

Capítulo 6.

Huella de carbono de la ganadería bovina de carne y leche en Colombia, para cinco departamentos – año 2016; retos y perspectivas

Rubén Castillo Tabares*

*<https://orcid.org/0000-0002-1522-482X>
rcastillo@usc.edu.co*

Marlyn Vanessa Vargas*

*<https://orcid.org/0000-0001-8473-5212>
marlyn.vargas00@usc.edu.co*

Andrea Vejarano*

*<https://orcid.org/0000-0003-2781-7865>
andrea.vs94@gmail.com*

*Universidad Santiago de Cali
Cali, Colombia

Cita este capítulo:

Castillo Tabares, R., Vargas, M. V. y Vejarano, A. (2020). Huella de carbono de la ganadería bovina de carne y leche en Colombia, para cinco departamentos – año 2016; retos y perspectivas. En: Andrade Agudelo, D. L. (Ed. científica). *Estudios de Economía Aplicada* (pp. 145-186). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

Huella de carbono de la ganadería bovina de carne y leche en Colombia, para cinco departamentos – año 2016; retos y perspectivas

Rubén Castillo Tabares

Marlyn Vanessa Vargas

Andrea Vejarano

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es efectuar una estimación de la huella de carbono (HdC) a través de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), considerados como gases contaminantes que deterioran la atmósfera y contribuyen al calentamiento global, producto de la ganadería bovina de carne y leche en Colombia para los departamentos de Antioquia, Córdoba, Casanare, Meta y Cesar que aportan cerca del 50% de la producción ganadera bovina. El procedimiento para el cálculo de la huella de carbono se realizó con base en la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) para el sector ganadero, y fundamentados en el direccionamiento y estándares internacionales utilizando el Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés). Se usan y exploran variables contenidas en los datos de actividad ganadera medidos por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Censo Nacional Agropecuario (CNA) y la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). Los resultados indican que en promedio las emisiones generadas por la producción de carne son mayores que las de leche. Sin embargo, este comportamiento no se da igual en todos los departamentos incluidos en la simulación, toda vez que Antioquia presenta mayores emisiones en la producción de leche con 4.067.7 toneladas de CO₂-eq contrastados con 3.830.7 toneladas de CO₂-eq

derivados de la producción de carne. Siguiendo en este razonamiento, el departamento que más emisiones genera por la producción de carne y leche es Casanare, con una HdC mayor de kg CO₂-eq, seguido por Antioquia, Meta, Córdoba, y finalmente Cesar.

Carbon footprint of beef and dairy cattle farming in Colombia, for five departments – year 2016; challenges and prospects

Abstract

The purpose of this work is to make an estimate of the carbon footprint (HdC) through the emissions of Greenhouse Gases (GHG), considered as polluting gases that deteriorate the atmosphere and contribute to global warming, of beef and dairy cattle farming in Colombia for the departments of Antioquia, Córdoba, Casanare, Meta and Cesar, which contribute close to 50% of bovine livestock production. The procedure for calculating the carbon footprint was carried out based on the methodology of life cycle analysis (LCA) for the livestock sector, and based on international guidelines and standards using the Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Variables contained in the livestock activity data measured by the National Administrative Department of Statistics (DANE), the National Agricultural Census (CNA) and the National Agricultural Survey (ENA) are used and explored. The results indicate that on average the emissions generated by the production of meat are higher than those of milk. However, this behavior is not the same in all the departments included in the simulation, since Antioquia has higher emissions in milk production with 4,067.7 tons of CO₂-eq contrasted with 3,830.7 tons of derived CO₂-eq. from meat production. Following this reasoning, the department that generates the most emissions from the production of meat and milk is Casanare, with a HdC greater than kg CO₂-eq, followed by Antioquia, Meta, Córdoba, and finally Cesar.

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería en Colombia presenta diversos sistemas de producción para obtener carne y leche. Estas actividades contribuyen al deterioro del medio ambiente en su interacción permanente con los recursos naturales que emplean en cada etapa del proceso productivo, y afectan el suelo, los bosques, el agua, y los servicios ecosistémicos por la emisión de gases de efecto invernadero – GEI, considerados como gases contaminantes que deterioran la atmósfera y contribuyen al calentamiento global. Tales afectaciones se manifiestan en el deterioro de los recursos naturales, a causa de la deforestación para crecimiento y resiembra en tierras con cultivos permanentes y pastizales, reducción de la capacidad de retención hídrica del bosque, pérdida de hábitats y biodiversidad. Desencadena la extinción de especies de flora y fauna seguido de una aceleración del cambio climático (CC), entre otras externalidades negativas. Estos hechos son evidencia de una ruptura entre el modelo de producción de carne y leche, estilos de vida y la responsabilidad económica y social hacia el uso de los recursos naturales y el desarrollo económico de Colombia.

En Colombia hay ya formulada una política de cambio climático – CC – desarrollada por el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). En 2011, el CONPES (3700) definió la necesidad de un marco institucional para el CC, estableciendo el Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA), como la institución responsable de coordinar y promover la política y la acción del CC. En vigor desde 2016, a través del Decreto Presidencial, SISCLIMA coordinará la implementación de cuatro estrategias prioritarias de CC: el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (CCNAP); la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (CLCDS); la Estrategia Nacional REDD + (ENREDD +) y la Estrategia para la protección fiscal contra los desastres naturales. Colombia ratificó el Acuerdo de París el 16 de junio de 2017 y la Contribución determinada a nivel nacional (NDC) del país (World Bank Group, 2020).

En esta línea, es evidente que las mencionadas externalidades negativas son objeto de atención. En Colombia se realiza en pro de la sostenibilidad de la ganadería bovina, un trabajo en el marco del proyecto “Ganadería sostenible” con acciones nacionalmente apropiadas de mitigación – NAMAS– en los departamentos de Caquetá y Casanare. A la vez, son un asunto de discusión pública por parte de organismos e instituciones pertinentes. En las instancias que lo demanden, existe apoyo con recursos de cooperación internacional para la reconversión ganadera hacia la sostenibilidad. Sin embargo, dichas acciones distan de estar orientadas a crear incentivos privados (reducción de la producción y el consumo) conducentes al cálculo e inclusión de los costos económicos de producción de carne y leche por gastos de mitigación, compensación o tasas retributivas.

A este esfuerzo se suman los trabajos de investigaciones académicas y científicas acerca de la magnitud de estas emisiones, de su impacto real sobre la disponibilidad de los recursos naturales y su necesaria regulación para mitigar o compensar dichos efectos. Pero las acciones en este sentido no son suficientes y están vinculadas a aspectos sociopolíticos que establecen lineamientos para impulsar al sector pecuario y aunque vinculan la relevancia de los servicios ecosistémicos de las prioridades del desarrollo económico, no son suficientes para identificar las consecuencias de los altos costos ambientales.

En instancias internacionales las emisiones de GEI en las diferentes actividades económicas y de la producción de ganado son objeto de un tema de debate e ilustración. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO por sus siglas en inglés), por ejemplo, aborda el análisis desde los distintos tipos de interacciones de la crianza de bovinos con los recursos naturales hasta escenarios de regulación posibles. Asimismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) señala la importancia de acciones innovadoras que permitan la conservación de la diversidad biológica, partiendo de cambios en la sociedad, inherentes al uso de la tierra, el

agua y demás recursos, además de propender por modificar los hábitos de consumo y transformar los sistemas alimentarios para crear un escenario sostenible y sustentable para esta y las futuras generaciones.

En trabajos realizados por la FAO se considera que desde una perspectiva económica y ecológica, las actividades del sector pecuario ejercen una presión desproporcionada sobre el medio ambiente, en relación con su importancia económica a escala mundial (cfr. Steinfeld et al., 2009). No obstante, su producción presenta un aumento permanente al igual que los cultivos para la alimentación de ganado causando gran parte de la expansión de las fronteras agropecuarias y la deforestación. En tal sentido, los usos del suelo y el cambio en la cobertura vegetal son los principales impulsores de las modificaciones en el escenario ambiental regional que afectan los ecosistemas, la biodiversidad, y promueven la degradación física y química de los suelos (Magrin, 2015).

El problema es que al no disponer de estudios que aborden la cuantificación de las emisiones de GEI de estas actividades económicas en particular, no será posible efectuar estudios de valoración de los verdaderos costos ambientales de este tipo de emisiones y por lo tanto no habrá estimaciones del verdadero costo de oportunidad económico y social. Las actividades ganaderas pueden extralimitar los niveles de capacidad de carga de los ecosistemas y particularmente, llevar a niveles de emisión de gases efecto invernadero mayores seguido de aumentos en la temperatura global. Estos factores pueden llegar a ser más costosos que los beneficios derivados de la producción ganadera, ocasionando mayores efectos negativos y deterioro ambiental.

Como un aporte a la disponibilidad de indicadores de emisiones de GEI originadas en las actividades ganaderas el presente trabajo se propone efectuar una estimación de la huella de carbono a través de las emisiones de GEI de la ganadería bovina de carne y leche en Colombia para los departamentos de Antioquia, Córdoba, Casanare, Meta y Cesar que aportan cerca del 50% de la producción ganadera bovina.

En este sentido, el aporte principal de la investigación es ser una de las primeras aproximaciones para abordar el estudio de las emisiones directas de GEI en Colombia, a través de la metodología y aplicación del modelo Global Livestock Environmental Assessment Model 2.0 (GLEAM) de la FAO, al realizar los cálculos de las emisiones, así como un análisis económico y ecológico de los efectos ambientales derivados de los sistemas de producción ganadera sobre el calentamiento global.

Para este fin, el presente documento se organiza en seis apartados. Comenzando en primer lugar por la presente introducción, seguidamente se desarrollan los conceptos más relevantes y pertinentes para abordar el estudio de los GEI, a partir de huella ecológica y huella de carbón, ciclo de vida de la producción ganadera y el modelo de contabilidad ambiental. A continuación, se efectúa una breve descripción de la metodología propuesta por el modelo GLEAM desarrollado por la FAO para el cálculo de la huella de carbono de todas las etapas de producción de ganado bovino de carne y leche. A continuación, se presenta una síntesis de los resultados tanto a nivel de departamento como a nivel de sistema de producción, finalmente las conclusiones y recomendaciones resultantes.

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Se aborda el concepto de huella ecológica (HE) mediante el cual se fundamenta el análisis empírico de los efectos de las actividades ganaderas sobre el medio ambiente y, específicamente, su aplicación para hacer una aproximación al concepto de huella de carbono (HdC) y su utilización para el cálculo de las emisiones de GEI por parte de las mencionadas actividades. Todo esto permite una aproximación para comprender la relación de la huella de carbono con la ganadería y su posible impacto sobre el calentamiento global

2.1. Huella ecológica (HE)

El uso de los recursos naturales se realiza bajo sistemas de producción propios de cada actividad económica. Una de las características de los sistemas es la búsqueda de la maximización privada de beneficios a partir de la explotación de los recursos, sin embargo, a medida que aumenta la producción la carga ambiental también lo hace, dejando a su paso rastros inherentes a las fases sucesivas de cada sector. Los rastros son la suma de sucesos, que se expresan a través de indicadores y uno de ellos es la huella ecológica.

La HE parte del estudio de las interacciones entre el sistema natural y los subsistemas sociales y económicos teniendo en cuenta los límites físicos y biológicos de los ecosistemas (Wackernagel & Rees, 1998). La HE es un indicador diseñado por Wackernagel & Rees (1998), que describe “los efectos en términos de superficie terrestre y lo compara con la superficie productiva limitada disponible en una región.” (p. 22). La HE se presenta como una herramienta contable que permite estimar el consumo de recursos y la asimilación de desechos de una definida población humana o económica en términos de su correspondiente área o tierra productiva (Wackernagel & Rees, 1998).

En lo relativo a la tierra, permite medir su capacidad para generar recursos y para absorber los contaminantes, midiendo la cantidad de hectáreas globales que se requieren para desarrollar el estilo de vida que se tiene en el planeta tierra, de acuerdo con la demanda de recursos naturales. Su aplicación se extiende desde personas individuales, hasta empresas, ciudades, países y demás. Una de las mediciones que más aquejan en el mundo actual, es la capacidad de la tierra para abastecer a la humanidad y mantener la biodiversidad.

La HE se sustenta en la observación de los aspectos tales como las edificaciones y el espacio en hectáreas necesarias para su construcción, así como las infraestructuras y demás, necesarias para su normal

funcionamiento, en la agricultura: la cantidad de hectáreas que se requieren para producir alimento necesario; en la ganadería: superficie necesaria para pastos que alimentan el ganado; en pesca: las áreas de mar, ríos o lagos suficientes para el cultivo del pescado a producir; en actividades forestales: las superficie de bosques requerida para la producción forestal, como madera, papel, etc.; y dióxido de carbono: superficie en hectáreas de bosque necesarias para compensar el CO₂ que provoca nuestro consumo energético.

La HE es un indicador medio ambiental de sostenibilidad a nivel internacional, analiza las demandas humanas sobre la biosfera respecto a la capacidad del planeta para regenerarse; de tal forma, se puede determinar si hay capacidad para mantener la demanda humana.

Por lo tanto, el concepto de la huella ecológica determina que el planeta tiene una capacidad finita en recursos ecosistémicos, ignorar esta premisa pone en peligro el bienestar futuro de la humanidad, por lo tanto, aceptar que el planeta tiene una capacidad de carga global limitada mejorará la toma de decisiones entorno al bienestar (Wackernagel & Rees, 1998). De esa manera, la HE opera como un marco conceptual para comprender el sistema de agricultura en el centro de esta trayectoria, el complejo industrial de granos, oleaginosas y ganado, que ocupa alrededor del 30% de la tierra cultivable del mundo, y sus trascendentales implicaciones para la desigualdad humana, cambio ecológico y vida animal en la tierra.

2.2. Huella de carbono

El concepto de HdC es muy amplio, no hay un consenso de la comunidad científica en torno a una definición aceptada comúnmente (Espíndola & Valderrama, 2012), el enfoque metodológico presenta un marco aún no definido, pero han contribuido con propuestas investigativas autores como Costanza, Daly, y Bartholomew (1991), Leontief (1982) y Víctor (2017).

Por su parte, la HdC cuantifica la cantidad de emisiones de GEI, expresadas en toneladas de CO₂ equivalente, que son expulsadas a la atmósfera como subproductos de las distintas actividades humanas, en otras palabras, es la suma absoluta de las emisiones de GEI, lo que permite medir los rastros de las actividades en el medio ambiente. Por tanto, este indicador resulta de vital importancia para evaluar los posibles escenarios de mitigación en la producción, en nuestro caso específico de la producción pecuaria en el sector ganadero, pertinente en el estudio de los GEI expulsados por la producción bovina.

La HdC, es la sub huella más importante dado que su participación en la huella ecológica es de casi el 50% (Loh et al., 2008), la cual se define como la cantidad de emisión de gases relevantes para el cambio climático asociadas a las actividades de producción o consumo de los seres humanos (Schneider & Samaniego, 2009). La HdC se centra en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) pero también abarca otros gases mucho más complejos como óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y ozono (O₃), medidos en kilogramos o toneladas de emisión de GEI emitidos por persona o actividad.

El presente estudio se limita al estudio de la huella de carbono de las actividades ganaderas en Colombia, utilizando el concepto de huella de carbono y la metodología propuesta por la FAO en el modelo GLEAM 2.0, para estimar el cálculo de emisiones por tipo de gas que contribuyen a la huella de carbono generada por las actividades ganaderas. Por esta razón, la decisión recae en un análisis del impacto de la ganadería bovina en Colombia, desde la perspectiva de la economía ecológica descrita por Nicholas Georgescu-Roegen y abordada también por autores como Joan Martínez Alier, entre otros. Dicha teoría es una herramienta que permite ser contrastada, en el contexto de la actividad productiva para obtener carne y leche de los bovinos, pues la cantidad de recursos que son requeridos en la industria supone la intensión de aproximarse cada vez más al crecimiento de la economía, sin embargo, los riesgos colaterales como la escasez de recursos entendidos como externalidades negativas, no son tenidos en cuenta.

2.3. Análisis de ciclo de vida (ACV)

También conocido como análisis del nacimiento a la muerte, balance ambiental, balance ecológico o evaluación del ciclo de vida (ACV), es una herramienta de diseño que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia, tales como: extracción, producción, distribución, uso y fin de vida (reutilización, reciclaje, valorización y eliminación/disposición de los residuos/desecho). El análisis abarca el ciclo de la vida completo, partiendo desde la elaboración del producto hasta el destino final, contabilizando los GEI que resultan de cada etapa de la producción pecuaria.

2.4. Modelo de contabilidad ambiental de la ganadería (GLEAM)

El modelo Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) o en español Modelo de Evaluación Ambiental Global, fue desarrollado por la División de Producción y Sanidad Animal de la FAO; es una herramienta con capacidad de evaluar las interacciones entre la ganadería y el medio ambiente. Simula las actividades y procesos biofísicos de las cadenas de suministro de la ganadería siguiendo una metodología de análisis de ciclo de vida (ACV). Cubre once principales productos ganaderos a escala global, como lo son la carne y leche de ganado vacuno, ovejas, cabras, búfalos, cerdos, pollos y huevos de las gallinas. Para este caso, se abordará la evaluación de la especie bovinos, excluyendo las demás.

El modelo GLEAM tiene como objetivo cuantificar la producción ganadera y consecuentemente la utilización de recursos naturales por parte del sector, así como la identificación de los impactos ambientales de la ganadería con el fin de contribuir a la evaluación de escenarios de mitigación para el desarrollo de un sector ganadero más sostenible. Los resultados del modelo contribuyen a una evaluación o análisis más preciso para adoptar prácticas sostenibles en los sistemas ganaderos y de producción, generar mayor eficiencia, mejorar medios de vida

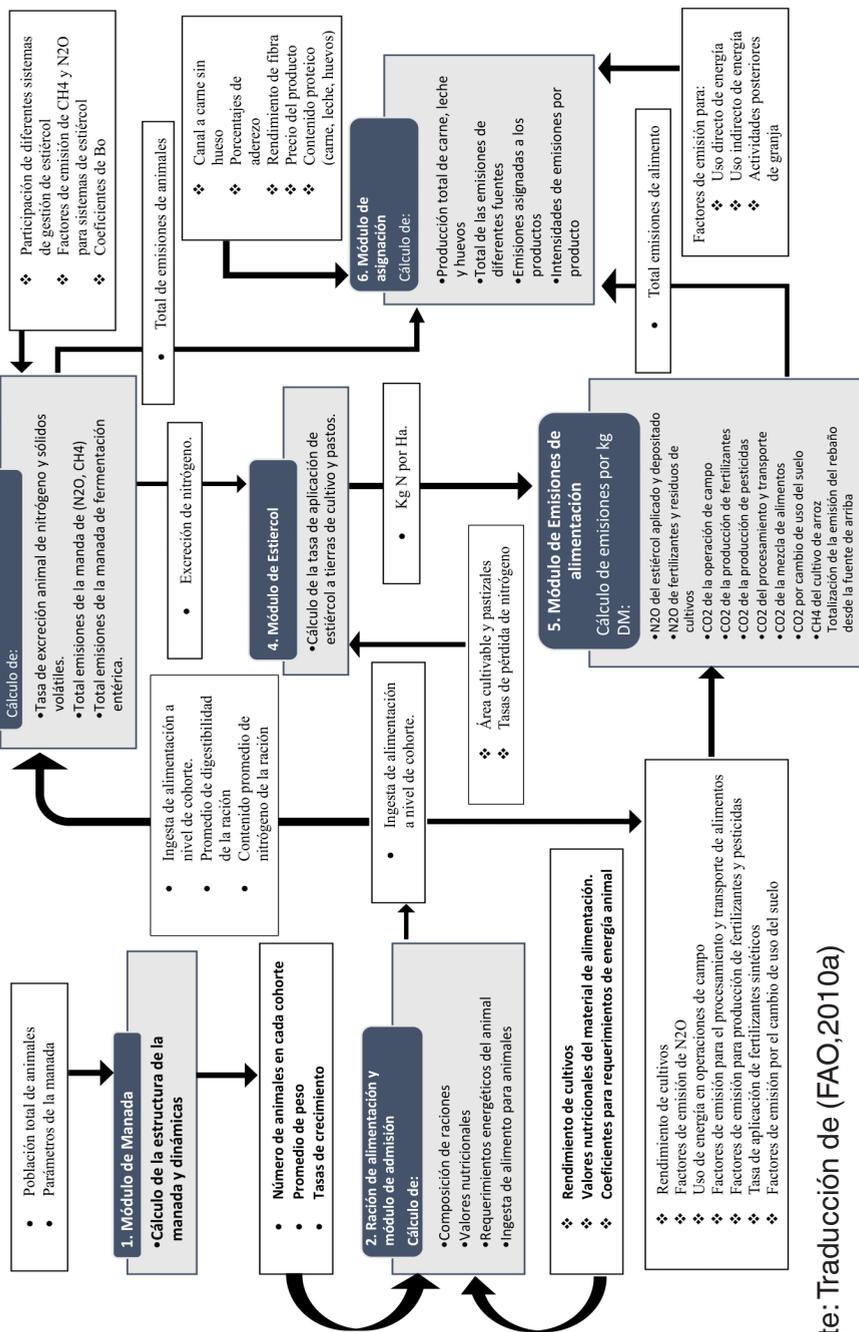
para los agricultores y ganaderos, así como mitigar los impactos ambientales. Además, se desarrolla en un Sistema de Información Geográfica (GIS) y proporciona estimaciones espaciales sobre gases de efecto invernadero (GEI) y productos básicos para la producción de alimentos, lo que permite el cálculo de la intensidad de la emisión para cualquier combinación de los productos básicos y los sistemas de granja en diferentes escalas espaciales. En ese orden, GLEAM utiliza información espacialmente explícita de una amplia variedad de fuentes y se basa principalmente en las directrices del IPCC (2006) para calcular las emisiones.

Con el modelo se realizan mediciones a partir de las etapas clave que intervienen en el proceso pecuario, como la producción, el procesamiento y el transporte de forrajes; las dinámicas poblacionales y de alimentación de la manada; la gestión del estiércol y su procesamiento; transporte de los productos de origen animal (carne, leche, entre otros). Estos registros permiten determinar los impactos específicos de cada etapa, otorgando una visión más amplia del panorama de la producción y el uso de los recursos naturales.

El modelo GLEAM, posibilita el estudio de diferentes clases de sistemas de producción ganadera e incorpora los pastizales, sistemas agrícolas mixtos y lotes de alimentación/engorde. Incluye valores predeterminados para todas las variables y se muestran en función del país de destino. El modelo está dividido en tres módulos a saber; Módulo de manada, Módulo de Alimentación, Módulo de desechos/manejo de estiércol

A continuación, se presenta la Figura 15 que ilustra la ruta a seguir para la aplicación por módulo y etapa de las especies explotadas en las actividades pecuarias. GLEAM se basa en seis módulos que representan las principales etapas de la cadena de suministro de la granja: i) la manada/hato, ii) la ración de alimentación, iii) emisiones de los animales, iv) el estiércol, v) emisiones por alimentación, vi) módulo de asignación.

Figura 15. Descripción de la estructura del modelo GLEAM



Fuente: Traducción de (FAO,2010a)

3. Metodología

El procedimiento para el cálculo de la HdC se realizó con base en la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) para el sector ganadero, acorde a lo planteado por la Gestión Ambiental Responsabilidad de Todos (CAR et al., 2013), y fundamentados en el direccionamiento y estándares internacionales (Páez et al., 2018). Se usan y exploran variables contenidas en los datos de la actividad ganadera medidos por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2014 y la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2016, agotando los siguientes pasos:

- **Paso 1:** seleccionar los límites de análisis.
- **Paso 2:** identificar y clasificar las fuentes de emisión de gases efecto invernadero (GEI).
- **Paso 3:** recolectar los datos y escoger los factores de emisión.
- **Paso 4:** calcular la huella de carbono en el ámbito sectorial.
- **Paso 5:** interpretar los resultados.

Paso 1. La demarcación de los límites para el análisis se establece según el alcance deseado para el cálculo. El límite territorial define el nivel que será incluido en el análisis: local, municipal o departamental (CAR, et al., 2013). En este estudio el límite fue departamental.

Paso 2. Las fuentes de emisión incluidas en el análisis fueron de tipo GEI directas (alcance 1-IPCC): fermentación entérica, consumo de combustibles fósiles, uso de fertilizantes sintéticos, quemas de residuos agrícolas, manejo de estiércol y consumo de refrigerantes.

Paso 3. La recolección de datos tal como se indica en la Tabla 1, se originó en fuentes estadísticas del sector agropecuario, teniendo en cuenta las fuentes de emisión de GEI y las fuentes de información para los datos

A continuación, se presenta la Tabla 19 que contiene descritas las fuentes de emisión por cada etapa del ciclo productivo, así como las fuentes de datos respectivas para el análisis de emisiones calculadas en el presente trabajo.

Tabla 19. Fuentes de emisión de GEI y fuentes de información

Fuente de emisión de GEI	Fuente de información
Alimentación	Registros de dieta
Fermentación entérica	Cantidad de cabezas de ganado
Desechos (excretas)	Registros de manejo de estiércol
Uso de energía	Registros por defecto país

Fuente: Elaboración propia. Adaptación de Gestión Ambiental Responsabilidad de Todos [CAR] et al., (2013).

Paso 4. El cálculo de la huella de carbono implica aplicar la siguiente fórmula para cada sector productivo:

Σ Gases contaminantes (por sistema de producción y tipo de rebaño) = HdC bovinos

Paso 5. De acuerdo con la Gestión Ambiental Responsabilidad de Todos (CAR et al., 2013), los resultados pueden ser presentados tanto en tablas como en gráficas y con los siguientes niveles de detalle según la profundidad del estudio:

- Emisiones de GEI totales para cada sistema productivo.
- Emisiones de GEI directas e indirectas para cada sistema productivo.
- Emisiones de GEI por tipo de fuente de emisión para cada sector productivo.

Lo anterior permite identificar las mayores fuentes de emisión de GEI en el territorio, sobre las cuales se deberán implementar medidas de mitigación para lograr la reducción de la huella de carbono sectorial (Gestión Ambiental Responsabilidad de Todos, CAR et al., 2013).

3.1. Modelo de Contabilidad Ambiental de la Ganadería (GLEAM)

Siguiendo el ACV, se usará el Modelo de Contabilidad Ambiental de la Ganadería propuesto por la FAO, conocido como GLEAM, el cual permite contabilizar la HdC generada por las actividades ganaderas gracias al cálculo de las emisiones de GEI, que incluye los gases contaminantes CO₂, CH₄ y N₂O. La Tabla 20, describe el origen de las fuentes de emisiones de GEI consideradas para la simulación.

Tabla 20. Fuentes de emisiones de GEI consideradas en esta evaluación

Cadena de suministro	Actividad	Gas efecto invernadero	Origen
		CH ₄	Fermentación entérica y manejo de estiércol
Unidad de producción animal	Producción ganadera	N ₂ O	N ₂ O directo e indirecto proveniente de la gestión del estiércol
		CO ₂	Uso directo de energía en las explotaciones agrícolas para el ganado

Fuente: Adaptación propia con datos FAO (Steinfeld, et al., 2013b)

Para este estudio se limita el análisis al sector bovino, evaluando todos los escenarios de la actividad ganadera en Colombia, limitando el estudio a los departamentos de Antioquia, Casanare, Cesar, Córdoba y Meta como los departamentos con mayor presencia de ganado en Colombia en 2016, pero extendible a todo el territorio nacional. La aplicación del modelo GLEAM se desarrolla en virtud de calcular el impacto de la ganadería, limitado a la cuantificación de las emisiones de GEI, y se aprecia la contribución del sector pecuario a generar externalidades negativas entorno al cambio climático. Las ventajas de esta perspectiva es que permiten crear un marco de pronóstico importante sobre el papel dinámico de la ganadería en el cambio climático.

3.1.1. Uso y aplicación del modelo GLEAM

El modelo GLEAM divide por categorías adscritas a los siguientes módulos:

- a. Manada
- b. Alimentación
- c. Desechos (excretas)
- d. Asignación

Los módulos a través del registro de datos simulan la estructura y la dinámica de los diversos sistemas de producción para las especies animales. El modelo contiene los valores predeterminados para todas las variables basadas en el país seleccionado, en este caso Colombia y su región de mayor producción.

Para efectos de la simulación, para cada módulo el modelo permite modificar e ingresar nuevos valores en la “línea base”, donde se registra Colombia y “escenario”, donde se inscriben los datos a nivel de departamento.

a. Módulo del rebaño/manada: Grandes rumiantes (bovinos)

Se registra inicialmente el número total de animales por especie en edad reproductiva, por sexo, orientación y tipo de alimentación; para el caso de estudio se hizo uso de dos bases de datos para estimar el inventario; la ENA (2016) proporciona el total de cabezas de ganado según orientación: carne y leche. El DANE (2014) proporciona información del total de animales por sexo, tipo de alimentación: pastura y mixto en los resultados del Censo Nacional Agropecuario. Dado que las bases de datos corresponden a años diferentes, se estimó un promedio para el tipo de alimentación que recibían los animales siguiendo las estadísticas del DANE (2014), para clasificar a la totalidad de animales en inventario según la ENA (2016). Así, se obtuvo una combinación de las variables y sus características a nivel departamental y nacional.

Sexo:

Macho reproductivo > 24 meses

Hembra en edad reproductiva > 24 meses

Orientación del hato:

El reporte del CNA 2014, registró un total de 21.502.811 de cabezas de ganado en Colombia, y la ENA 2016, contabilizó 22.923.825 bovinos, es decir, un aumento del 6,61% en 2016 con respecto a 2014.

➤ Leche

Cuando el hato tiene orientación a la producción de leche toma el valor de uno y cero en caso contrario (otra orientación).

$Y_i = 1$ *leche*

$Y_i = 0$ *otra orientación*

➤ Carne

Cuando el hato tiene orientación a la producción de carne toma el valor de uno y cero en caso contrario (otra orientación).

$Y_i = 1$ *carne*

$Y_i = 0$ *otra orientación*

En la orientación carne hay 4 categorías: doble propósito, ciclo completo, cría y levante, y engorde/ceba. La suma de estas refleja la totalidad de animales destinados a la producción de carne.

Sistema de producción

➤ ***Pastura/basados en pastizales***

Se compone de alimentación continua y rotacional, toma el valor de uno cuando corresponde al sistema de producción.

Pastura = alimentación continua + alimentación rotacional

➤ ***Mixtos***

Se compone de alimentación en pastoreo/encierro y confinamiento/estabulado.

Mixto = pastoreo encierro + confinamiento estabulado

b. Módulo de alimentación

El módulo de alimentación muestra la proporción de alimentos individuales en la dieta, donde se tiene en cuenta la cantidad suministrada a los animales según sexo, orientación y sistema de producción. Los datos a nivel departamental no presentan investigaciones recientes, por cual se incluyeron los valores predeterminados para todas las variables en función de Colombia.

Cabe resaltar, que esta sección incluye y evalúa los sistemas digestivos de los rumiantes ya que producen gas metano. Para efectos de análisis de las actividades ganaderas, el cálculo de las emisiones de GEI procedentes de la fermentación entérica (CH₄), corresponden al Nivel 1 descrito en las directrices del IPCC (2006), Vol. 4, Cap. 10 (*cfr.* Dong et al., 2006).

Las emisiones se calculan a nivel país, a través de la fórmula:

Ecuación 1

Emisiones de GEI

$$\text{Emisión} = A * EF$$

Donde:

Emisión = emisiones de GEI, en kg CH₄ año⁻¹

A= datos de actividad, dado por el número de cabezas de ganado (lechero y no lechero)

EF=Nivel 1, factores de emisión por defecto del IPCC expresados en unidades de kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹. Valores de EF específicos para la categoría de ganado y agrupamiento regional en el IPCC, 2006, Vol. 4, Cap. 10, Cuadros 10.10 y 10.11. (cfr. Dong et al., 2006). En la Tabla 21 se describen los factores de emisión para fermentación entérica nivel 1 en ganado bovino.

Tabla 21. Factores de emisión para fermentación entérica de Nivel 1 ganado bovino

Región	Ganado	EF	Características
América Latina: sector lechero comercializado en base a pastoreo. Hato de vacuno por separado en pasturas y tierras de pastoreo. Pequeña cantidad de alimentación en corral con granos. El ganado no lechero para engorde constituye una gran parte de la población.	Lechero	72	Producción promedio de leche de 800 kg cabeza-1 año-1
	Otros vacunos/bovinos	56	Incluye vacas, toros y animales jóvenes para carne

Fuente: FAO-IPCC, (2014)

c. Módulo de desechos/estiércol

La información contenida en el módulo de desechos de cómo se manejan y almacenan, corresponden a los valores de referencia del año 2010 obtenidos por la FAO, pues los datos no se encuentran disponibles debido a la poca relevancia que se le ha dado desde la investigación en Colombia para clasificar las fuentes principales de emisión, además de la ausencia de tecnología e inversión para realizar las estimaciones.

El inventario de estas emisiones incluye la generación de metano (CH₄) que se calcula a partir de la fermentación entérica, los desechos y el manejo del estiércol; siguiendo las guías del IPCC (Dong et al., 2006) se usa la siguiente ecuación:

Ecuación 2

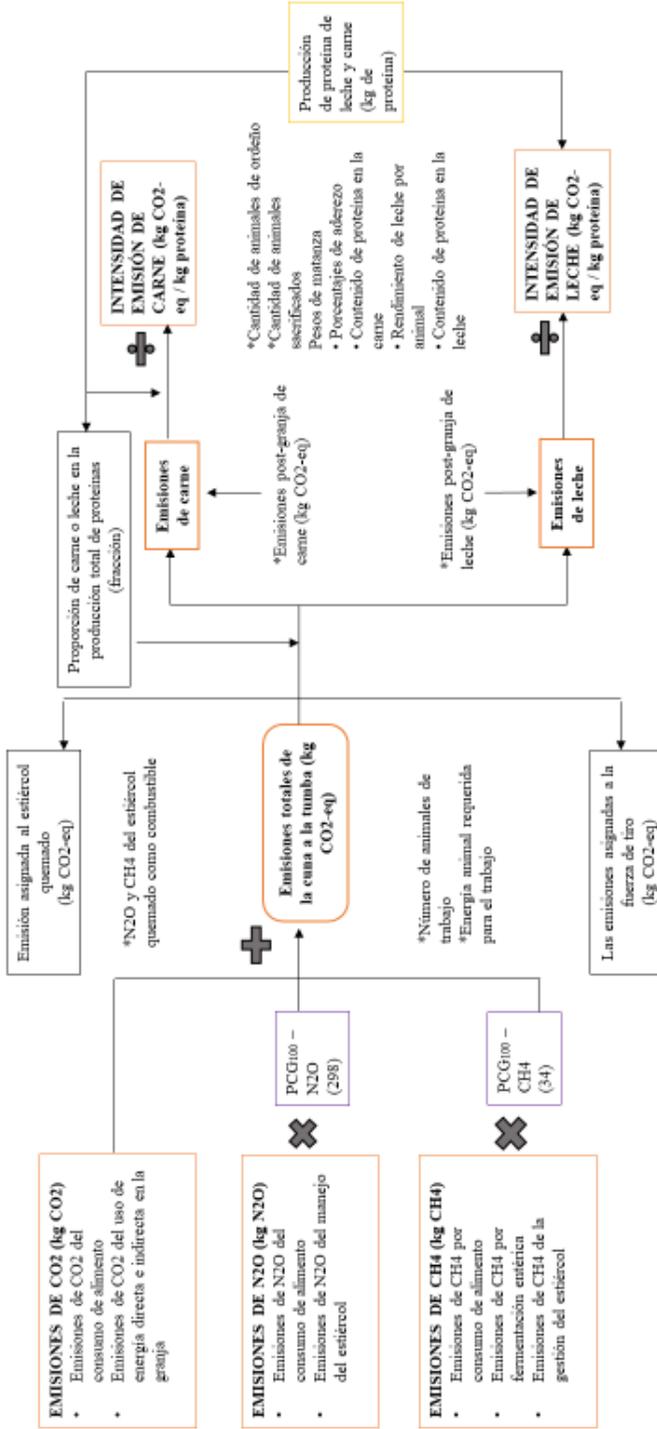
Fermentación entérica

*Emisiones de CH₄ = Número de animales bovinos * factor de emisión de CH₄*

d. Módulo de asignaciones

Distribuir las emisiones entre diferentes productos y salidas, es uno de los principios de la metodología ACV. El enfoque utilizado en GLEAM para asignar emisiones se describe en la Figura 16 de la página siguiente. Las funciones del módulo “Asignación” son dos: i) calcular la producción ganadera total; ii) Calcular las emisiones totales y la intensidad de emisión de cada producto.

Figura 16. Representación esquemática del módulo de asignación para especies de rumiantes.



Fuente: Traducción de guía del usuario GLEAM (FAO, 2017b)

- **Producción total de leche y carne**

La producción total de leche se calcula con base en la producción promedio de leche por animal y el número de animales de ordeño. La leche total se convierte en cantidad de proteína.

La producción total de carne se calcula a partir del número total de animales que abandonan el rebaño para el sacrificio y los pesos vivos promedio. La producción de peso vivo se expresa en la cantidad total de proteína usando datos de porcentaje de aderezo, relación de peso de carne sin hueso a canal y contenido promedio de proteína en la carne.

Además, el Potencial de Calentamiento Global (PCG) de los gases CO₂, CH₄ Y N₂O incluidos en las estimaciones, fue considerando para cada uno de estos teniendo en cuenta los coeficientes para un lapso de 100 años, determinados por (IPCC, 2014) como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Potencial de calentamiento global (PCG) para el lapso de cien años

Nombre	Fórmula	Potencial de calentamiento para cien años
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	34
Óxido de nitrógeno	N ₂ O	298

Fuente: Elaboración propia con datos de la guía de usuario GLEAM y el reporte del IPCC (FAO, 2017b; IPCC, 2014)

El PCG es la medida de la capacidad de un determinado gas para atrapar el calor en la atmósfera en comparación con la de una masa similar de

dióxido de carbono, durante un período de 100 años. En otras palabras, para que los efectos de los diferentes gases sean comparables, el PCG expresa el potencial de calentamiento de un gas determinado en contraste con el gas que posee el mismo volumen de CO₂ durante el mismo periodo de tiempo, por lo tanto, el PCG del CO₂ siempre es 1. Como criterio de medición se utilizó la base másica presentada por Páez et al., (2018) de los diferentes gases emitidos durante los procesos, convertidos a CO₂-eq (dióxido de carbono equivalente).

La fórmula que se aplica para el cálculo de la emisión de los GEI de las unidades productivas es la siguiente:

$$\textit{Emisión total de gases} = \Sigma \textit{PCG} \times m$$

Donde:

PCG: potencial calentamiento global

m: kilogramos emitidos por cada gas durante el proceso productivo

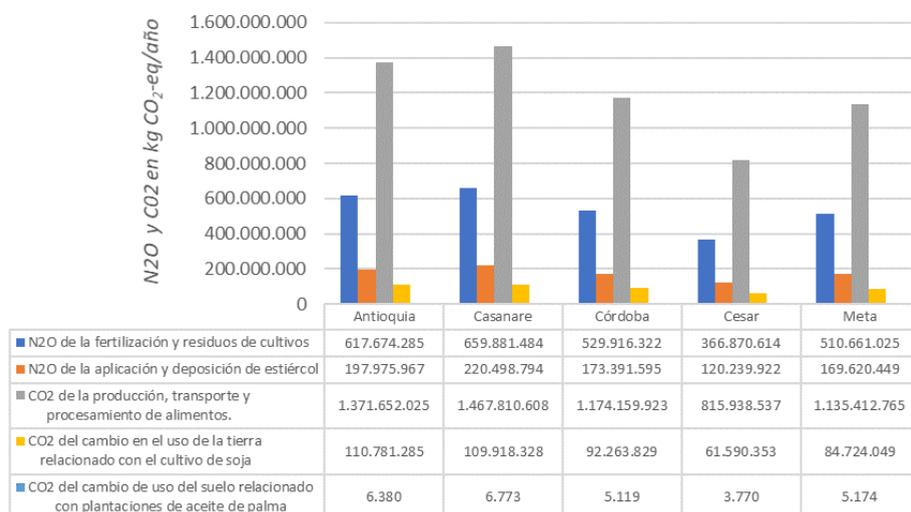
4. RESULTADOS

Se presentan los resultados para cada uno de los módulos que integran el modelo GLEAM a saber; alimentación fermentación entérica, desechos/estiércol, energía, total emisiones y síntesis de indicadores por sistema de producción a nivel per cápita.

4.1. Alimentación

Los resultados de la simulación registran que la alimentación bovina, como se evidencia en la Figura 17, reportan para todos los departamentos las mayores emisiones de N₂O presentes en la fertilización y residuos de cultivos y, de CO₂ con registros superiores por producción, transporte y procesamiento de alimentos.

Figura 17. Emisiones de GEI en kg CO₂-eq/año por alimentación bovina – en cinco departamentos (2016)



Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

Estas emisiones por alimentación se totalizan y se estima la HdC, que se muestra en la Tabla 23 de la siguiente página con los resultados por departamento.

Tabla 23. Huella de carbono en millones de kg CO₂-eq/año por alimentación bovina – en cinco departamentos (2016)

Variable	Antioquia	Casanare	Córdoba	Cesar	Meta
Alimentación	2.298.0	2.458.1	1.969.7	1.364.6	1.900.4

Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

Los cálculos posicionan a Casanare como el mayor emisor de GEI por alimentación, con 659.881.484 kg CO₂-eq/año de N₂O de la fertilización y residuos de cultivos, lo que supone un mayor uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos aplicados a los cultivos alimenticios y de la descomposición de residuos de cultivos, en comparación con los demás departamentos. La variable con mayores emisiones de CO₂ se registra por la producción, transporte y procesamiento de alimentos con 1.467.810.608 kg CO₂-eq/año. Esto se explica por el uso de combustibles fósiles en la fabricación de fertilizantes y pesticidas, y las operaciones que se relacionan con la fabricación de los piensos, como la expansión de pastizales y tierras de cultivo usadas para la alimentación animal en zonas naturales y bosques.

Casanare destina cerca del 93% del área total de uso agropecuario a pastos y rastrojos, basado en los registros del CNA (DANE, 2014), mientras que Antioquia destina alrededor del 76%, lo que se traduce en un menor uso de fertilizantes para las áreas sembradas, emitiendo una menor cantidad de GEI, seguido por Meta en la lista de mayores emisiones de CO₂ de la producción, transporte y procesamiento de alimentos, y finalmente están Córdoba y Cesar, respectivamente.

4.2. Fermentación entérica

Refleja el cálculo de las emisiones de metano provenientes de la fermentación ruminal de los bovinos. Durante el proceso digestivo, la fermentación microbiana descompone parte de los carbohidratos en la dieta, generando metano como subproducto. En general, los materiales fibrosos causan mayores emisiones entéricas, lo que explica el comportamiento de las emisiones al estar ligadas al tipo de alimentación que brinda la UPA al bovino.

A partir de los resultados la Tabla 24, se estimó el porcentaje de participación de los departamentos por emisiones de CH₄ derivadas de la fermentación entérica a nivel nacional.

Tabla 24. Huella de carbono por fermentación entérica del bovino en millones kg CO₂-eq/año-en cinco departamentos (2016)

Variable	Antioquia	Casanare	Córdoba	Cesar	Meta
CH ₄ fermentación entérica	5.444.7	5.884.3	4.661.6	3.267.8	4.550.6

Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

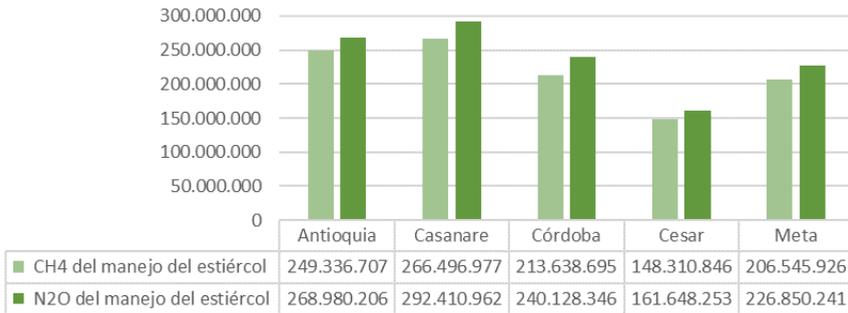
Casanare se presenta como el primer emisor de los cinco departamentos con 8,4% de emisiones de metano, le sigue Antioquia con emisiones de CH₄ alrededor del 7,8%, continúa Córdoba que participa con el 6,7%, en cuarto lugar, Meta emite un aproximado 6,5% del total nacional. Por último, para el departamento del Cesar el modelo estimó 4,7% de emisiones de metano. Las diferencias se explican por la cantidad y calidad de los granos, forrajes y subproductos agroindustriales que varían en las dietas de los animales en cada departamento, donde las raciones diarias basadas en ingredientes con alto contenido en fibra causan mayores emisiones entéricas.

4.3. Desechos/Estiércol

Al descomponerse las excretas (estiércol y orina) se produce CH₄. Las estimaciones se dan a partir del consumo de materia seca y la digestibilidad de alimentos según cada sistema productivo; asimismo, el almacenamiento y manipulación del estiércol afectan directa e indirectamente las emisiones de CH₄ y N₂O. Sin embargo, la información de los sistemas productivos frente al manejo del estiércol no presenta una descripción precisa para los departamentos.

El manejo del estiércol de los bovinos contribuye a las emisiones de CH₄ y N₂O, siendo este último el más representativo de la actividad, como se muestra en la Figura 18 para todos los departamentos.

Figura 18. Emisiones de CH₄ y N₂O por manejo de estiércol en kg CO₂-eq/año para ganadería bovina – en cinco departamentos (2016)



Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

Las emisiones de CH₄ son resultado de la descomposición anaeróbica del material orgánico en las excretas de los animales, las cuales no reportan un sistema de tratamiento o almacenamiento, es decir que se filtran directamente al suelo donde pastan los bovinos. Cuando el estiércol se almacena y se trata en sistemas líquidos (como estanques o lagunas), usualmente se elevan las emisiones de metano.

Las emisiones N₂O son resultado de la conversión de compuestos nitrogenados presentes en las excretas animales, contemplando emisiones directas e indirectas, en otras palabras, el óxido nitroso es un producto de la descomposición del amoníaco contenido en el estiércol. Son entonces las emisiones de N₂O las que representan una mayor carga de amoníaco en la atmósfera, debido a las mayores cantidades de excreta que producen los animales destinados a la producción ganadera.

Los resultados de la HdC estimados por el manejo del estiércol se muestran en la Tabla 25, ubicando en primer lugar a Casanare, en segundo lugar, Antioquia, le siguen Córdoba y Meta y, por último, Cesar. Las diferencias en las estimaciones corresponden a los diferentes sistemas de gestión del estiércol dando lugar a niveles heterogéneos de emisiones.

Tabla 25. Huella de carbono por manejo de estiércol bovino en millones kg CO₂-eq/año – en cinco departamentos (2016)

Variable	Antioquia	Casanare	Córdoba	Cesar	Meta
Gestión de estiércol	518.3	558.9	453.7	309.9	433.4

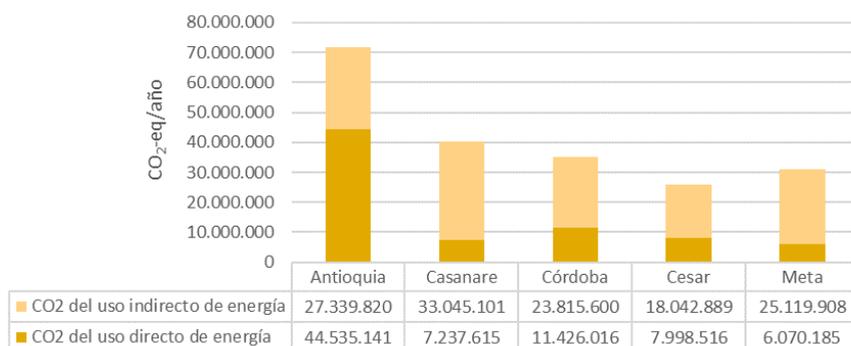
Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

4.4. Energía

El consumo de energía está presente en toda la cadena de producción. Se registran en esta sección las emisiones de CO₂ por uso de energía directamente en el sitio de producción animal para calefacción, ventilación, refrigeración, maquinaria, etc., y uso indirecto por la construcción de instalaciones (alojamiento de los animales) y equipos.

El resultado del consumo de energía se detalla en la Figura 19, donde el departamento de Antioquia es el mayor emisor de CO₂ por el uso energía directa con 44.535.141 kg CO₂-eq/año, lo cual corresponde al uso de energía requerido en la granja o unidad productora en la producción ganadera para diferentes propósitos como la iluminación, ventilación, limpieza, enfriamiento, calefacción, ordeño, etc.

Figura 19. Emisiones del uso de energía en kg CO₂-eq/año para ganadería bovina – en cinco departamentos (2016)



Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

De tal manera, se puede inferir que la tecnificación en los procesos productivos en Antioquia presenta una dinámica importante para mantener las granjas y los procesos de cada sistema productivo. El segundo departamento con mayor uso directo de energía es Córdoba, seguido de Cesar, Casanare y Meta. Las diferencias entre los departamentos por cantidad de emisiones según el uso, permite explicar la relación entre la emisión de gases totales de GEI y los sistemas de mantenimiento de la manada, que incluye la fabricación de fertilizantes, uso de maquinaria agrícola, procesado y transporte de cultivos para la alimentación de los animales, pero no se tiene en cuenta en esta medición la energía para la producción de alimentos, ya que está reflejada en las emisiones por alimentación.

Las estimaciones relacionan a Casanare como el mayor emisor en razón del uso de energía indirecta con 27.339.820 CO₂-eq/año, derivada del uso de los bienes de capital, incluyendo maquinaria, herramientas, equipos, locaciones para alojar a los animales, forraje y almacenamiento de estiércol, los cuales se consideran un medio de

producción. A pesar de que estas no se tienen en cuenta comúnmente en los ACV, las emisiones enlazadas a los bienes de capital resultan de la fabricación y mantenimiento. En segundo lugar, de relevancia por uso de energía indirecto está Antioquia, ya que este presenta características de mayor tecnificación en los procesos, es decir que la regulación del mantenimiento es primeramente automática y en menor medida manual. El control manual está más arraigado a los departamentos que continúan en la lista, en orden de mayor a menor emisor; Córdoba, Meta y Cesar. En definitiva, es así como la relación entre las actividades de extracción y procesamiento de materiales genera las mayores emisiones, teniendo en cuenta que el comportamiento depende exclusivamente de los niveles de tecnificación de cada departamento.

La Tabla 26 registra los valores de las emisiones totales de CO₂-eq del consumo de energía total, donde Antioquia presenta el mayor consumo de energía total entre todos los departamentos, explicado por el mayor uso directo de energía. En segundo lugar, Casanare es el territorio con mayores emisiones, seguido de Córdoba, Meta y por último Cesar.

Tabla 26. Huella de carbono por uso de la energía en millones de kg CO₂-eq/año en cinco departamentos (2016)

Variable	Antioquia	Casanare	Córdoba	Cesar	Meta
Consumo de energía directo e indirecto	71.9	40.3	35.2	26.0	31.1

Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

1.5 Total de emisiones GEI del ganado bovino

La sumatoria de las emisiones provenientes de las diferentes fuentes de emisiones, determinan la huella de carbono total del ganado bovino en los cinco departamentos objeto de estudio. Los resultados se detallan en la Tabla 27 discriminados por tipo de gas contaminante y su total de GEI. Las emisiones totales de GEI por especie, arrojaron que los bovinos contribuyen alrededor del 7% de las emisiones netas para Colombia.

Tabla 27. Total emisiones GEI en millones kg CO₂-eq/año por departamento (2016)

Variable	Antioquia	Casanare	Córdoba	Cesar	Meta
CO ₂	8.792.3	8.856.0	8.539.6	8.141.5	8.489.3
CH ₄	9.074.1	9.530.9	8.255.3	6.796.2	8.137.2
N ₂ O	3.169.7	3.258.6	3.027.4	2.729.8	2.990.6
GEI	21.036.1	21.645.6	19.822.3	17.667.6	19.617.1

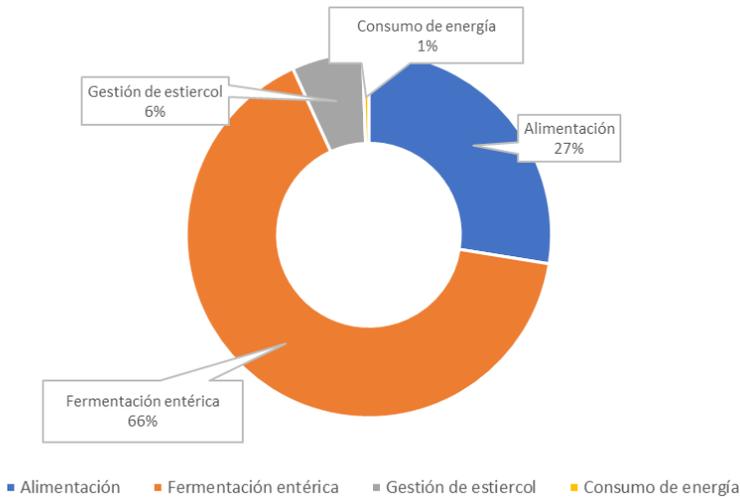
Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

Las estimaciones realizadas a través de la aplicación del modelo GLEAM, arrojaron que el departamento de Casanare presenta las mayores emisiones de GEI, siendo la HdC 21.6 millones de kg CO₂-eq/año, resultado de la suma de CO₂, CH₄ y N₂O provenientes de la actividad pecuaria. Consecutivamente, se encuentra Antioquia, Córdoba, Meta y por último, está Cesar con 17.667 millones kg CO₂-eq/año. Estas mismas posiciones se presentan en la concentración del hato ganadero en edad reproductiva (≥24 meses).

1.6 Participación de las fuentes de emisión

Los resultados anteriores de las fuentes de emisión se muestran en la Figura 20, representando el porcentaje de la totalidad de las emisiones de GEI que permitieron calcular la huella de carbono de la ganadería. Las emisiones vinculadas a la fermentación entérica representan cerca del 66% del total del sector. La producción de piensos para la alimentación animal es la segunda fuente en relevancia con 9.991 kilotoneladas [kt] de CO₂-eq, equivalentes al 27% del total. La gestión del estiércol genera alrededor del 6% de las emisiones totales de CO₂-eq. El consumo de energía de las unidades productivas causa el 1% o sea 204,6 kt de CO₂-eq.

Figura 20. Fuentes de emisión del sector ganadero en cinco departamentos (2016)



Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

1.6.1 Indicadores por sistema de producción

Se detallan las cifras de GEI relacionadas con la producción de leche y carne en la Tabla 28, según los resultados obtenidos el departamento de Casanare registra el mayor número de emisiones totales, lo que se relaciona con una mayor población bovina respecto a los cuatro departamentos restantes. En segundo puesto se encuentra Antioquia, tercero Meta, cuarto Córdoba y quinto Cesar.

Tabla 28. Indicadores de eficiencia ambiental de la producción de ganado por departamentos (2016)

Variable	Unidad	Antioquia	Córdoba	Meta	Cesar	Casanare
Todos los sistemas	kg CO ₂ -eq/año	7.898.423.236	6.638.257.535	6.643.898.562	4.786.704.685	8.620.885.717
Producción Leche	HdC/kg leche	11,30	48,43	153,43	50,98	193,96
Producción Carne	HdC/kg carne	102,35	95,51	95,36	94,24	93,82
No. de cabezas por ha.	cabeza/ha	1,31	0,73	2,07	0,75	1,39

Fuente: Elaboración propia con datos simulación GLEAM (2016)

Asimismo, se muestran los resultados de la HdC por producción lechera, donde Casanare representa los mayores registros de CO₂-eq por unidad producida, respecto a los otros departamentos. Las emisiones en Casanare son de 193,6 kg CO₂-eq/kg leche, seguido de Meta con 153,43 kg CO₂-eq/kg leche. Estas cifras representan la forma en que Casanare y Meta implementan los sistemas de producción intensivos, basados principalmente en alimentación mixta, la cual ha evidenciado mayores emisiones de GEI que la alimentación de pasturas. Adicional a esto, la orientación de leche representa cerca del 75% del hato bovino

en Casanare y Meta el 50%, según el censo bovino reportado en la ENA 2016 (*cfr.* DANE, 2016).

Lo anterior explica la diferencia con los departamentos restantes que arrojaron cifras inferiores, continuando Cesar y Córdoba con 50,98 y 48,43 kg CO₂-eq/kg leche, respectivamente. En último lugar, Antioquia presenta la HdC más baja por kilogramo de leche producido, demostrando así su eficiencia en la producción respecto a los demás departamentos. Esto se debe a la alta producción en litros de leche anual, lo que conduce al departamento a interesarse cada vez más por reducir o intentar mitigar los impactos de sus actividades pecuarias. Entonces, se logró estimar que en Antioquia por cada 1 kilogramo de leche producido la HdC es de 11,30 kg CO₂-eq/año.

Por otra parte, las cifras de HdC resultado de la producción de carne arrojaron mayores emisiones por kilogramo producido en Antioquia. Lo que lo convierte en el primer emisor en el segmento de carne, seguido de Córdoba, Meta, Cesar y Casanare. Estas disparidades se pueden interpretar según los sistemas de producción que varían de un departamento a otro, como pueden ser las granjas especializadas de carne o leche según la orientación de los bovinos. De tal forma, la eficiencia que se registró para todos los departamentos en la producción de carne está relacionada con mayores emisiones de GEI que la de leche, con 481,3 y 458,1 kg CO₂-eq/año respectivamente.

Continuando con los indicadores, el número de animales por departamento está medido por la cantidad de cabezas de ganado que se encuentran en una hectárea. La mayor concentración se observa en Meta con 2,07 cabezas por hectárea, aproximadamente. Es decir que alrededor de 2 bovinos ocupan para pastar una hectárea de tierra con aptitud para carne y/o leche, según los cálculos descritos. En segundo lugar, Casanare ocupa una hectárea con 1,39 cabezas de ganado, seguido de Antioquia con 1,31 cabeza/ha., Cesar con 0,75 cabeza/ha. y por último Córdoba con 0,73 cabeza/ha.

4 CONCLUSIONES

Según los resultados de las estimaciones realizadas por el modelo GLEAM 2.0, se evidenció que en promedio las emisiones generadas por la producción de carne son mayores que las de leche. Sin embargo, este comportamiento no se da en todos los departamentos incluidos en la simulación. Puesto que Antioquia presenta mayores emisiones en la producción de leche con 4.067.701.701 kg de CO₂-eq contrastados con 3.830.721.535 kg de CO₂-eq derivados de la producción de carne. Siguiendo en este razonamiento, el departamento que más emisiones genera por la producción de carne y leche es Casanare, con una HdC mayor de kg CO₂-eq, seguido por Antioquia, Meta, Córdoba, y finalmente Cesar.

Las fuentes de emisión consideradas en el modelo contribuyen en diferentes niveles a la HdC de los departamentos objeto de estudio. La fermentación entérica por su parte aporta cerca del 66% del total de las emisiones generadas por el ganado bovino de carne y leche, seguido por la alimentación, la gestión de estiércol y por último el consumo de energía, con registros de 27%, 6% y 1%, respectivamente. Las emisiones provenientes de la fermentación ruminal de los bovinos generan gas metano o CH₄, el cual depende directamente de su alimentación, pues las raciones diarias basadas en ingredientes con alto contenido en fibra causan mayores emisiones entéricas.

Por otra parte, la intensidad de emisión se encarga de medir las emisiones generadas en la producción de carne y leche para la obtención de un kilogramo de proteína comestible. De acuerdo con los resultados arrojados, se demostró que la producción de carne genera una mayor intensidad de emisión, siendo Casanare y Meta los que registran las cifras más altas, cada uno emitiendo 549,5 kg CO₂-eq por kilogramo de proteína consumible. Por otra parte, para el segmento de la leche es Casanare quien reporta el mayor índice de emisión con 617,9 kg CO₂-eq por cada kilogramo de proteína comestible. Seguido por Meta,

Cesar, Córdoba y Antioquia, con 572,5 kg CO₂-eq/kg proteína, 358,2 kg CO₂-eq/kg proteína, 354,4 kg CO₂-eq/kg proteína y 134,1 kg CO₂-eq/kg proteína, respectivamente.

De lo anterior se puede inferir que la cantidad obtenida de proteína extraída de la carne y leche de los bovinos tiene un alto costo medio ambiental, sobre todo en los vacunos de carne, pues las emisiones generadas en los procesos productivos están relacionadas con la expansión de pastizales, a diferencia de los bovinos destinados a la producción de leche.

En los cálculos se pudo evaluar que la producción de carne y leche es totalmente ineficiente e insostenible, si se tiene en cuenta la cantidad de recursos para alimentar y mantener a la manada, y todo lo que está relacionado a la cadena de producción debido a que la obtención de proteína es mínima. Es decir, que el balance entre producción y proteína es ineficiente si las características de los insumos generan mayor cantidad de gases. Esto debido a la cantidad de carne en canal y peso fresco de leche que se necesita para producir un solo kilogramo de proteína. Según la equivalencia entre la producción total de carne y leche, se evidencia en el caso de la carne que son necesarios 6,31 kg de peso en canal para aprovechar tan solo 1 kg de proteína. En el caso de la leche se necesitan 29,24 kg de leche peso fresco para obtener 1 kg de proteína.

Al identificar los principales factores de riesgo ambiental como resultado de la actividad ganadera para evaluar los posibles escenarios de mitigación, las emisiones de metano son las más representativas de las actividades pecuarias. Por lo tanto, el CH₄ es el gas que requiere mayor atención para reducir las emisiones que provienen de la fermentación entérica de los bovinos. De acuerdo con el reporte del IPCC, las emisiones de GEI requieren una reducción por parte del sector pecuario, para lo cual estableció recomendaciones como medidas a implementar en las estrategias de mitigación. Entre estas la

alimentación y el manejo de los desechos del ganado podrían significar una reducción importante de metano en la HdC.

En cuanto a las emisiones de óxido nitroso, hacen referencia al uso adecuado de los fertilizantes, pues una mejor administración supone una reducción de emisiones a la atmósfera, asimismo, señalan la importancia de reducir la deforestación y degradación de los bosques, a través de la conservación de las reservas de carbono, contribuyendo a la prevención de incendios y disminuyendo la tasa de agroforestería, lo que a su vez se traduce en una reducción de la intensidad de las emisiones.

Entre otras de las posibilidades, las opciones de secuestro son una herramienta para el aumento de las reservas de carbono existentes, por ejemplo, forestación, reforestación, sistemas integrados, secuestro de carbono en los suelos, incorporando a la vez las opciones de sustitución, como el uso de productos biológicos en lugar de productos intensivos en fósiles que emitirían más GEI, por ejemplo, bioenergía, productos de aislamiento. Después de evaluar el escenario de la oferta, en compensación con la demanda se sugieren medidas para la reducción de pérdidas y desperdicio de alimentos, lo que se puede lograr con cambios en la dieta humana e incluso el uso de productos de madera de larga duración (*cfr.* IPCC, 2014).

5 RECOMENDACIONES

Finalmente, entre las recomendaciones que podrían aplicarse en el contexto colombiano para contribuir a la sostenibilidad económica y ambiental para reducir la HdC, la reducción de la producción y consumo es la principal herramienta, seguida de un control territorial por parte del Estado en calidad de ente soberano con el propósito de preservar los recursos naturales, la tierra, el agua, los bosques y garantizar la protección de la biodiversidad de fauna y flora en Colombia. En síntesis,

a medida que la producción descienda, los recursos naturales se conservarán de a poco y estarán disponibles para un uso sostenible, a la vez que se reducirán las emisiones de GEI.

Las estimaciones realizadas en la presente investigación son un primer esfuerzo que se hace con cobertura a nivel nacional para la estimación de emisiones de GEI originadas en la actividad ganadera, tomando datos del CNA 2014 y la ENA 2016, por lo que se constituyen en una línea base para efectuar comparaciones futuras sobre el impacto de la ganadería en el calentamiento global. Entre las encuestas consultadas para la presente investigación, la ENA supone una realización periódica, pero a la fecha aún no se tienen los registros anuales completos de los últimos dos años y su metodología también ha sufrido cambios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DANE. (2014). *Colombia - Tercer Censo Nacional Agropecuario - 2014 -3er CNA*. 1–34.
- DANE. (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria ENA-2016. *Boletín Técnico Comunicación Informativa (DANE)*, (1), 1–24. Retrieved from <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>
- CONPES 3700 (2011), Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia. Bogotá D.C.
- CAR et al., (2013), Gestión Ambiental Responsabilidad de Todos , Bogota . D.C.
- Costanza, R., Daly, H. E., & Bartholomew, J. A. (1991). Ecological Economics. *Ecological Economics*. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1214156>
- Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lasset, K. R., ... Romanovskaya, A. (2006). Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol.

- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 10–91. <https://doi.org/10.1002/hed.20625>
- FAO. (2006). Enfoques: Las repercusiones del ganado en el medio ambiente. Retrieved April 26, 2020, from FAO website: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0612sp1.htm>
- FAO. (2010a). Global Livestock Environmental Assessment Model Version 2.0. *FAO*, (2), 1–121. Retrieved from http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gleam/docs/GLEAM_2.0_Model_description.pdf
- FAO. (2010b, January 1). Resultados | Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM) | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Retrieved April 13, 2020, from GLEAM 2.0 Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación website: <http://www.fao.org/gleam/results/es/>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. 1–151.
- Loh, J., Goldfinger, S., Bourne, G., Atkin, M., Mcrae, L., Ewing, B., ... Backer, W. De. (2008). Informe Planeta Vivo. *WWF Colombia*, 45. Retrieved from http://assets.panda.org/downloads/lpr_2008_span_lo_res.pdf
- Leontief, W. (1982). Academic economics. *Science*, 217(4555), 104–107.
- Magrin, G. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Repositorio Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 15, 80. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/39842%0Ahttp://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>
- Páez, E., Corredor, E., & Fonseca, J. (2018). La huella hídrica y la huella de carbono: herramientas para estimar el impacto de la ganadería bovina. *Pensamiento y Acción, Tunja (Boyacá-Colombia, 24(24))*, 12. Retrieved from https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento_accion/article/view/8617/7180<http://www.fao.org/gleam/results/es/>

- Georgescu-Roegen, N. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico* (1st ed.). Retrieved from https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/56450996/Georgescu-Roegen__Nicholas__La_ley_de_la_Entrop_a_y_el_proceso_economico__Argentina.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DGeorgescu-Roegen_Nicholas_La_ley_de_la_E.pdf&X-Amz-Algorithm
- Schneider, H., & Samaniego, J. L. (2009). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, documentos de proyectos*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 1–46. Retrieved from
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1998). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. *The New Catalyst Bioregional Series*, p. 160. Retrieved from http://w.tboake.com/2013/EF_Reading_Assignment_1of2.pdf
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. In FAO (División d). Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf>