. E., Hendriks, R., & Hijbeek, R. (2025). Environmental effects of improved regional nitrogen cycling in crop-livestock systems – A generic modelling approach. *Agricultural Systems*, 224, 104244.

<https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.104244>

Olivier Godinot, Jouan, J., Nesme, T., & Matthieu Carof. (2024). Evidence of a rebound effect in agriculture: Crop-livestock reconnection beyond the farm gate does not always lead to more sustainable nitrogen management. *Agricultural Systems*, 221, 104137. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.104137>

[Glosario de nutrición animal] - Ministerio - mapa.gob.es. (2025). Mapa.gob.es.

<https://www.mapa.gob.es/app/nutricionanimal/glosarionutricionanimal.aspx>

Jairo Mora-Delgado, C. R. (2006). Análisis beneficio-costo y cuantificación de la energía invertida en sistemas de cafcultura campesina en Puriscal, Costa Rica. *Puriscal: Agronomía Costarricense*.

José Antonio García-García, Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. C. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación En Educación Médica*, 2(8), 217–224.

[https://doi.org/10.1016/s2007-5057\(13\)72715-7](https://doi.org/10.1016/s2007-5057(13)72715-7)

2. ANEXOS

Anexo 1. Flujos Energéticos en Sistemas de Producción Ganadera

El objetivo de esta encuesta es obtener información detallada sobre los insumos y productos de la finca, así como los flujos de energía asociados.

DATOS GENERALES DE LA FINCA

1. UBICACIÓN (País, Municipio, Vereda y/o corregimiento)

Generales Sobre El Sistema De Producción

2. ¿Produce sus propias semillas o las compra?

- Compra
- Produce

3. ¿Realiza compostaje?

- Si
- No

4. ¿Qué tipo de suelo tiene en su finca

- Arenosos
- Limos
- Suelos
- Francos
- Arcillosos o Barros

5. ¿Con qué frecuencia aplica fertilizantes?

- Menos De 6 Meses

- Semestral
- Anual

6. ¿Qué tipo de fertilizantes utiliza en sus cultivos?

- Químico
- Orgánico
- Ambos

7 ¿En Qué Cantidad? (Kg/ha)

8¿Utiliza Pesticidas O Herbicidas?

- SI
- No

9¿Con Qué Frecuencia?

- Menos De 6 Meses
- Semestral
- Anual

Energía

10. ¿Utiliza energía eléctrica en su finca?

- Si
- No

3. ¿Cuál Es Su Principal Fuente De Energía Eléctrica?

- Red pública
- Generador propio Mixta

4. ¿Utiliza combustibles fósiles?

- Si
- No

14. ¿qué tipo de combustible?

- Diesel

- Gasolina
- Ambo

15. ¿Utiliza biomasa como fuente de energía? (Leña, residuos de cultivos)

- Si
- No

16. ¿qué tipo de biomasa?

- Leña
- residuos agrícolas Ambos

Ganado

17. ¿Con qué frecuencia utiliza medicamentos veterinarios?

- Mensual
- Trimestral
- Según necesidad

Alimentación

18. ¿Qué tipos de forrajes produce?

- Pastos naturales
- Pastos cultivados
- Ensilaje
- Heno
- Otras

19. ¿Utiliza fertilizantes en sus pasturas?

- Si
- No

20. ¿Qué tipo de fertilizantes usa en sus pasturas?

- Químico
- Orgánico

- Ambos

21. ¿Utiliza concentrados comerciales?

- Si
- No

22. ¿Ha considerado utilizar energías renovables en su finca?

- Solar
- Eólica
- Bio Gas
- No
- Otras

