

# Emisión de carbono equivalente en la generación de beneficios económicos de la ganadería en el piedemonte amazónico colombiano



Revista EIA  
ISSN 1794-1237  
e-ISSN 2463-0950  
Año XIX/ Volumen 20/ Edición N.39  
Enero-Junio de 2023  
Reia3908 pp. 1-17

Publicación científica semestral  
Universidad EIA, Envigado, Colombia

## PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Pardo Rozo, Y.; Andrade Adaime, M.;  
Orjuela Cháves, J.

Emisión de carbono equivalente en la  
generación de beneficios económicos  
de la ganadería en el piedemonte  
amazónico colombiano.

Revista EIA, 20(39), Reia3908.  
pp. 1-17.

<https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1614>

### ✉ Autor de correspondencia:

Pardo Rozo, Y. (Yelly)  
Doctor en ciencias naturales y  
desarrollo sustentable, Maestría en  
economía del ambiente y recursos  
naturales. Docente de carrera  
Universidad de la Amazonia.  
Correo electrónico:  
y.pardo@udla.edu.co

**Recibido:** 13-05-2022

**Aceptado:** 12-09-2022

**Disponible online:** 01-01-2023

✉ YELLY YAMPARLI PARDO ROZO<sup>1</sup>

MILTON CÉSAR ANDRADE ADAIME<sup>1</sup>

JOSÉ ALFREDO ORJUELA CHÁVES<sup>1</sup>

1. Universidad de la Amazonia

## Resumen

El estudio propuso estimar el carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) generado por la actividad ganadera en el piedemonte amazónico y cómo se relaciona con los beneficios económicos. Se calcularon indicadores de rentabilidad (como el valor presente neto, la razón beneficio costo y la tasa única de retorno) y se estimó la emisión de CO<sub>2</sub>e proveniente de las actividades operativas, administrativas y de comercialización en una muestra de 60 fincas ubicadas en el piedemonte amazónico colombiano. Se empleó análisis de conglomerados como técnica multivariada para determinar tipologías conforme con las características socioeconómicas de productores y niveles de producción de las fincas. Se propuso un modelo econométrico para hallar la emisión marginal de CO<sub>2</sub>e atribuida a la generación de utilidad, cuya validez teórica y estadística empleó el estimador de máxima verosimilitud y pruebas de hipótesis de medias. Se encontraron dos tipos de fincas según los factores económicos y ambientales: sistemas ganaderos de acumulación simple y sistemas ganaderos de subsistencia. El impacto de la actividad ganadera en el ambiente es observable a través de la huella de carbono: por cada millón de pesos generado en utilidades se emiten 0,033 Mg de CO<sub>2</sub>e, mientras que por cada bovino introducido se emiten 1,337 Mg de CO<sub>2</sub>e. En las fincas se estimó una huella de carbono de 3,1 Mg CO<sub>2</sub>e.ha<sup>-1</sup>. Estos datos aportan indicadores ambientales y económicos hacia la valoración de la sostenibilidad y permiten conocer el impacto que tiene la actividad ganadera en la emisión de gases de efecto invernadero que ha conllevado al cambio climático.

**Palabras clave:** Gases de efecto invernadero, Huella de carbono, Modelo econométrico, Razón beneficio costo, Uso de la tierra.

# Carbon equivalent emissions in the generation of economic benefits from cattle raising in the Colombian Amazon piedmont

## Abstract

The study proposed to estimate the carbon equivalent (CO<sub>2</sub>e) generated by livestock activity in the Amazon piedmont and how it relates to economic benefits. Profitability indicators (such as net present value, benefit-cost ratio and single rate of return) were calculated and CO<sub>2</sub>e emissions from operational, administrative and marketing activities were estimated for a sample of 60 farms located in the Colombian Amazon piedmont. Cluster analysis was used as a multivariate technique to determine typologies according to the socioeconomic characteristics of producers and production levels of the farms. An econometric model was proposed to find the marginal CO<sub>2</sub>e emission attributed to utility generation, whose theoretical and statistical validity used the maximum likelihood estimator and hypothesis testing of means. Two types of farms were found according to economic and environmental factors: simple accumulation livestock systems and subsistence livestock systems. The impact of livestock activity on the environment is observable through the carbon footprint: for each million pesos generated in profits, 0.033 Mg of CO<sub>2</sub>e are emitted, while for each cattle introduced, 1.337 Mg of CO<sub>2</sub>e are emitted. A carbon footprint of 3.1 Mg CO<sub>2</sub>e.ha<sup>-1</sup> was estimated for the farms. These data provide environmental and economic indicators for the assessment of sustainability and show the impact of livestock activity on the emission of greenhouse gases, which has led to climate change.

**Keywords:** Green-house gases, Carbon footprint, Econometric model, Cost benefit ratio, Land use.

## 1. Introduction

El sector ganadero del piedemonte amazónico colombiano se caracteriza por los bajos niveles de productividad y la predominancia de modelos de ganadería extensiva; el mercado internacional se realiza con países vecinos con requerimientos de calidad que no denotan mercados exclusivos (Pertuz-Martínez y Elías-Caro, 2019). La región amazónica aporta cerca del 0,9% del PIB del país y el 1,8% del sector primario y produce 7,9% de las cabezas de ganado (DANE - FEDEGAN, 2021). Cerca del 98% de los sistemas ganaderos en el piedemonte

amazónico manejan procesos tradicionales; 1,8% se encuentran en transición hacia modelos sostenibles de producción y un 0,2% cuentan con algún tipo de modelo agroforestal (Pardo-Rozo et al., 2021).

La actividad ganadera extensiva ha traído como consecuencia la deforestación, pérdida de biodiversidad, desplazamiento de especies, vulnerabilidad en suelos, contaminación de cuerpos de agua y cambios en la dinámica de la regulación hídrica (Álvarez et al., 2013; Pardo-Rozo, Muñoz-Ramos y Velásquez-Restrepo, 2020). A esto se suma el daño ambiental provocado por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el óxido nitroso,  $N_2O$ , metano,  $CH_4$  y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) (Carmona, Bolívar y Giraldo, 2005) causantes del calentamiento global. La actividad ganadera genera 5 Gt de  $CO_2e$ , valor que equivale al 10% de las emisiones totales en el mundo (FAO, 2022). En América latina y el Caribe se producen 501.350,5 Mt de  $CO_2e$  en sistemas doble propósito y en Colombia equivalen al 12,5% de las emisiones del país (32 Mt de  $CO_2e$ ) (Bravo-Parra, 2020).

Sin embargo, en economía la curva ambiental de Kuznets de 1995, que relaciona los GEI con indicadores de crecimiento económico para medir el impacto de una actividad económica (Gómez-Segura, Cerquera-Lozada y Acero-Cebay, 2021), demostró que es posible el crecimiento económico con una disminución en la generación de contaminantes a partir de la incorporación de tecnologías limpias (Rogelj et al., 2019). Esta investigación tiene por objetivo estimar el  $CO_2e$  generado por la actividad ganadera en el piedemonte amazónico, a partir del cálculo de la huella de carbono HC en el ciclo productivo, los indicadores de rentabilidad de las fincas y observar su relación con la generación de utilidades. La información resultante ofrece orientaciones hacia la búsqueda de desarrollo rural sustentable por ser la Amazonia colombiana un ecosistema estratégico importante en la mitigación de cambio climático (Roucoux et al., 2017). El estudio se enmarca en los intereses de la política ambiental según los planes de desarrollo de política sectorial.

## 2. Materiales y Métodos

**Localización.** La investigación se desarrolló en el área rural de Belén de los Andaquíes, departamento del Caquetá, a los 1°20'93.3"-1°12'8.9" N y 75°50'30"-75°44'21.5" W en el suroccidente del territorio colombiano que corresponde al piedemonte amazónico (paisaje entre los 250 a 500 m de altura). La unidad de análisis fueron las fincas ganaderas del piedemonte amazónico colombiano, cuyos predios productivos cuentan con sistemas tradicionales y algunos implementan prácticas sostenibles de producción.

**Obtención de información.** Se aplicó una encuesta semiestructurada dirigida a los productores de fincas ganaderas. El instrumento capturó información financiera, económica, ambiental y sociodemográfica, y se trabajó con estudios previos en la zona de Álvarez et al. (2020) y Pardo-Rozo et al. (2021).

**Población y muestra.** En la zona de estudio existen 300 unidades productivas ganaderas (FEDEGAN, 2021) de las cuales se extrajo una muestra de 60 fincas a partir de un muestreo estratificado proporcional al tamaño del estrato, y dentro de cada estrato se realizó un muestreo aleatorio, con desviación poblacional de 0,5 y un margen de error de 8% (Hernández et al., 2014).

**Método de análisis para la tipificación de fincas.** Se propusieron variables de clasificación de las fincas de naturaleza socioeconómica y ambiental de acuerdo con Hart (1990) y Escobar y Berdegué (1990). Entre ellas ingresos, costos, indicadores de rentabilidad, huella de carbono, usos del suelo, nivel de producción, número de empleos, entre otros. Se empleó el análisis multivariado de conglomerados jerárquicos para tipificar las usando el método de Ward y una distancia obtenida a partir de la similaridad de Gower. Se empleó el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018).

**Cálculo del indicador de rentabilidad.** Se construyeron flujos de fondos para cada finca a fin de hallar indicadores de rentabilidad como: la Razón Beneficio Costo RBC, la Tasa Única de Retorno TUR y el Valor Presente Neto VPN (Méndez, 2016). El flujo de fondos se

construyó con información de tres años de operación (36 meses). Se empleó una tasa de descuento del doce por ciento efectiva anual para el sector agropecuario (Piraquive-Galeano, Matamoros-Cárdenas y Rodríguez-Chacón, 2018).

### **Cálculo de la huella de carbono HC en sistema ganadero.**

Según Shi y Yin (2021) la Huella de Carbono HC se define como una medida de la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> directa o indirectamente causadas por una actividad o las emisiones acumuladas por el ciclo de vida de un producto. Los autores indican que huella es una expresión metafórica empleada en las investigaciones como un paradigma relativo al cambio climático. Se aplicó el método de análisis de ciclo de vida según la CAR (2013), Páez (2016), Páez-Barón, Corredor-Camargo y Fonseca-Carreño (2018), donde se identifican las fuentes de emisión de GEI proveniente de las actividades ganaderas de naturaleza operativa, administrativa y comercial. La HC por ganadería se estimó a partir de estos aspectos:

- i. Emisiones de CO<sub>2</sub>e por cabeza de ganado al año GCO<sub>2</sub>. Se aplicó la siguiente fórmula (Ecuación 1):

$$GCO_2e = N * EFN * 21 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde EFN es el Factor de emisiones por metano CH<sub>4</sub>, valor que por defecto es de 49 según Dong et al. (2006) e IPCC (2006) y N es el número de cabezas de ganado.

- ii. Emisiones anuales de CO<sub>2</sub>e por deforestación DB<sub>A</sub>CO<sub>2</sub>e. Según Pardo-Rozo et al. (2021) en la zona de estudio una hectárea de bosque contiene 154,1 Mg C ha<sup>-1</sup>, lo que equivale a 565,1 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. El equivalente de esta biomasa arriba del suelo en CO<sub>2</sub> perdido en la deforestación, se calcula obtuvo así (Ecuación 2):

$$DB_A CO_2e = (t CO_2 ha^{-1}) * (ha deforestadas año^{-1}) \quad (\text{Ecuación 2})$$

- iii. Emisión anual por consumo de gas propano  $GPCO_2e$ . Fundamentado en la IPCC (2006), se estimó partir del siguiente cálculo (Ecuación 3):

$$GPCO_2e = (40 \text{ libras GP}) / (1 \text{ cilindro GP}) * (0,817 \text{ libras C}) / (1 \text{ libra GP}) * (0,4526 \text{ kg C}) / (\text{libra C}) * (44 \text{ Kg } CO_2 / 12 \text{ kg C}) * (1 \text{ Mg } CO_2 / 1.000 \text{ kg}) * (\text{Número de cilindros GP año})$$

(Ecuación 3)

- iv. Emisión por consumo de energía eléctrica  $ECO_2e$ . Se empleó el siguiente cálculo (Ecuación 4):

$$ECO_2e \text{ anual} = (\$ \text{ anual energía fincas}) / (\$648,134/\text{kwh}) * (0,16438 \text{ kg } CO_2) / (1 \text{ kwh})$$

(Ecuación 4)

Donde se pagan \$648,134 kwh (Electrificadora del Caquetá, 2021) y cada kwh emite 164,38 gr  $CO_2$  según el valor unificado del factor de emisión de energía para GEI (Sánchez-Rippe y Galvis-Mora, UPME, 2020).

- v. Emisiones anuales de  $CO_2e$  por transporte  $TCO_2e$ . Las actividades de distribución y comercialización de productos de las fincas generan emisiones a partir del uso de vehículos con combustible fósil. La cantidad de  $CO_2e$  emitido por galón de gasolina consumidos es de  $8.89 \times 10^{-3}$  toneladas métricas (Ecuación 5).

$$TCO_2e = (\$ \text{ anual galones de combustible}) / (\$ 1 \text{ galón}) * 8.89 \times 10^{-3} \text{ toneladas métricas de } CO_2 / \text{galón de gasolina}$$

(Ecuación 5)

**Modelo empírico propuesto.** Se propuso un modelo econométrico cuya variable dependiente es la cantidad de mega gramos emitidos de  $CO_2e$  al año por actividad ganadera. Las variables independientes

fueron: número de animales, la utilidad anual en millones de pesos y el nivel tecnológico NT (Ecuación 6).

$$CO_2e = \beta_0 \pm \beta_1 * V \pm \beta_2 * UA \pm \beta_3 * NT + \varepsilon \quad (\text{Ecuación 6})$$

Los  $\beta_i$  con  $i=0, 1, 2$  y  $3$ , son los parámetros del modelo que representan los cambios marginales de cada variable. La variable estocástica  $\varepsilon$  representa el error del modelo. Se empleó el método de estimación de parámetros de mínimos cuadrados ordinarios. Se calculan los índices de correlación entre las variables del modelo empírico.

### 3. Resultados

**Caracterización de los sistemas ganaderos.** La ganadería de leche fue la principal actividad económica de las fincas (81%) seguida del doble propósito (19%). Como actividades económicas complementarias se incluyen especies menores (aves 12 %, cría y levante de cerdos 5 %). Un 7 % de las fincas tienen plantaciones de caucho y palma de aceite y el 4 % cultivos de yuca, cacao, caña y plátano. La extensión de todas las fincas suma un total de 4.416 ha, cuyos usos del suelo se distribuyen así: 3% bosques naturales, 2% bosques secundarios, 86% pasturas (de las cuales el 44 % son pastos mejorados), 9,7% cultivos y un 7% plantaciones forestales (caucho y palma). La producción anual de leche de las 60 fincas suma 2'165.972 l con un promedio de 5,2 l vaca día<sup>-1</sup>.

En las 60 fincas se cuentan 3.334 cabezas de ganado. En la zona de estudio se generan 78 empleos familiares, 23 empleos externos fijos y 56 empleos externos temporales, con un ingreso per cápita por familia de \$1'421.000 anual. El 55% de las fincas presentan ganadería tradicional; el 35% realizan ganadería en transición hacia prácticas sostenibles y el 10% tienen ganadería intensiva. El 12% de las fincas tiene un bajo nivel tecnológico; el 68% un nivel tecnológico medio y el 20% un nivel alto.

**Estimación de indicadores financieros.** Se calcularon los indicadores financieros de rentabilidad (VPN, RBC, TIR, TUR y utilidad anual) (Tabla 1).

Tabla 1. Estadística descriptiva indicadores financieros de fincas ganaderas del piedemonte amazónico.

Variable	Media	Error estándar	Máximo	Mínimo	# de Fincas
Utilidad anual (\$)	19'152.000	3'877.091	140'503.000	1'290.000	60
VPN Positivo (\$)	18'035.337	3'492.223	119.897.976	174.938	53
VPN Negativo (\$)	-1'932.137	482.959	-3'474.761	-212.632	7
TUR (%)	4,97	0,48	14	0,8	60
RBC > 1	2,02	0,18	7,43	1,03	53
RBC < 1	0,75	0,13	0,96	0	7

VPN: Valor presente neto; TUR: Tasa única de retorno; RBC: Razón beneficio costo

**Fuente de consulta:** autores

El 88,4% de las unidades productivas son rentables. El 11,6% del total de las unidades productivas tienen RBC inferior a 1; solo el 1,6% tiene una RBC igual a 1 y el 86,8% una RBC superior a 1, con un promedio general del 1,8% anual. La rentabilidad de las fincas fue superior a la presentada en Pardo et al. (2020), y cercana a los valores hallados en Fajardo y Facundo (2014), quienes obtuvieron un VPN de \$4,1 millones, una TIR entre 19,1 y 34,7 y una RBC entre 1,6 y 3,9 para ganadería tradicional en la región surcolombiana.

**Estimación de la huella de carbono HC en ganadería.** Se presenta el comportamiento de las variables empleadas para medir la HC (Tabla 2).



**Tabla 2.** Cuantificación anual de la huella de carbono en fincas ganaderas del piedemonte amazónico

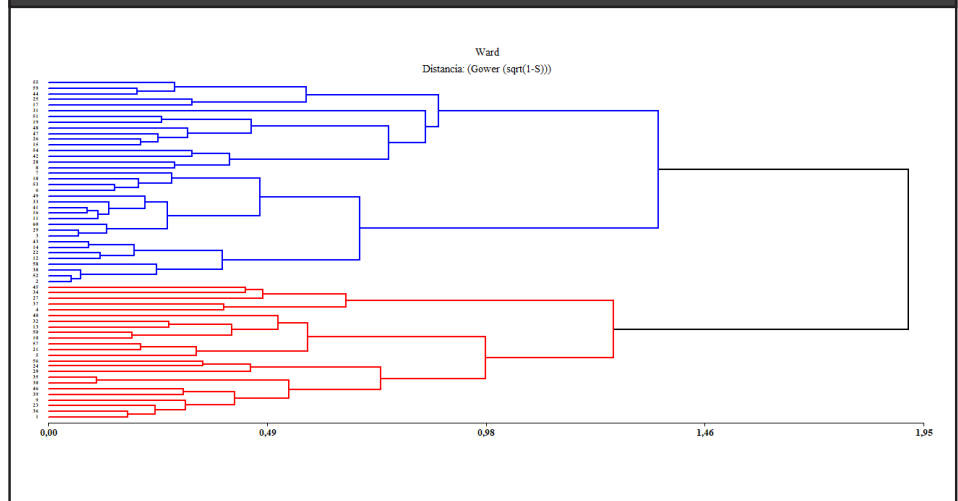
Costos	Unidad	Promedio Finca	60 fincas	Mg CO <sub>2</sub> e (% Relativo)
Energía	\$ año	401.880	24'112.800	6,1 (0,05)
Gas natural	\$ año	654.800	39'408.000	26,7 (0,22)
Transporte	\$ año	454.000	27'250.000	26,9 (0,22)
Fermentación entérica	Mg.CO <sub>2</sub> e.ha año <sup>-1</sup>		4.459,1	4.459,1 (36,80)
Gestión del estiércol	Mg.CO <sub>2</sub> e.ha año <sup>-1</sup>		108,2	108,2 (0,89)
CO <sub>2</sub> e por deforestación	Mg.CO <sub>2</sub> e.ha año <sup>-1</sup>	426,7	7.487,6	7.487,6 (61,82)
Total HC en las 60 fincas t.CO <sub>2</sub> ha año <sup>-1</sup>				12.114,6 (100,00)

HC: Huella de carbono; CO<sub>2</sub>e: Dióxido de Carbono equivalente

**Fuente de consulta:** autores

**Tipificación de las fincas a partir del análisis multivariado.** El dendrograma presenta los conglomerados conformados hasta el 50 % de la distancia (0,98) permite definir claramente dos agrupaciones (Figura 1).

**Figura 1.** Análisis de conglomerado jerárquicos (método de Ward, distancia Gower) a partir de las variables rentabilidad, huella de carbono, aplicadas a las 60 fincas objeto de estudio en el piedemonte amazónico caqueteño. El número representa el productor.



Los dos grupos fueron significativos al realizar el análisis de varianza ( $p=0,0001$ ). A continuación, se presenta la estadística descriptiva de cada uno de los grupos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Comparación de las variables en cada uno de los grupos en el promedio (Grupo 1: Sistemas ganaderos semiempresariales y Grupo 2: Sistemas rurales de subsistencia)

Variable	Grupo 1	Grupo 2	Unidad
Número de fincas	24	36	Número de fincas
Nivel educativo	2,00	1,00	1: Primaria, 2: Bachiller
Nivel tecnológico	4,50	4,00	Años del productor
Bosques	7,20	1,30	Hectáreas
Cultivos	0,40	1,02	Hectáreas
Pasturas	79,02	53,09	Hectáreas
Vacas	57	55	Kilogramos mes
RBC	2,0	1,05	Hectáreas
Extensión	95,00	55,00	Hectáreas
Carbono equivalente	612,34	319,82	t.CO <sub>2</sub> e año <sup>-1</sup>

- i. Grupo 1 Sistemas ganaderos semiempresariales.** Este grupo lo conforman 24 fincas (40%). El nivel educativo predominante en los productores es la educación primaria. Los valores de la extensión, la rentabilidad, extensión en pasturas, bosques, la huella de carbono y el nivel educativo en los valores de la media son superiores respecto del grupo 2. Aspectos como el nivel tecnológico, el número de bovinos presentan medias cercanas. Las diferencias entre estos grupos se enmarcan en el uso de la tierra, la rentabilidad y la huella de carbono.
- ii. Grupo 2 Sistemas ganaderos de subsistencia.** Este grupo de sistemas familiares está conformado por 36 fincas (60%). Presentan promedios inferiores en todas las variables, excepto el uso de la tierra en cultivos. La rentabilidad indica que no se generan utilidades que permitan un sistema de ahorro y de transición hacia economías de acumulación simple.

Aunque se determinaron diferencias entre las dos tipologías de fincas (de acumulación simple y de subsistencia), en ambas se presenta un costo ambiental muy alto frente a una baja rentabilidad y productividad ganadera en esta zona. Se pudo observar que las fincas más rentables presentan una mayor huella de carbono. No obstante, los niveles tecnológicos fueron similares en ambos grupos, pero esto podría potenciar una diferenciación frente a las emisiones.

**Emisión marginal de la utilidad.** Se presentan los resultados de la regresión realizada mediante modelo lineal y el índice de correlación (Tabla 4).

**Tabla 4.** Resultados Modelo de la regresión lineal Utilidad versus Emisión de CO<sub>2</sub>e, nivel tecnológico y cabezas de ganado en el piedemonte amazónico (R<sup>2</sup>= 0,99) e índice de correlación.

Variable (*significativas al 1%)	Coefficiente	Error Estándar	T-student	Media	p-valor	Correlación con CO <sub>2</sub> e
Constante	2,1442	0,6149	3,4868		1,1x10 <sup>-3</sup>	No aplica
Vacas*	1,3374	0,0073	181,0956	57,545	4,1x10 <sup>-7</sup>	0,99
Utilidad anual*	0,0332	0,0123	2,7017	19,152	9,3x10 <sup>-3</sup>	0,68
Nivel tecnológico	-0,1853	0,1675	-1,1063	4,260	2,7x10 <sup>-1</sup>	0,62

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; CO<sub>2</sub>e: Dióxido de Carbono equivalente

**Fuente de consulta:** autores

Se observa que por cada millón de pesos de utilidad ganadera se obtiene una HC de 0,0332 Mg de CO<sub>2</sub>e. Esto también puede traducirse como una utilidad marginal anual de \$30.095,1 por cada tonelada de emisión. La Ley 1819 de 2016 que crea el impuesto nacional al carbono, reglamentada en el Decreto 926 de 2017 estableció el cobro de \$15.000 Mg CO<sub>2</sub>e para actividades industriales generadoras de GEI. Se observa que la utilidad marginal por CO<sub>2</sub>e en la actividad ganadera está por encima de este valor que intenta internalizar el daño ambiental. La variable *Nivel Tecnológico* no se asocia a las emisiones actuales; sin embargo, existe una correlación positiva.

#### 4. Discusión

La ganadería es una actividad importante en el sustento de las familias del piedemonte amazónico. Sin embargo, las fincas ganaderas generan una externalidad ambiental, reflejada en la emisión de CO<sub>2</sub>e en el ciclo de vida de los productos (leche y animales en pie). Los datos permiten calcular una HC de 3,63 t CO<sub>2</sub>e por cabeza en un año. Este valor es

superior al reportado en Briceño-Gutiérrez (2020) 1,6 t CO<sub>2</sub> por cabeza al año en la región del Casanare en Colombia. La HC por litro anual producido este estudio reporta 5,6 kg CO<sub>2</sub>e por litros al año en la zona de estudio (12.114,6 t CO<sub>2</sub>e / 2'165.972 l). Este valor es inferior al presentado por Castillo-Tabares, Vargas y Vejarano (2020) en los departamentos de Antioquia (con 11,3 t CO<sub>2</sub>e por litro), Córdoba (con 48,43 t CO<sub>2</sub>e por litro), Cesar (50,48 t CO<sub>2</sub>e por litro), Meta (con 153,43 t CO<sub>2</sub>e por litro) y Casanare (con 193,96 t CO<sub>2</sub>e por litro). Sin la HC por deforestación pasaría de 5,6 a 2,1 kg CO<sub>2</sub>e por litro, valor cercano al reportado en Yunga-Chicaiza (2020) en la región de Ecuador, donde se obtuvieron valores de 1,61 kg CO<sub>2</sub>e por litro producido en fincas tecnificadas y 3,32 kg CO<sub>2</sub>e por litro producido en fincas convencionales.

El orden de la contribución de CO<sub>2</sub>e por actividad ganadera de mayor a menor está dado por: 1) la biomasa perdida por deforestación, 2) la fermentación entérica, 3) la gestión del estiércol, 4) las actividades de transporte y 5) el gasto energético. La deforestación y sus emisiones son el máximo costo ambiental registrado (62,3% de la HC). Este resultado es acorde con Vejarano-Santacruz (2020) En la investigación de Castillo-Tabares, Vargas y Vejarano (2020) ocupa el primer lugar la fermentación entérica, seguido de la alimentación, la gestión del estiércol y el consumo de energía.

La emisión marginal por cabeza de ganado es de 1.330 kg CO<sub>2</sub>e. Este valor es superior al hallado en Florindo et al. (2017) en Brasil, donde se encontró una HC de 17.09 kg CO<sub>2</sub>e por cabeza, diferencia que podría explicarse por la inclusión del CO<sub>2</sub>e por deforestación. La HC respecto de la producción lechera indica una emisión de 1,97 kg CO<sub>2</sub>e litro<sup>-1</sup>. Este valor se encuentra en el rango presentado en Rivera-Herrera et al. (2015) cuya HC obtenida en diferentes sistemas ganaderos entre tradicionales a sostenibles oscila entre 1,47 a 4,15 kg CO<sub>2</sub>e respectivamente.

Respecto del modelo de regresión en el cual se hallaron las emisiones marginales provenientes de la utilidad, si bien la variable *Nivel Tecnológico* no se asoció a las emisiones actuales; se evidenció una correlación positiva como en Rojas-Downing et al. (2017). Esto indica que la tecnificación podría incluir estrategias que garanticen la

disminución de la huella de carbono, de acuerdo con Swain et al. (2018). En Stanley et al. (2018) y Álvarez et al. (2020), una de las estrategias de tecnificación en regiones de alta prioridad de conservación como la Amazonia, el aprovechamiento de sistemas ganaderos se encuentra en el potencial de ahorro de tierras, el cambio de la dieta, la instauración de arreglos agroecológicos, lo que reduce las emisiones a través del secuestro de carbono.

La información permite contar con una línea base para medir el cumplimiento de la meta nacional de reducción del 20 % de los GEI (Yáñez et al., 2020) según Acción por el clima para Colombia, establecida en las políticas mundiales a evaluar en 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Departamento Nacional de Planeación DNP, 2018). Se requieren estudios sobre el cambio en la huella de carbono en la evolución de sistemas familiares a sistemas ganaderos empresariales.

## 5. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la comunidad rural de las veredas La Mono, Aguadulce, Azabache, Sánchez Fragua Delicias y la Tortugo del municipio de Belén de los Andaquíes, Caquetá, Colombia por la disponibilidad de la información para este estudio.

## 6. Referencias

- Álvarez, F.; Casanoves, F.; Suárez, J. C.; Pezo, D. (2020). The effect of different levels of tree cover on milk production in dual-purpose livestock systems in the humid tropics of the Colombian Amazon region. *Agroforestry Systems*, 95(1), 93-102. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00566-7>
- Bravo-Parra, A. M. (2020). *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante, la ganadería en Colombia*. Bogotá: Deutsche Gesellschaft für. [https://www.giz.de/de/downloads/GIZ\\_CIAT\\_GanaderiaPag\\_sencillas\\_web.pdf](https://www.giz.de/de/downloads/GIZ_CIAT_GanaderiaPag_sencillas_web.pdf)
- Briceño-Gutiérrez, V. (2020). Propuesta tecnológica-ambiental para reducir la huella de carbono en una finca ganadera ubicada en Sabanalarga, Casanare (Colombia), trabajo de grado (Ingeniería Ambiental), p. 77. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3843>

- Castillo Tabares, R.; Vargas, M. V.; 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. Recuperado de <https://libros.usc.edu.co/index.php/usc/catalog/download/220/222/4147?inline=1>
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR. (2013). Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono corporativa a nivel sectorial. Bogotá, D.C.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca –CAR–, Corporación Ambiental Empresarial CAEM, Cámara de Comercio de Bogotá. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade1b0319769.pdf>
- Carmona, J. C.; Bolívar, D. M.; Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. (2021). *Producto Interno Bruto por Departamentos*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-trimestrales/pib-informacion-tecnica>
- Departamento Nacional de Planeación -DNP. (2018). Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS en Colombia. Documento CONPES 3918. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- Dong, H.; Mangino, J.; McAllister, T. A.; Hatfield, J.; Johnson, D. E.; Keith, R. (2006). Capítulo 10 en Emisiones resultantes de la gestión del Ganado y del estiércol. En Directrices del IPCC de 2006 para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Disponible en: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf)
- Electrificadora del Caquetá (2022). *Tarifas 2022*. Disponible en: <http://www.electrocaqueta.com.co/tarifas.aspx>
- Escobar, G.; Berdegué, J. (1990). Tipificación de sistemas de producción agrícola. 282 Págs. [En línea]. Disponible en <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/3969/49675.pdf?sequence=1>
- Fajardo, M. Y.; Facundo-Vargas, G. (2014). Costos de conversión en los procesos de producción de ganadería tradicional al sistema silvopastoril en fincas ganaderas del Municipio de Florencia, Morelia y Belén del Departamento del Caquetá. *Revista FACCEA*, 4(1), 1-11. <https://www.uniamazonia.edu.co/revistas/index.php/faccea/article/view/322/316>
- Federación Colombiana de Ganaderos - FEDEGAN. (2021). *Cifras de referencia del sector ganadero colombiano*. Disponible en: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica>
- Florindo, T. J.; De Medeiros-Florindo, G. I. B.; Talamini, E.; Da Costa, J. S.; Ruviano, C. F. (2017). Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. *Journal of Cleaner Production*, 147(2017), 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.021>
- Food and agriculture organization of the United Nations -FAO. (2022). *Modelo de evaluación ambiental de la Ganadería Mundial GLEAM 2.0*. Disponible en: <https://www.fao.org/gleam/results/es/>
- Gómez-Segura, C. F.; Cerquera-Lozada, O. H.; Acero-Cebay, E. F. (2021). La curva medioambiental de Kuznets y el crecimiento económico sostenible en Colombia. *Apuntes del Cenes*, 40(71), 165 – 188. <https://doi.org/10.19053/01203053.v40.n71.2021.11736>
- Hart, R. D. (1990). *Tipificación de sistemas de producción agrícola. I Elementos conceptuales y metodológicos. Componentes, sistemas y propiedades del sistema de finca como base para un método de clasificación*. Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de producción RIMISP. Disponible en: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/3969/49675.pdf?sequence=1>

- Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Francia: IGES, pp 220-319.
- Méndez, R. (2016). *Formulación y evaluación de proyectos. Enfoque para emprendedores*. Bogotá: Ecoediciones, pp. 280-302p.
- Naciones Unidas (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Asamblea General, 12 de agosto de 2015*. Disponible en: [www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/69/L.85](http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/69/L.85).
- Páez, E. (2016). *Medición de huellas ambientales como indicadores de sostenibilidad en unidades de producción ganadera bovina en la región centro del departamento de Boyacá, Colombia*. Ávila, España: Universidad Católica Santa Teresa de Jesús -UCAV, pp. 45-56.
- Páez-Barón, E. M.; Corredor-Camargo, E. S.; Fonseca-Carreño, J. A. (2018). La Huella hídrica y la huella de carbono: herramientas para estimar el impacto de la ganadería bovina. *Pensamiento y Acción*, (24), 81-92. Recuperado a partir de [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento\\_accion/article/view/8617](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento_accion/article/view/8617)
- Pardo-Rozo, Y. Y.; Andrade-Castañeda, H. J.; Muñoz-Ramos, J.; Velásquez-Restrepo, J.E. (2021). Carbon capture in three land use systems in Colombian Amazonia. *Revista en Ciencias Agrícolas*, 38(2), 111-123. <https://doi.org/10.22267/rcia.213802.160>
- Pardo-Rozo, Y. Y.; Muñoz-Ramos, J.; Velásquez-Restrepo, J. E. (2020). Tipificación de sistemas agropecuarios en el piedemonte amazónico colombiano. *Revista Espacios*, 41(47), 213-228. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n47>
- Peters, M.; Herrero, M.; Fisher, M.; Karl-Heinz, E.; Idupulapati, R.; Guntur, V.; Castro, A.; Arango, J.; Chara, J.; Murgueitio, E. Y.; Searchinger, T. (2013). Challenges and opportunities for improvising eco-efficiency of tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions. *Tropical Grasslands*. 1(2). 156-167. [https://doi.org/10.17138/tgft\(1\)156-167](https://doi.org/10.17138/tgft(1)156-167)
- Pertuz-Martínez, A. P.; Elías-Caro, J. E. (2019). Competitividad en el sector ganadero en Colombia: Enfoque desde la historiografía económica, social y empresarial. *Revista Panorama Económico*, 27(2), 453-480. <https://doi.org/10.32997/2463-0470-vol.27-num.2-2019-2637>
- Piraquive-Galeano, G.; Matamoros-Cárdenas, M.; Rodríguez-Chacón, J. (2018). *Actualización de la tasa de rendimiento del capital en Colombia bajo la metodología de Harberger*. Archivos de economía, documento 487. Departamento Nacional de Planeación. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/487.pdf>
- Rivera-Herrera, J. E.; Chara, J.; Mueguito-Restrepo, E.; Barahona-Rosales, R. (2015). Estimación de la huella de carbono en sistemas silvopastoriles intensivos y convencionales para la producción de leche bovina en Colombia. Argentina. Ediciones INTA. [https://www.researchgate.net/profile/Maura-Diaz/publication/336229871\\_Actas\\_X\\_Congreso\\_Internacional\\_de\\_Sistemas\\_Silvopastoriles/links/5d9559a2458515c1d38ee078/Actas-X-Congreso-Internacional-de-Sistemas-Silvopastoriles.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maura-Diaz/publication/336229871_Actas_X_Congreso_Internacional_de_Sistemas_Silvopastoriles/links/5d9559a2458515c1d38ee078/Actas-X-Congreso-Internacional-de-Sistemas-Silvopastoriles.pdf)
- Rogelj, J.; Huppmann, D.; Krey, V.; Riahi, K.; Clarke, L.; Gidden, M.; Nicholls, Z.; Meinshausen, M. (2019). A new scenario logic for the Paris Agreement long-term temperature goal. *Nature*, 573, 357-363. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1541-4>
- Rojas-Downing, M.; Nejadhashemi, P.; Harrigan, T.; Woznicki, S. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Roucoux, K. H.; Lawson, I. T.; Baker, T. R.; Del Castillo Torres, D.; Draper, F. C.; Lähteenoja, O.; Gilmore, M. P.; Honorio-Coronado, E. N.; Kelly, T. J.; Mitchard, E. T. A.; Vriesendorp, C. F. (2017). Threats to intact tropical peatlands and opportunities for their conservation: Tropical Peatlands. *Conservation Biology*, 31(6), 1283-1292. <https://doi.org/10.1111/cobi.12925>
- Sánchez-Rippe, J. D.; y Galvis-Mora, O. I. (2020). *Cálculo del factor de emisiones de la red de energía eléctrica en Colombia para 2020*. UPME Unidad de Planeación Minero-Energética. Disponible en: <https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Calculo-FE-del-SIN/>



Documento\_Tecnico\_FE\_2020.pdf

- Shi, S., y Yin, J. (2021). Global research on carbon footprint: A scientometric review. *Environmental Impact Assessment Review*, 89, 106571. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106571>
- Stanley, P. L.; Rowntree, J. E.; Beede, D. K.; DeLonge, M. S.; Hamm, M. W. (2018). Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems. *Agricultural Systems*, 162(2018), 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.02.003>
- Swain, M.; Blomqvist, L.; McNamara, J.; Ripple, W. J. (2018). Reducing the environmental impact of global diets. *Science of The Total Environment*, (610–611), 1207–1209. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.125>
- Vejarano-Santacruz, A. (2020). Huella de carbono de la ganadería bovina de carne y leche en Colombia, para cinco departamentos – año 2016, (trabajo de grado) Economía, Colombia, Universidad Santiago de Cali, p. 146. <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4995/HUELLA%20DE%20CARBONO.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Yáñez, E.; Ramírez, A.; Núñez-López, V.; Castillo, E.; Faaij, A. (2020). Exploring the potential of carbon capture and storage-enhanced oil recovery as a mitigation strategy in the Colombian oil industry. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 94(2020): 102938. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.102938>
- Yunga-Chicaiza, S. A. (2020). Análisis comparativo del cálculo de huella de carbono por litro de leche producido, entre pequeños y medianos productores que emplean prácticas ganaderas convencionales y pequeños y medianos productores que emplean prácticas de ganadería climáticamente inteligente, tesis (Maestría en Cambio climático y negociación ambiental), Colombia, Universidad Andina Simón Bolívar, p. 109. <http://hdl.handle.net/10644/7875>