

Greenhouse gases (GHG) in the agricultural sector: a case study for the department of Cauca

Gases efecto invernadero - GEI en el sector agropecuario: caso de estudio para el departamento del Cauca

Lisbeth Rocío Ruiz Mosquera ^{1*} , Ximena Andrea Ruiz Erazo ² 

1. Corporación Universitaria Comfacauc, Popayán, Colombia. lruiz@unicomfacauc.edu.co
2. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

Recibido: 14/11/2025
Aceptado: fecha:11/12/2025
Fecha de Publicación:18/12/2025

<https://doi.org/10.57173/ritc.v1n19a2>



Derechos de autor: © 2025

Resumen

El departamento del Cauca, con su gran diversidad agroecológica y productiva enfrenta desafíos importantes para la cuantificación y gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), aunque se han identificado fuente de emisión significativas, los datos actuales no reflejan con precisión la dinámica de las subactividades productivas, evidenciando vacíos en mediciones sobre fuentes de emisión y absorción específicos, limitando la capacidad de diseñar estrategias de mitigación adaptadas a la realidad regional y de integrar los resultados en políticas locales efectivas. Por esta razón, se requiere combinar la información existente con estudios de campo, monitoreo continuo y colaboración estrecha con productores, instituciones y actores regionales para generar datos más representativos y confiables, con esta aproximación sería posible fortalecer los inventarios regionales y promover programas de mitigación que consideren la diversidad de los sistemas agropecuarios contribuyendo a una gestión integral, sostenible y contextualizada de los GEI en el Cauca.

Palabras clave: Cauca, GEI; inventarios; mitigación, sector agropecuario.

Abstract

The department of Cauca, with its great agroecological and productive diversity, faces significant challenges in quantifying and managing greenhouse gas (GHG) emissions. Although significant emission sources have been identified, current data do not accurately reflect the dynamics of productive sub-activities, revealing gaps in measurements of specific emission and absorption sources. This limits the capacity to design mitigation strategies adapted to the regional reality and to integrate the results into effective local policies. For this reason, it is necessary to combine existing information with field studies, continuous monitoring, and close collaboration with producers, institutions, and regional stakeholders to generate more representative and reliable data. This approach would make it possible to strengthen regional inventories and promote mitigation programs that consider the diversity of agricultural systems, contributing to comprehensive, sustainable, and contextualized GHG management in Cauca.

Keywords: Cauca, GHG; inventories; mitigation, agricultural sector

1. Introducción

El cambio climático (CC) se ha posicionado como uno de los principales problemas que enfrenta la humanidad, debido a sus impactos ambientales y, especialmente, porque su causa fundamental es el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI) derivados de las actividades humanas con consecuencias sobre el clima, el desplazamiento de personas, la interrupción de la producción de alimentos y otros problemas [1],[2]. Si bien, el efecto invernadero permite mantener una temperatura adecuada para el desarrollo de la vida en el planeta, su intensificación ha generado un desequilibrio en el sistema climático. Entre los principales gases responsables de este efecto se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y compuestos fluorados [3],[4].

De acuerdo con CEPAL [5]; Fernández [6] el actual modelo económico global, sustentado en la quema de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo), la deforestación y otras actividades derivadas de otros son responsables de una elevada emisión de GEI a la atmósfera. Estas emisiones han intensificado el calentamiento global y agravado los impactos asociados al CC. Frente a esto, resulta imprescindible y urgente la transición hacia sistemas productivos sostenibles y el uso de energías renovables. En este contexto, hitos de cooperación como los acuerdos de Kioto (1997), y París (2016), cuyo objetivo es limitar el aumento de la temperatura por debajo de los 2°C y financiar a los países en desarrollo para que puedan mitigar el CC [7]. Estos tratados, compromete a los países firmantes a intensificar sus acciones de mitigación y adaptación, estableciendo además un marco de transparencia y rendición de cuentas mediante la presentación de informes sobre los avances logrados [8].

Por su parte FAO [9], subraya que el CC constituye un desafío global que exige la adopción de medidas integrales e intersectoriales, especialmente en los sistemas agroalimentarios. Estas acciones deben alinearse con los principales compromisos internacionales, como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo y el propio Acuerdo de París. En consonancia con estos marcos, la FAO [9] propone una estrategia sobre CC basada en inclusividad, innovación, cooperación y el uso de evidencia científica. Esta estrategia promueve enfoques adaptados a las realidades locales y orientados a los sistemas, en donde productores agropecuarios y comunidades rurales son actores centrales en la construcción de soluciones sostenibles.

En el caso de Colombia, el cambio climático representa una amenaza directa para la estabilidad de los sistemas agropecuarios, dada su alta dependencia de las condiciones climáticas y su papel estratégico en la economía nacional. Lau et al [10] señalan que este sector aporta más de una décima parte del PIB y genera empleo para más de una quinta parte de la población, por lo que cualquier alteración podría tener repercusiones económicas y sociales significativas. Los análisis proyectan que hacia el año 2050 la temperatura media anual del país podría aumentar en aproximadamente $2,5^\circ\text{C}$ y las precipitaciones $2,5\%$. Estos cambios se traducirían en una serie de impactos adversos, entre ellos la degradación del suelo, la pérdida de materia orgánica, inundaciones en zonas costeras, reducción de los nichos ecológicos de cultivos estratégicos (café, cacao, banano), así como un incremento en la incidencia de plagas y enfermedades y estrés hídrico, generando pérdidas económicas por el aumento de los costos de producción en las principales áreas de cultivo. También es posible que se generen restricciones de productividad que, sin duda, pondrían en riesgo la seguridad alimentaria de algunas regiones [11]. Ante este panorama, los autores destacan la necesidad que el Estado colombiano fortalezca las estrategias de adaptación, invirtiendo en evaluaciones regionales, investigación aplicada, transferencia tecnológica y formación de los agricultores en prácticas resilientes frente al CC.

El artículo realiza una revisión sobre la situación e impacto del cambio climático y, por tanto, de la emisión de GEI en sistemas agropecuarios del Cauca, identificando fuentes, prácticas asociadas, metodologías de estimación y estrategias de mitigación, con el fin de orientar la investigación aplicada y la planificación territorial sostenible.

2. Contexto general sobre las emisiones de GEI en sistemas agropecuarios

El informe especial del IPCC 2019 [12] señala que entre el 21% y el 37% de las emisiones totales de GEI pueden atribuirse al sistema alimentario mundial. Estas emisiones se originan a lo largo de toda la cadena de valor, desde la producción hasta el consumidor final, incluyendo desperdicios alimentarios. Además, destaca que, debido a la diversidad de los sistemas agroalimentarios, existen marcadas diferencias locales y regionales en la contribución de cada etapa a las emisiones totales. Por ello, se requiere fortalecer los sumideros de carbono y reducir tanto las emisiones como su intensidad en los diferentes sistemas de producción, asimismo, disminuir drásticamente las provenientes de otros sectores.

No obstante, los impactos ambientales del sector agropecuario van más allá de las emisiones de GEI. La producción de alimentos ejerce una enorme presión sobre la biodiversidad, el agua y los suelos[13]. Ritchie *et al.*[14] estiman que la producción de alimentos representa alrededor del 26% de las emisiones globales de GEI, equivalentes a 13,7 billones de tCO₂eq y advierten que la agricultura es responsable del 50% del uso de la tierra habitable del planeta. Además, el 70% del agua dulce mundial se destina a la producción agrícola, siendo esta una de las principales causas de contaminación de ríos y océanos, con un aporte del 78% a la eutrofización global. Los autores señalan que el 94% de la biomasa de mamíferos (excluyendo a los humanos) corresponde al ganado doméstico y el 71% de la biomasa global de aves está compuesta por especies de corral. En consecuencia, la producción agropecuaria se reconoce como uno de los principales motores del cambio en el uso del suelo, la degradación y erosión de los ecosistemas, transformando áreas críticas para la captura de carbono en tierras agrícolas y de pastoreo[13]. En este contexto, es fundamental considerar que los GEI asociados a estas actividades no solo difieren en origen, sino también en su potencial de calentamiento global (GWP) y en su permanencia en la atmósfera: CO₂ (GWP 1, 120 años), CH₄ (GWP 29,8, 14,5 años) y N₂O (GWP 273, 120 años)[15].

Al respecto, Buto *et al.*[16] destacan la necesidad urgente de intensificar la acción climática en todos los eslabones del sistema agroalimentario y las cadenas de valor asociadas. Subrayan además la importancia de vincular estas acciones con la seguridad alimentaria, la nutrición, la gestión del agua y la restauración sostenible de los ecosistemas. En consonancia, FAO[9] plantea que, ante los desafíos del CC los países deben adoptar enfoques integrados que articulen la acción climática con prioridades agroalimentarias estratégicas, promoviendo sinergias entre la adaptación y la mitigación, incluyendo medidas orientadas a la conservación de la biodiversidad, los polinizadores, la restauración de ecosistemas, la salud del suelo, la sanidad vegetal y animal, la eficiencia energética, la gestión sostenible de tierras y aguas, todo ello con el fin de consolidar sistemas agroalimentarios resilientes y sostenibles.

3. Contexto nacional sobre emisión de GEI en sistemas agropecuarios

La FAO, PNUD y MADR[17] señalan que la gestión integral del cambio climático en el sector agropecuario es fundamental para cumplir las metas establecidas en la Contribución Nacional Determinada (NDC) y avanzar en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Este sector tiene un papel estratégico por tres razones principales: i) su alta vulnerabilidad ante el cambio climático, reflejada en la reducción de la productividad y los impactos en la seguridad alimentaria y los medios de vida rurales; ii) su

elevado potencial de mitigación mediante la transición hacia sistemas sostenibles y iii) su capacidad para capturar carbono en suelos, cultivos y plantaciones forestales, lo que contribuye al equilibrio entre emisiones y absorciones.

En este marco, el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Agropecuario (PIGCC-Agro), formulado por [17] en el contexto del Programa para la Integración de la Agricultura en los Planes Nacionales de Adaptación (NAP-Ag), tiene como objetivo identificar, articular y orientar la implementación de medidas para mitigar la generación de GEI y reducir la vulnerabilidad del sector frente al CC. Este instrumento busca además incrementar la productividad, aportar a la seguridad alimentaria, mejorar el bienestar de la población rural y conservar la base natural que sustenta las actividades agropecuarias, en coherencia con la Ley 1931 de 2018 sobre cambio climático[18].

La relevancia del sector agropecuario en la economía nacional se evidencia en los resultados recientes de la Encuesta Nacional Agropecuaria-ENA de 2023[19]. Según [19] y MADR[20], el PIB agropecuario creció 3,8% en el segundo trimestre del año, consolidando al campo como motor económico del país. Este crecimiento se explica por el dinamismo de subsectores clave como la agricultura (4,3%), impulsada por cultivos permanentes (café, cacao, frutales y palma), la pesca y acuicultura (6,1%) y la ganadería (2,8%). Asimismo,[20] destaca el papel del sector externo, donde las exportaciones de café sin tostar crecieron un 82,7% interanual, el aceite de palma un 64,1%, y las flores 9,9%, representando en conjunto el 31,3% de las exportaciones totales del país.

Sin embargo, esta importancia económica contrasta con su peso en las emisiones nacionales de GEI. De acuerdo con IDEAM[21], el sector agropecuario es el segundo mayor emisor del país, con un 26% de las emisiones brutas, principalmente por fermentación entérica (31%) y la renovación de cultivos permanentes (30%). Las emisiones por departamento están directamente asociadas con la población ganadera, mientras que las absorciones se relacionan con el área de cultivos permanentes, en particular el café y palma de aceite en varias regiones. En el caso del sector forestal, responsable del 36% de las emisiones brutas, la principal fuente es la deforestación (98%) concentrada en departamentos como Caquetá, Meta y Guaviare, especialmente por la conversión de bosque natural a pastizales y vegetación secundaria. Las absorciones, por su parte, se asocian con las áreas de plantaciones forestales y procesos de regeneración natural, destacándose Vichada y Antioquia.

Los datos más recientes del IDEAM[22] confirman la tendencia, es decir, la relevancia productiva se refleja en las emisiones. En 2021 el total de emisiones del sector agropecuario fue de 57.958 ktCO₂eq, donde la fermentación entérica contribuyó con 76,8% (44.505 ktCO₂eq), las emisiones de N₂O de los suelos agrícolas (16,61%), categorías como la gestión del estiércol (5,24%), el cultivo de arroz (0,90%), la aplicación de urea (0,38%) y el encalado aportaron (0,09%). Esto evidencia que las emisiones ganaderas constituyen el componente más significativo dentro del sector, coherente con la información histórica de IDEAM[21] sobre la relevancia de la fermentación entérica en la contribución nacional a las emisiones de GEI.

En el periodo 2001-2021, el sector LULUCF registró una pérdida de bosque natural por deforestación de cerca de 3 millones de hectáreas, con un promedio anual de 151.500 hectáreas [22],[23]. También se reportó la degradación del bosque natural, con un promedio de 137.423 hectáreas entre 2013 y 2021[24], además de la siembra y renovación de cultivos permanentes como cacao, palma y café, con 224.465, 576.043 y 833.011 hectáreas, respectivamente[25]. Estas dinámicas llevaron a que, en 2021, las emisiones netas del sector alcanzaran 96.603,06 ktCO₂eq, siendo las tierras forestales las de mayor aporte, con el 55,75% (66.586,47 ktCO₂eq), producto de la deforestación, degradación del bosque, cosecha de plantaciones y consumo de leña. La segunda categoría corresponde a pastizales, con el 35,03% (41.842,75 ktCO₂eq), asociada a la conversión de bosque natural en pastos. Las emisiones restantes provienen de humedales, asentamientos, otras tierras, cultivos, productos de madera y quema de biomasa[22]. No obstante, el sector LULUCF es el único que reporta

absorciones de CO₂ por fotosíntesis, estimadas en -22.817,10 ktCO₂eq, principalmente en cultivos (40,17%), tierras forestales (38,50%), pastizales (21,25%) y asentamientos, 0,08%, correspondientes al crecimiento de árboles plantados en áreas urbanas[22].

En síntesis, el sector agropecuario colombiano representa un eje estratégico tanto en la economía nacional como en la agenda climática del país. Su papel dual como emisor y sumidero de GEI lo convierte en un componente clave para alcanzar la neutralidad de carbono y avanzar hacia modelos productivos sostenibles. Los esfuerzos emprendidos a través del PIGCC-Agro, las políticas del MADR y los compromisos derivados de la NDC, la Agenda 2030 y la Estrategia 2050 reflejan un compromiso creciente con la mitigación y la adaptación. No obstante, la efectividad de estas acciones dependerá de la implementación territorial de medidas diferenciadas, el fortalecimiento de capacidades locales, la generación de información precisa sobre emisiones y absorciones, y la articulación entre actores públicos, privados y comunitarios. Solo así será posible consolidar un sector agropecuario resiliente, competitivo y alineado con los ODS. En este marco, FAO, PNUD y MADR[17] han identificado estrategias de mitigación de GEI (Tabla 1), que actualmente se implementan de manera progresiva en distintas regiones, sin embargo, se requiere de su intensificación y ampliación para poder responder a los compromisos para 2030.

Tabla 1. Medidas sectoriales de reducción de emisiones de GEI identificadas

<i>Medidas Identificadas</i>	<i>Potencial de reducción en 2030 (GG CO₂eq)</i>
<i>Pastoreo racional (a integrar en NAMA ganadería)</i>	300
<i>NAMA ganadería sostenible (renovación de pasturas, SSP, SSPI, fermentación entérica)</i>	10.270
<i>Plantaciones forestales comerciales (maderables, pulpa, entre otros)</i>	3.180
<i>Plantaciones forestales comerciales (caucho)</i>	1.090
<i>Cultivo de palma (manejo de biomasa)</i>	390
<i>Aumento de hectáreas de frutales (aguacate y mango ppal.)</i>	180
<i>Uso de tecnología AMTEC en arroz</i>	10
<i>Nuevas hectáreas de cacao</i>	160
<i>Gestión de estiércol de bovinos</i>	600

4. Sistemas agropecuarios en el departamento del cauca, su relación con los GEI y el cambio climático

El sector agropecuario del departamento del Cauca se caracteriza por su alta diversidad natural, cultural y productiva, sustentada principalmente en una economía de Agricultura Campesina, Familiar y Comunitaria (ACFC). Esta modalidad es predominante, ya que el 91% de los 80 cultivos agrícolas cosechados en 2018 fueron agroalimentarios asociados a la ACFC, desarrollados en su mayoría en predios menores de tres hectáreas (73%). Las prácticas de cultivo están profundamente arraigadas en las tradiciones de las comunidades campesinas y étnicas, donde el 62% de las Unidades Productivas Agropecuarias (UPA) utiliza métodos manuales, orgánicos o biológicos para el control de plagas. En términos

de área sembrada, destacan los sistemas productivos de café, caña panelera/azucarera, plátano y maíz. En el componente pecuario, la ganadería bovina mantiene una presencia significativa con un inventario de 286.106 cabezas distribuidas en 17.547 predios, especialmente en las subregiones centro y sur. El Plan Departamental de Extensión Agropecuaria (PDEA)[26] prioriza el fortalecimiento de la ganadería sostenible bajo un enfoque agroecológico, mientras que la avicultura, particularmente la producción de gallina criolla, desempeña un papel social relevante por su vinculación con el trabajo de la mujer rural[27].

Durante la última década, algunas instituciones han contribuido a la comprensión del CC y la dinámica de emisiones GEI en los sistemas agropecuarios del Cauca, mediante investigaciones orientadas a la adaptación, mitigación y sostenibilidad. Entre ellas se destacan la Universidad del Cauca, a través de sus grupos de investigación NUTRIFACA y GEA, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y organizaciones aliadas en proyectos de alcance regional que han integrado ciencia, innovación y participación comunitaria.

El grupo Nutrición Agropecuaria - NUTRIFACA ha desarrollado un proyecto estratégico en los municipios de Patía y Mercaderes enfocado en la evaluación de especies forrajeras adaptadas al cambio climático. La iniciativa fortaleció la resiliencia de los sistemas ganaderos mediante la validación de gramíneas y leguminosas tolerantes al estrés hídrico, promoviendo la reducción de emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) asociadas al manejo ineficiente del forraje, e impulsando la transición hacia sistemas ganaderos sostenibles y ecoeficientes[28]. Publicaciones derivadas de este proyecto indican que, el uso de forrajes mejorados genera exudados (*Brachialactona*) con potencial de inhibir la nitrificación y por ende reducir las emisiones de GEI, mientras que, en los sistemas silvopastoriles se presenta mayor actividad microbiota lo que favorece el stock de carbono en el suelo[29].

De manera complementaria, el Grupo de Estudios Agroecológicos -GEA lideró el proyecto Agricultura, Vulnerabilidad y Adaptación (AVA), orientado a analizar los factores de vulnerabilidad del sector agrícola frente al cambio climático en la cuenca alta del río Cauca. Este trabajo pionero articuló universidades y centros de investigación nacionales (CIAT, Cenicafé, Universidad de Caldas), consolidando una metodología participativa que integró dimensiones biofísicas, socioculturales y económicas para la formulación de políticas públicas adaptativas [30].

En la misma línea, AGROSAVIA implementó el proyecto Desarrollo de nuevas recomendaciones tecnológicas para contribuir con la competitividad y sostenibilidad del sector quinuero del Cauca, financiado por el Sistema General de Regalías. Esta iniciativa fortaleció la producción limpia de quinua en municipios como Bolívar, La Vega, Silvia y Totoró, mediante la validación de líneas promisorias, prácticas de agricultura de conservación y mejoras en poscosecha. Al integrar saberes tradicionales con innovación científica, el proyecto contribuyó a reducir las emisiones derivadas del uso de insumos sintéticos y a fortalecer la resiliencia agroecológica del sistema[31].

Asimismo, el proyecto Territorio Sostenible Adaptado al Clima (TeSAC), impulsado por el programa CCAFS del CGIAR y la Fundación Ecohabitats desde 2015, convirtió el noroccidente de Popayán en un laboratorio vivo de innovación climática. Su enfoque de Agricultura Sostenible Adaptada al Clima (ASAC) permitió co-desarrollar prácticas y herramientas participativas, como los Planes Prediales de Adaptación y el enfoque PICSA, fortaleciendo capacidades locales, reduciendo emisiones de GEI y mejorando la seguridad alimentaria. La articulación institucional con la Gobernación del Cauca, la CRC y las UMATA promovió la incorporación del cambio climático en instrumentos de planificación y políticas públicas, con énfasis en inclusión social y equidad de género[32].

Finalmente, los instrumentos de planificación territorial como el Plan Departamental de Extensión Agropecuaria (PDEA) 2024–2027 y el Plan Integral de Gestión de Cambio

Climático Territorial del Cauca (PIGCCTC) consolidan la acción institucional en torno a la sostenibilidad y la mitigación de GEI. Ambos planes integran diagnósticos agroecológicos y estrategias diferenciadas por subregión, promoviendo la agroforestería, la agricultura de conservación, el uso de bioinsumos y los sistemas silvopastoriles como medidas de mitigación y adaptación. De este modo, el Cauca avanza hacia una producción agropecuaria ambientalmente responsable, socialmente equitativa y resiliente frente al cambio climático[26],[33].

5. Emisión de GEI en el departamento del Cauca

En el marco de la formulación de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (TCN), se elaboraron inventarios GEI a escala departamental para los años 2010, 2011 y 2012, con el propósito de identificar las principales fuentes de emisión, las absorciones totales y la contribución relativa de cada sector económico. Para su elaboración se siguieron las orientaciones metodológicas establecidas por el IPCC (2006), las cuales contemplan cuatro grandes categorías: Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU), Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU), y Residuos. En cada categoría se incluyeron subsectores específicos, sustentados en datos de actividad obtenidos a nivel departamental.

Las fuentes de información incluyeron los Anuarios Estadísticos del Departamento, registros de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y bases de datos nacionales con desagregación territorial. En los casos en que la información no estaba disponible a escala departamental, se recurrió a la estimación mediante factores de desagregación derivados de datos nacionales. Para la mayoría de los sectores se aplicaron aproximaciones metodológicas de nivel 1 del IPCC, que emplean factores de emisión estandarizados y datos de actividad específicos para cada región[21].

De acuerdo con IDEAM[21], el sector agropecuario del Cauca presentó emisiones de 1,43 millones de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂eq), ubicándose en el puesto 20 entre los departamentos del país. En el sector forestal, las emisiones alcanzaron 2,68 Mt CO₂eq, lo que posiciona al Cauca en el octavo lugar nacional. Las emisiones derivadas del uso de leña representaron aproximadamente una cuarta parte del total departamental, asociadas a la alta población rural (56%), el funcionamiento de hornillas paneleras y producción ladrillera artesanal. En el sector manufacturero, el principal aporte provino del metano liberado en el tratamiento de aguas industriales, equivalente al 15% de las emisiones totales. Por su parte, las actividades de deforestación representaron cerca del 12% del total departamental. En conjunto, los gases inventariados corresponden a los GEI directos (CO₂, CH₄ y N₂O), los cuales explican la mayor parte de la huella climática del departamento.

En la gráfica 1, se muestra que el sector forestal presenta el mayor porcentaje dentro del balance departamental (46,72%), incluyendo un balance entre emisiones y almacenamiento de carbono en los ecosistemas. Le sigue el sector agropecuario (24,84%), cuyas emisiones provienen principalmente de la fermentación entérica del ganado, el manejo de estiércol y el uso de fertilizantes nitrogenados.

Le sigue el sector agropecuario (24,84%), cuyas emisiones provienen principalmente de la fermentación entérica del ganado con 0,23504 ktCO₂eq, las emisiones directas e indirectas asociadas a la orina y estiércol de animales en pastoreo incluyendo el ganado bovino, equino, porcino y ovino, aportaron 0,15489 ktCO₂eq. La transformación de humedales que presentan capas de suelo orgánico drenadas y utilizadas para la agricultura y la silvicultura y que han aportado 0,10800 ktCO₂eq. El uso de fertilizantes para cultivos permanentes, no permanentes y pastos ha generado 0,0855 ktCO₂eq. El uso de combustibles en maquinaria y equipos generaron 0,04279 ktCO₂eq. Mineralización del nitrógeno debido a los cambios en los usos del suelo (0,02030 ktCO₂eq), gestión del estiércol y fermentación entérica de ganado no bovino (0,03343 ktCO₂eq). Otros que incluye gestión del estiércol

bovino y porcino 0,01542 ktCO₂eq, cultivos de arroz 0,00226 ktCO₂eq y generación de residuos y otros 0,11224 ktCO₂eq. Este sector, pese al alto nivel de emisiones, también contribuye con absorciones que abarcan 2,96177 ktCO₂eq a través del incremento de cultivos permanentes como el café, aguacate, cacao, caucho y palma[21].

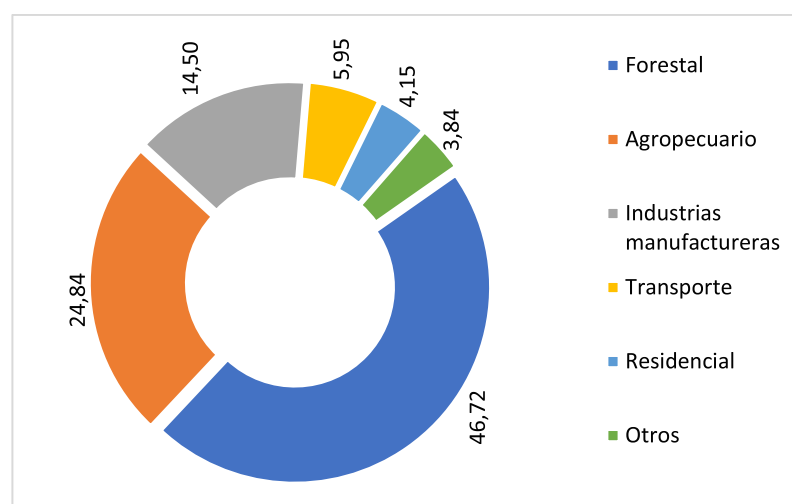


Figura 1. Participación de las emisiones por sector económico

Fuente: Modificado de IDEAM *et al.*, 2016

En menor medida, las industrias manufactureras y de la construcción (14,50%), el transporte (5,95%) y el sector residencial (4,15%) contribuyen con emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles y biomasa. En conjunto, esta distribución evidenciaría que las emisiones del Cauca están dominadas por actividades vinculadas al uso de la tierra y la producción agropecuaria, lo que refuerza la necesidad de fortalecer acciones de manejo forestal sostenible y transición hacia sistemas agropecuarios bajos en carbono.

Aunque el departamento solo aporte el 1% de GEI a nivel nacional, Cauca es de las regiones con mayor impacto ocasionado por el cambio climático; se prevé que los cambios de temperatura podrán aumentar hasta 2.6°C afectado especialmente la costa pacífica, con precipitaciones que pueden aumentar hasta el 30% en la zona norte, cambio que repercuten en la biodiversidad y el servicio ecosistémico de provisión hídrica, amenazando los cultivos de pan coger y algunas cadenas productivas como cacao, aguacate, maíz y fresa tendría que trasladarse al centro del departamento[34],[35].

6. Aplicación de metodologías Tier 2 en contextos regionales

De acuerdo con IDEAM[36] las emisiones de CH₄ derivadas de la fermentación entérica del ganado bovino fueron estimadas mediante el modelo AFOLU 1 Colombia, empleando un enfoque metodológico *Tier 2*. Este nivel de análisis representa un avance respecto al *Tier 1*, al incorporar información detallada sobre las condiciones regionales, las categorías de animales, los sistemas productivos, la calidad de las dietas y las condiciones climáticas. Para la estimación se utilizaron ecuaciones refinadas del IPCC(2019) ajustadas con metodologías internacionales ampliamente reconocidas entre ellas National Research Council - NRC[37], Cornell Net Carbohydrate and Protein System - CNCPS[38], Tedeschi *et al.*[39],[40] y CSIRO[41] con el apoyo técnico del equipo de emisiones agrícolas de Nueva Zelanda. La

regionalización ganadera permitió definir zonas agroecológicas con características relativamente homogéneas, lo que facilitó la estimación de factores de emisión diferenciados y redujo la incertidumbre de los resultados obtenidos a escala nacional.

De forma complementaria, el Boletín Técnico sobre el cálculo de Factores de Emisión de Metano (CH_4) entérico y de gestión de estiércol para Ganado Bovino en Colombia[42] desarrollaron una metodología Tier 2 ajustada a las condiciones de los sistemas ganaderos del país. Este estudio partió de la regionalización ganadera previamente definida por el IDEAM, FEDEGÁN y CIPAV, y calculó los factores de emisión de CH_4 entérico y de gestión de estiércol a partir de parámetros específicos. Las ecuaciones utilizadas correspondieron al refinamiento del IPCC (2019), mejoradas con parámetros de modelos internacionales NRC[43]; CNCPS[38]; CSIRO[41] y el apoyo técnico del desarrollador de la Metodología para el cálculo de las emisiones agrícolas de GEI de Nueva Zelanda.

El estudio resaltó que las emisiones de CH_4 entérico representan una pérdida energética entre el 2 y el 12% de la energía bruta ingerida por el animal, expresada como el factor de conversión Y_m [44],[45],[46]. Este valor depende de la calidad y digestibilidad de las dietas, y muestra una relación inversa entre ambos factores. Asimismo, se enfatizó la necesidad de estimaciones más precisas y representativas que reflejen la diversidad de sistemas ganaderos del país, condición esencial para el cumplimiento de compromisos internacionales de reporte y mitigación de GEI[47].

El uso del enfoque Tier 2 en el *inventario nacional* y su aplicación metodológica por Moreno *et al*[47] constituyen un avance técnico significativo, estos esfuerzos contribuyen a mejorar la precisión de las estimaciones y ofrecen bases para diseñar estrategias de mitigación y programas de pago por resultados, adaptables a escalas regionales como la del departamento del Cauca.

7. Priorización del Cauca para financiación climática

Con el propósito de cumplir los compromisos de reducción de emisiones de GEI a 2030 y alcanzar la carbono neutralidad en 2050, Colombia ha implementado la Estrategia Nacional de Financiamiento Climático (ENFC) la cual busca movilizar recursos para financiar iniciativas de mitigación y adaptación[48]; no obstante, hoy no se cuenta con los recursos financieros para impactar los 32 departamentos. En razón a ello Carantón-Téllez[49] ha tomado en cuenta los riesgos asociados al cambio climático, priorizando los departamentos como punto de partida para realizar inversiones y promover el corredor de financiamiento climático, entre ellos se destacó Cauca, por poseer ecosistemas de gran importancia para la biodiversidad del país, entre los cuales se encuentran 78 tipos de ecosistemas, 12 biomas y 5 Parques Nacionales Naturales, que en su totalidad ocupan más del 50% del territorio departamental y alojan al 70% de las aves y 45% de mamíferos de Colombia, adicionalmente, alberga al 70% del Macizo Colombiano donde nacen los ríos Magdalena, Patía, Caquetá y Cauca[50]. Así mismo, los escenarios de cambio climático futuro revelan que el departamento tendría aumentos en la precipitación en un 30% en 2040, lo que incrementa los riesgos asociados al CC[51]. En este contexto, es necesario y urgente dichas intervenciones financieras para proteger los ecosistemas, reducir vulnerabilidad y garantizar la sostenibilidad.

8. Conclusiones

En el departamento del Cauca se han desarrollado esfuerzos relevantes en diagnósticos agroecológicos, estrategias de adaptación y proyectos productivos orientados a la mitigación de GEI. Sin embargo, la información disponible aún presenta vacíos significativos: la medición de emisiones por subsectores agropecuarios no es sistemática y los registros públicos son complejos, lo que dificulta contar con balances de carbono verificables y comparables en el

tiempo. Aunque distintas iniciativas nacionales e internacionales han contribuido mediante procesos de capacitación y promoción de buenas prácticas, los resultados suelen presentarse como lineamientos técnicos más que como cuantificaciones directas de reducción de emisiones.

Ante este panorama, resulta necesario fortalecer las capacidades institucionales y técnicas en el territorio. Se recomienda establecer unidades piloto de monitoreo en sistemas productivos representativos del Cauca, articuladas con universidades, el ICA y el IDEAM, para consolidar un observatorio regional de emisiones agropecuarias. Asimismo, se sugiere desarrollar metodologías participativas y de bajo costo que combinen mediciones directas con factores de emisión ajustados al contexto local, de modo que los resultados puedan integrarse a los planes de desarrollo departamentales y a la NAMA de Ganadería Bovina Sostenible. Esto permitiría avanzar hacia una agricultura baja en carbono, sustentada en información científica sólida y coherente con las condiciones socio ecológicas del territorio.

Referencias

- [1] J. L. Useros Fernández, "El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales," *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, no. 50, pp. 71–98, 2013.
- [2] C. Yaman, "A Review on the Process of Greenhouse Gas Inventory Preparation and Proposed Mitigation Measures for Reducing Carbon Footprint," *Gases*, vol. 4, pp. 18–41, Mar. 2024, doi: 10.3390/gases4010002.
- [3] "Las causas del cambio climático - NASA Ciencia." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/causas/>
- [4] "2.2 Orígenes del cambio climático - CIE SYR Informe de síntesis." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/mains2-2.html
- [5] "Comisión Económica para América Latina - CEPAL. 2025. Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.cepal.org/es/temas/cambio-climatico>
- [6] "Cambio Climático y soluciones." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/clima_y_energia/cambio_climatico/
- [7] "COP29 acuerda triplicar la financiación a los países en desarrollo, protegiendo vidas y medios de subsistencia | CMNUCC." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://unfccc.int/es/news/cop29-acuerda-triplicar-la-financiacion-a-los-paises-en-desarrollo-protegiendo-vidas-y-medios-de>
- [8] "El Diccionario Climático," PNUD. Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.undp.org/es/publicaciones/el-diccionario-climatico>
- [9] "Estrategia de la FAO sobre el cambio climático 2022–2031".
- [10] "Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático - CIAT." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/0421e612-0133-4ee2-a86d-785561d07a6e/content>
- [11] "Corporación colombiana de investigación agropecuaria - Agrosavía." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/342/362/1965-1?inline=1>
- [12] "Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero — IPCC." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- [13] "Capítulo-Productividad-Rural-Informe-Nacional-de-Competitividad-2024-2025.pdf." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2024/11/Capitulo-Productividad-Rural-Informe-Nacional-de-Competitividad-2024-2025.pdf>

- [14] H. Ritchie, P. Rosado, and M. Roser, "Environmental Impacts of Food Production," *Our World in Data*, Dec. 2022, Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>
- [15] "GreenHouse Gas Protocol." Accessed: nov. 27, 2025. [Online]. Available: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>
- [16] G. Buto, M. Alekseeva, N. Bernoux, *Climate finance in the agriculture and land use sector - global and regional trends between 2000 and 2018*. FAO, 2021. doi: 10.4060/cb6056en.
- [17] "Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Agropecuario: PIGCCS-Agropecuario." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/RESOLUCI%C3%93N%20NO.%20000355%20DE%202021.pdf>
- [18] "Directrices para la gestión del Cambio Climático." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1931-2018.pdf>
- [19] "Encuesta Nacional Agropecuaria-ENA 2023.pdf." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/ENA/bol-ENA-2023.pdf>
- [20] "El sector Agricultura, protagonista de la reactivación económica durante el primer trimestre de 2025." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-Agricultura,-protagonista-de-la-reactivaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica-durante-el-primer-trimestre-de-2025-.aspx>
- [21] IDEAM, PNUD, MADS, DNP, and CANCELLERIA, *Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero - Colombia*. 2016.
- [22] "Inventario_Nacional_de_Emisiones_y_Absorciones_Atmosféricas_de_Colombia.pdf." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/05/Inventario_Nacional_de_Emisiones_y_Absorciones_Atmosfe%CC%81ricas_de_Colombia.pdf
- [23] J. C. González, *Caracterización de las principales Causas y Agentes de la Deforestación a Nivel Nacional. Período 2005-2015*, 1st ed. Bogotá, Colombia: FAO, 2018. Accessed: Nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i9618es>
- [24] M. S. M. González and S. Y. S. Castañeda, "Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible - Ambiente".
- [25] Agronet-Minagricultura and UPRA, "Estadísticas: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- [26] J. O. G. Gutiérrez and J. A. M. Rosero, "Plan Departamental De Extensión Agropecuaria Departamento Del Cauca".
- [27] L. F. Mendoza, L. Jiménez, J. Leal, and J. C. Camargo, "Evaluación Socio-Económica De Criadores De Gallina Criolla En 5 Comunidades Rurales De Colombia," ResearchGate. Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/294581140_valuacion_socio-economica_de_criadores_de_gallina_criolla_en_5_comunidades_rurales_de_colombia
- [28] Universidad del Cauca, "Investigadores de Unicauca realizan valioso aporte a la ganadería del sur del Departamento." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://portal.unicauca.edu.co/versionP/noticias/investigaci%C3%B3n/investigadores-de-unicauca-realizan-valioso-aporte-la-ganader%C3%ADa-del-sur-del-departamento>
- [29] "Carbono orgánico del suelo en tres sistemas de producción ganadera del Valle del Patía – Colombia," Alliance Bioversity International - CIAT. Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://alliancebioversityciat.org/publications-data/carbono-organico-del-suelo-en-tres-sistemas-de-produccion-ganadera-del-valle-del>
- [30] "Analysing vulnerability: a multi-dimensional approach from Colombia's Upper Cauca River Basin." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://cdkn.org/sites/default/files/files/Colombia-InsideStory.pdf>

- [31] AGROSAVIA, "AGROSAVIA transforma el sector quinuero en el Cauca." Accessed: Nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.agrosavia.co/noticias/transformando-el-sector-quinuero-en-el-cauca-un-proyecto-que-impulsa-competitividad-y-sostenibilidad/>
- [32] P. K. Aggarwal *et al.*, "The climate-smart village approach: framework of an integrative strategy for scaling up adaptation options in agriculture," *E&S*, vol. 23, no. 1, p. art14, 2018, doi: 10.5751/ES-09844-230114.
- [33] "Plan Integral De Gestión De Cambio Climático Territorial Del Cauca." Accessed: Nov. 28, 2025. [Online]. Available: https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/aproximacion__al_territorio/Cauca.pdf
- [34] "Análisis Departamental de Vulnerabilidad y Riesgo frente al Cambio Climático para el sector Agropecuario." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: https://cambioclimatico.fao.org.co/wp-content/uploads/2023/06/10-CAUCA_30.03.2023.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [35] "Estrategia-Climatica-de-Largo-Plazo-de-Colombia-E2050.pdf." Accessed: Nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/12/2.-Estrategia-Climatica-de-Largo-Plazo-de-Colombia-E2050.pdf>
- [36] IDEAM, "Documento Del Inventario Nacional De Emisiones Y Absorciones Atmosféricas De Colombia. Gases De Efecto Invernadero (1990-2021). Contaminantes Criterio Y Carbono Negro (2010-2021). Primer Informe Bienal De Transparencia (Btr 1) De Colombia.," 2025, [Online]. Available: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BTR1_Colombia_Annex1_NIR.pdf
- [37] R. R. White *et al.*, "Evaluation of the National Research Council (2001) dairy model and derivation of new prediction equations. 1. Digestibility of fiber, fat, protein, and nonfiber carbohydrate," *Journal of Dairy Science*, vol. 100, no. 5, pp. 3591–3610, May 2017, doi: 10.3168/jds.2015-10800.
- [38] "The Net Carbohydrate and Protein System For Evaluating Herd Nutrition And Nutrient Excretion." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.nutritionmodels.com/documents/CNCPS5manual.pdf>
- [39] L. O. Tedeschi, D. G. Fox, and T. P. Tylutki, "Potential environmental benefits of ionophores in ruminant diets," *J Environ Qual*, vol. 32, no. 5, pp. 1591–1602, 2003, doi: 10.2134/jeq2003.1591.
- [40] L. O. Tedeschi, D. G. Fox, and P. J. Guioy, "A decision support system to improve individual cattle management. 1. A mechanistic, dynamic model for animal growth," *Agricultural Systems*, vol. 79, no. 2, pp. 171–204, Feb. 2004, doi: 10.1016/S0308-521X(03)00070-2.
- [41] Primary Industries Standing Committee, *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. CSIRO Publishing, 2007. doi: 10.1071/9780643095106.
- [42] H. Moreno, C. Torres, E. Gómez, D. Manrique, L. Sánchez Pulido, and Grupo de Cambio Global - Subdirección de estudios Ambientales (SEA)_IDEAM, "Boletín Técnico Factores Emisión Metano Tier 2 | PDF | Metano | Vacas."
- [43] "National Research Council Nutrient Requirements Of Beef Cattle Seventh Revised Edition, 1996." Accessed: Nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://nap.nationalacademies.org/resource/beef/beef10.pdf>
- [44] E. Kebreab, K. A. Johnson, S. Archibeque, D. Pape, and T. Wirth, "Model for estimating enteric methane emission from United States dairy and feedlot cattle," *Journal of animal science*, vol. 86, pp. 2738–48, July 2008, doi: 10.2527/jas.2008-0960.
- [45] M. Cambra-Lopez, P. García, F. Estellés, and A. Torres, "Estimación de las emisiones de los rumiantes en España."
- [46] V. Masson-Delmotte *et al.*, "El cambio climático y la tierra. Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres".
- [47] J. P. Goopy, A. A. Onyango, U. Dickhoefer, and K. Butterbach-Bahl, "A new approach for improving emission factors for enteric methane emissions of cattle in smallholder systems of East Africa – Results for Nyando, Western Kenya," Mar. 2018, doi: 10.1016/j.agry.2017.12.004.
- [48] D. N. de P. DNP and F. para la E. S. y el D. Fedesarrollo, "Estrategia Nacional de Financiamiento Climático," p. 66, 2022.
- [49] A. L. C. Téllez, "Priorización de Departamentos de Colombia para la Promoción en Territorio del Corredor De Financiamiento Climático".

-
- [50] "Vision-Cauca-2032.pdf." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.fundaciondelmacizo.org/doc/VISION-CAUCA-2032.pdf>
- [51] "BUR3 -Tercer Informe Bienal de Actualización de Cambio Climático de Colombia." Accessed: nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>