Manejo y Alimentación

Original

Emisiones de metano entérico en sistemas bovinos en la provincia de Granma, Cuba: línea base para la mitigación

Enteric methane emissions in bovine systems in Granma Province, Cuba: baseline for mitigation

Yudith Lamothe Crespo *, Luis Enrique Dihigo Cuttis *, María del C. Guerra Rojas *, Marco A. Suárez Tronco **, Jorge Valentín Wright Ramírez ***, Yolanis Rodríguez Gil ****

*Centro de Investigación para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical, Cuba.
**Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Fructuoso Rodríguez, Cuba.
***ECTI Jorge Dimitrov.
****Instituto Agroforestal (INAF), Cuba.
Correspondencia: yudith71lamothe@gmail.com

Recibido: Julio, 2026; Aceptado: Septiembre, 2026; Publicado: Noviembre, 2026.

RESUMEN

Objetivo. Establecer la línea base de emisiones de metano entérico (CH4), los factores de emisión (FE), las intensidades de emisión (IE) y el diagnóstico de las principales brechas tecnológicas en sistemas bovinos de doble propósito de seis fincas del proyecto Agropaisajes Sostenibles en Granma, Cuba, como insumo para el diseño de estrategias futuras de mitigación. **Materiales y Métodos:** Se caracterizaron 155 bovinos en las fincas Media Luna, Seis Hermanas, La Manuela, La Doris, El Algarrobo y Carballo. Mediante la metodología IPCC Nivel 2 (Tier 2), se estimaron las emisiones a partir del consumo de materia seca, peso vivo, producción de leche y calidad de la dieta. La digestibilidad estimada fue 55 % (gramíneas nativas), 58 % (King-grass) y 62 % (leguminosas), con factor de conversión de metano (Ym) de 6,5 %. Se calcularon FE (kg CH_4/cabeza/año), emisiones totales (t CH_4/año) e IE para leche (kg CO_2eq/L). **Resultados:** Las emisiones totales alcanzaron 13,55 t CH_4/año (379,4 t CO_2eq/año). El FE promedio ponderado fue 87,4 kg CH_4 cabeza/año (rango: 76,4 en Seis Hermanas a 118,7 en El Algarrobo). La IE para leche varió entre 6,11 (Seis Hermanas) y 10,49 kg CO_2eq/L (Media Luna). Se identificó una correlación negativa significativa ($R^2 = 0,78$; $p < 0,05$) entre el porcentaje de vacas en el rebaño y la IE. La finca Seis Hermanas, con banco de forraje, constituye un referente de eficiencia. **Conclusiones:** Las emisiones totales de metano entérico en las 6 fincas evaluadas y el factor de emisión mostraron alta variación. La intensidad de emisión para leche presentó correlación negativa y significativa con relación al porcentaje de vacas en el rebaño.

Palabras clave*: Bos indicus*, cambio climático, fermentación ruminal, gases de efecto invernadero, mitigación (*Fuente: AGROVOC*)

Como citar (APA) Lamothe Crespo, Y., Dihigo Cuttis, L. E., Guerra Rojas, M. del C., Suárez Tronco, M. A., Wright Ramírez, J. V., & Rodríguez Gil, Y. (2026). Emisiones de metano entérico en sistemas bovinos en la provincia de Granma, Cuba: línea base para la mitigación. *Revista de Producción Animal*, *38*. https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e348

©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

ABSTRACT

Objective. To establish the baseline of enteric methane (CH4) emissions, emission factors (EF), emission intensities (EI), and the diagnosis of the main technological gaps in dual-purpose cattle systems on six farms of the Agropaisajes Sostenibles project in Granma, Cuba, as input for the design of future mitigation strategies. **Materials and Methods:** A total of 155 cattle were characterized on the farms Media Luna, Seis Hermanas, La Manuela, La Doris, El Algarrobo, and Carballo. Using the IPCC Tier 2 methodology, emissions were estimated from dry matter intake, live weight, milk production, and diet quality. Estimated digestibility was 55% (native grasses), 58% (King grass), and 62% (legumes), with a methane conversion factor (Ym) of 6.5%. EF (kg CH4/head/year), total emissions (t CH4/year), and EI for milk (kg CO2eq/L) were calculated. **Results:** Total emissions reached 13.55 t CH4/year (379.4 t CO2eq/year). The weighted average EF was 87.4 kg CH4/head/year (range: 76.4 on Seis Hermanas to 118.7 on El Algarrobo). Milk EI ranged from 6.11 (Seis Hermanas) to 10.49 kg CO2eq/L (Media Luna). A significant negative correlation ($R^2 = 0.78$; $p < 0.05$) was identified between the percentage of cows in the herd and EI. The Seis Hermanas farm, with a forage bank, constitutes an efficiency reference. **Conclusions:** Total enteric methane emissions across the six evaluated farms and the emission factor showed high variation. Milk emission intensity showed a significant negative correlation with the percentage of cows in the herd.

Keywords: *Bos indicus*, climate change, ruminal fermentation, greenhouse gases, mitigation *(Source: AGROVOC)*

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina es una fuente importante de gases de efecto invernadero (GEI), en particular de metano entérico (CH_4), que contribuye aproximadamente al 40 % de las emisiones del sector agrícola a nivel mundial (FAO, 2022). A escala global, se estima que la ganadería genera 7,1 Gt de CO_2-eq por año, lo que representa el 14,5 % de todas las emisiones antropogénicas, siendo el ganado vacuno el principal responsable. En Cuba, la agricultura y la ganadería son responsables del 20 % de las emisiones de GEI, constituyendo el segundo sector emisor del país Gómez Díaz (2025).

En sistemas de doble propósito del trópico, caracterizados por pastoreo extensivo con gramíneas nativas y baja eficiencia productiva, las emisiones por unidad de producto suelen ser elevadas (Villanueva *et al*., 2023). Estos sistemas se definen por la producción simultánea de leche y carne (y en ocasiones tracción animal), con bajos insumos externos, manejo predominantemente pastoril y animales del genotipo Cebú (*Bos indicus*), raza predominante en estos sistemas. Su objetivo principal es diversificar el ingreso familiar, pero a menudo presentan limitaciones nutricionales y reproductivas que afectan su eficiencia y, por ende, incrementan la intensidad de emisiones por unidad de producto (Cardona-Iglesias *et al*., 2021).

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) ha desarrollado metodologías de Nivel 2 (Tier 2) que permiten estimar las emisiones con mayor precisión, considerando las características específicas de los sistemas productivos, la calidad de la dieta y el

desempeño animal (IPCC, 2019). No obstante, la aplicación de estas metodologías requiere factores de emisión (FE) locales que reflejen las particularidades de cada sistema de producción. En Cuba, los estudios sobre emisiones de metano entérico en bovinos aún son escasos. Gómez Díaz. (2025) reportó emisiones de 82,97 kg CH_4 animal^{-1} año^{-1} para fermentación entérica, mientras que investigaciones más recientes han comenzado a cuantificar estas emisiones en fincas específicas del país (Lamothe-Crespo *et al*., 2025). Sin embargo, en la provincia de Granma, y particularmente en sistemas de doble propósito del oriente cubano, se carece de factores de emisión locales que reflejen las particularidades productivas, nutricionales y de manejo de estos sistemas.

El proyecto Agropaisajes Sostenibles, implementado por el Ministerio de la Agricultura (MINAG), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), busca impulsar la resiliencia y la sostenibilidad del sector ganadero en zonas de montaña y premontaña del oriente de Cuba (FAO, 2025). La iniciativa beneficia a productores de 17 fincas ganaderas en municipios de Granma (Guisa, Bartolomé Masó y Buey Arriba), Santiago de Cuba (Guamá) y Guantánamo (Baracoa y Maisí), con el objetivo de aumentar la eficiencia productiva y mejorar el bienestar animal. Un componente esencial del proyecto es la implementación de prácticas de manejo que reduzcan la huella de carbono del sector, mejorando simultáneamente la eficiencia productiva. Como primer paso para evaluar el impacto de estas prácticas, resulta imprescindible establecer la línea base de emisiones de metano entérico en las fincas representativas del proyecto.

Existe, por tanto, una brecha de conocimiento respecto a los factores de emisión y las intensidades de emisión específicas para los sistemas de doble propósito en Granma, lo que limita la capacidad de diseñar estrategias de mitigación efectivas y de reportar inventarios nacionales con mayor precisión. El objetivo de este estudio fue establecer la línea base de emisiones de metano entérico (CH4), los factores de emisión (FE), las intensidades de emisión (IE) y el diagnóstico de las principales brechas tecnológicas en seis fincas de doble propósito del proyecto Agropaisajes Sostenibles en la provincia de Granma, Cuba, como insumo para el diseño de estrategias futuras de mitigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y fincas seleccionadas

El estudio se realizó en la provincia de Granma, Cuba, en seis fincas del proyecto Agropaisajes Sostenibles: Media Luna, Seis Hermanas, La Manuela, La Doris, El Algarrobo y Carballo. La región presenta clima tropical con temperatura media anual de 25,6 °C y precipitación media anual de 1.200 mm, con estación poco lluviosa de noviembre a abril.

Caracterización de los sistemas productivos

Para los fines de este estudio, se consideraron sistemas de doble propósito aquellas fincas que cumplían simultáneamente con: (a) producción de leche para venta o autoconsumo, (b) cría de terneros para reposición o venta como carne, y (c) en algunos casos, uso de bueyes para labores agrícolas (tracción animal). Todas las fincas evaluadas se manejaban bajo pastoreo continuo o rotacional, sin suplementación concentrada significativa, y con animales del genotipo Cebú (*Bos indicus*), raza predominante en estos sistemas en el oriente cubano, reconocido por su adaptabilidad a las condiciones tropicales. Se recopiló información mediante la aplicación de una encuesta estructurada a los productores, incluyendo: inventario de bovinos por categoría (vacas, toros, bueyes, novillas, añojas, terneros), peso vivo promedio, producción de leche (vacas en ordeño, litros/día, duración de lactancia), tipo de pastos, uso de suplementos, sistema de manejo y horas de pastoreo. La composición de la dieta se dedujo del tipo de forraje reportado y de la información de consumo de materia seca (CMS) estimada por los productores. En el presente estudio, se consideró como "vacas en producción" únicamente a aquellas en fase de lactancia (vacas en ordeño), excluyendo vacas secas, novillas, añojas, toros, bueyes y terneros.

Estimación del consumo de materia seca

El CMS diario se calculó a partir de los datos proporcionados en la tabla 1 para bovinos en cada finca. Estos valores se obtuvieron mediante los datos ofrecidos por los productores (PV medio × %PV × número de animales). Se verificó su coherencia con ecuaciones del National Research Council (NRC, 2001) para vacas lactantes, animales de mantenimiento y crecimiento.

Tabla 1. Consumo de materia seca (CMS) estimado por finca.

Finca	CMS bovinos (kg MS/día)
Media Luna	1.250
Seis Hermanas	116,4
La Manuela	89,6
La Doris	132
El Algarrobo	94,3
Carballo	104

Cálculo de emisiones de metano entérico

Se siguió la metodología IPCC Tier 2 (IPCC, 2019), mediante la Ecuación 1:

$$FE = \left[\frac{GE \cdot \left(\frac{Ym}{100}\right) \cdot 365}{55.65}\right]$$

(Ecuación 1)

donde:

FE: Factor de emisión (kg CH_4 cabeza ^{1} año $^{1)}$

GE= Ingesta de Energía Bruta (MJ cabeza ^{1} día ^{1}) = CMS (kg MS/día) × 18,45 MJ/kg MS.

Ym= factor de conversión de metano, porcentaje de la energía bruta convertida en alimento = 6,5 % para ganado en sistemas pastoriles tropicales (IPCC, 2019).

La constante 55,65= Contenido de energía del metano (MJ/kg CH_4).

Digestibilidad de la dieta: Se estimó según el tipo de pasto predominante en cada finca, utilizando valores reportados en la literatura para sistemas tropicales:

La digestibilidad de la materia seca de la dieta se estimó en 55 % para las gramíneas nativas (tejana, guinea y pangola), valor que se ubica dentro del intervalo de 40,2–63,2 % reportado por Pezo y Vohnout (1977) para gramíneas tropicales y resulta coherente con la calidad nutritiva informada para gramíneas en el Valle del Cauto, Granma (Verdecia *et al*., 2012).

• Gramíneas mejoradas (King-*grass*): 58 %, según Chacón y Vargas (2009) y Valenciaga *et al*. (2001).

• Pasturas con leguminosas o arbustivas (Leucaena, Tithonia): 62 %, según Cáceres y González (1996) y González y Cáceres (1998).

Indicadores calculados

- Factor de Emisión (FE) por finca: FE = emisiones totales (kg CH_4/año) / número total de bovinos.

- Emisiones totales en t CH_4/año y convertidas a t CO_2eq: Se utilizó para un horizonte de 100 años (GWP_{100}) de 28 kg CO_2eq/kg CH_4 (IPCC, 2013), valor adoptado en el refinamiento metodológico de 2019 (IPCC, 2019).

-Intensidad de Emisión para leche (IE_ leche): IE = (emisiones totales en kg CH_4/año × 28) / producción anual de leche (L). La producción anual de leche se calculó considerando 7 meses de lactancia (210 días).

Análisis de datos

Se realizó un análisis descriptivo de los indicadores. Se exploró la relación entre el porcentaje de vacas en el hato y la IE_leche mediante regresión lineal simple utilizando el software Infostat (versión 2020). Se consideró un nivel de significación de $p < 0,05$.

Para facilitar la interpretación de los resultados, los factores de emisión se clasificaron en cinco categorías cualitativas (Muy bajo <50, Bajo 50-65, Moderado 65-80, Alto 80-100 y Muy alto > 100 kg CH_4/cab/año). Esta escala es una herramienta descriptiva definida por los autores, que se apoya en los valores de referencia del IPCC (2019) para ganado lechero y no lechero en América Latina como marco orientativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las fincas

La tabla 2 resume las principales características de las seis fincas. El número total de bovinos fue 155, con un rango de 2 (El Algarrobo) a 116 (Media Luna). Las vacas en ordeño representaron entre 0 % (El Algarrobo) y 42,9 % (La Manuela) del hato, con producciones de 4,5 a 5,0 L/vaca/día. Los pastos predominantes fueron gramíneas nativas en cinco fincas, mientras que Seis Hermanas contaba con banco de forraje de King-grass.

Tabla 2. Características generales de las fincas evaluadas.

Finca	Total, bovinos	Vacas ordeño	% Vacas	Leche (L/vaca/d)	Pasto principal	Digestibilidad est. (%)
Media Luna	116	25	21,6	5,0	Gramíneas nativas	55
Seis Hermanas	12	4	33,3	5,0	King-grass	58
La Manuela	7	3	42,9	5,0	Gramíneas nativas	55
La Doris	10	3	30,0	5,0	Gramíneas nativas	55
El Algarrobo	2	0	0	N/A	Gramínea nativa	55
Carballo	8	3	37,5	4,5	Gramíneas nativas	55

La heterogeneidad observada entre fincas es característica de los sistemas de doble propósito en el trópico, donde la estructura del hato y las prácticas de manejo responden más a la disponibilidad estacional de forraje y a la tradición productiva que a objetivos técnicos definidos (Páez *et al*., 2003). La baja proporción de vacas en ordeño (≤ 42,9 %) refleja una eficiencia reproductiva y de manejo limitada, común en sistemas extensivos con escaso control sanitario y nutricional (Páez *et al*., 2003). La producción lechera promedio (4,5–5,0 L/vaca/día) se sitúa dentro de los rangos reportados para sistemas de doble propósito con genotipos *Bos indicus* en

América Latina, aunque muy por debajo del potencial genético de estos animales (Martínez Melo *et al*., 2020). La producción lechera en sistemas de doble propósito suele estar limitada por la calidad y disponibilidad de forrajes, lo que evidencia un déficit nutricional crónico en estos sistemas (Martínez Melo *et al*., 2020).

La dependencia casi exclusiva de gramíneas nativas con digestibilidad estimada del 55 % (58 % en King-*grass*) constituye el principal factor limitante de la productividad y el principal determinante de las emisiones de metano entérico, ya que dietas de baja digestibilidad incrementan el tiempo de retención ruminal y favorecen la producción de CH_4 por unidad de alimento consumido (IPCC, 2019; Cardona-Iglesias *et al*., 2021).

Factores de emisión y emisiones totales

La tabla 3 presenta los factores de emisión (FE) y las emisiones totales de metano entérico. El FE promedio ponderado fue 87,4 kg CH_4/cabeza/año, con valores que oscilaron entre 76,4 (Seis Hermanas) y 118,7 kg CH_4/cabeza/año (El Algarrobo). Las emisiones totales alcanzaron 13,55 t CH_4/año, equivalentes a 379,4 t CO_2eq/año. La finca Media Luna aportó el 72,6 % de las emisiones del grupo, debido a su mayor carga animal.

Tabla 3. Factores de emisión y emisiones totales de metano entérico.

Finca	FE (kg CH_4/cab/año)	Emisiones totales (t CH_4/año)	Emisiones totales (t CO_2eq/año)
Media Luna	84,8 (Alto)	9,833	275,3
Seis Hermanas	76,4 (Moderado)	0,916	25,7
La Manuela	100,6 (Muy Alto)	0,705	19,7
La Doris	103,7(Muy Alto)	1,037	29,0
El Algarrobo	118,7(Muy Alto)	0,237	6,6
Carballo	102,2(Muy Alto)	0,818	22,9
Total/Promedio ponderado	**87,4 (Alto)**	**13,546**	**379,4**

El FE promedio ponderado de 87,4 kg CH_4/cab/año se sitúa en el límite superior de los valores reportados por el IPCC (2019) para ganado lechero en América Latina (87 kg) y muy por encima del rango para otros vacunos (56–78 kg). Este hallazgo es relevante porque indica que, a pesar de que los sistemas evaluados son de doble propósito y baja productividad, sus emisiones por cabeza son comparables a las de sistemas lecheros más especializados de la región. La causa principal

radica en la baja digestibilidad de las gramíneas nativas (55 %), que reduce la eficiencia energética y aumenta la producción de metano por unidad de alimento consumido (IPCC, 2019). La finca Seis Hermanas (76,4 kg CH_4/cab/año) se acerca al límite inferior del rango para otros vacunos, lo que demuestra que la introducción de forrajes mejorados (King-grass, 58 % de digestibilidad) puede reducir el FE a niveles cercanos a los de categorías menos emisoras. Por el contrario, las fincas con FE > 100 kg CH_4/cab/año (La Manuela, La Doris, El Algarrobo y Carballo) superan incluso el valor de referencia para ganado lechero, reflejando ineficiencias significativas, asociadas principalmente a un déficit nutricional crónico que debe ser abordado como prioridad para la mitigación. En sistemas tropicales, la baja digestibilidad de la fibra incrementa la producción de acetato en el rumen, lo que aumenta la relación acetato:propionato y, con ello, la producción de metano (Cardona-Iglesias *et al*., 2021; Raji *et al*., 2025).

La finca El Algarrobo representa un caso atípico dentro del estudio. Con solo dos bovinos (bueyes de trabajo) y sin producción lechera, sus indicadores de emisión no son comparables con los de las fincas de doble propósito. El elevado FE por cabeza (118,7 kg CH_4/cab/año) se explica porque el denominador (número de animales) es muy pequeño, lo que amplifica el efecto de cualquier variación individual. Además, los bueyes de trabajo tienen un régimen de alimentación y un metabolismo energético diferente al de las vacas lactantes, lo que limita la comparabilidad de este resultado. Por tanto, los datos de El Algarrobo deben interpretarse con cautela y no extrapolarse a sistemas de doble propósito.

La contribución del sector agropecuario cubano a las emisiones nacionales de GEI (20 %) (Gómez Díaz, 2025) subraya la relevancia de establecer factores de emisión locales para sistemas de doble propósito, que representan una proporción significativa de la masa ganadera del país.

La finca Seis Hermanas, con un FE de 76,4 kg CH_4/cab/año (el más bajo del grupo), destaca como un referente de buenas prácticas dentro del sistema. Su menor FE se atribuye al uso de banco de forraje de King-*grass* (digestibilidad 58 %) y al manejo semi-estabulado, que permite un mejor control nutricional. Este resultado respalda la recomendación de mejorar la calidad de los forrajes como estrategia de mitigación (Cardona-Iglesias *et al*., 2021; Raji *et al*., 2025), y coincide con estudios que han demostrado que la introducción de forrajes mejorados puede reducir las emisiones de CH_4 entérico por unidad de producto (Benaouda *et al*., 2022)

En el contexto cubano, los FE obtenidos son superiores a los reportados por Gómez Díaz (2025) para sistemas de ceba (82,97 kg CH_4/cab/año), pero se aproximan a los estimados por Lamothe-Crespo *et al*. (2025) en fincas de la provincia de Camagüey con manejo similar. Esta diferencia refleja la variabilidad interregional y la influencia de la calidad de la dieta y la estructura del hato sobre las emisiones.

Bajo la clasificación propuesta, el FE promedio ponderado (87,4 kg CH_4/cab/año) se sitúa en la categoría 'Alto', superando el valor por defecto del IPCC (2019) para ganado lechero en América Latina (87 kg). La finca Seis Hermanas (76,4 kg) se clasifica como 'Moderado', mientras que las

fincas con FE > 100 kg (La Manuela, La Doris, El Algarrobo y Carballo) alcanzan la categoría 'Muy alto'."

Intensidad de emisión para leche

La tabla 4 muestra la intensidad de emisión (IE) para las fincas con producción lechera. La producción anual de leche se calculó considerando 7 meses de lactancia (210 días). Los valores de IE oscilaron entre 6,11 (Seis Hermanas) y 10,49 kg CO_2eq/L (Media Luna). Se observó una correlación negativa significativa ($R^2 = 0,78$; $p < 0,05$) entre el porcentaje de vacas en el hato y la IE (Figura 1). Las fincas con mayor proporción de vacas (La Manuela, Carballo, Seis Hermanas) presentaron menores IE, a pesar de tener FE altos.

Tabla 4. Intensidad de emisión para leche.

Finca	Producción leche (L/año)	IE (kg CO_2eq/L)	% Vacas
Media Luna	26.250	10,49	21,6
Seis Hermanas	4.200	6,11	33,3
La Manuela	3.150	6,26	42,9
La Doris	3.150	9,21	30,0
Carballo	2.835	8,07	37,5

***El Algarrobo no produce leche (solo bueyes), por lo que no se incluye en el análisis de IE para leche.**
$R^2 = 0,78$; $p = 0,047$

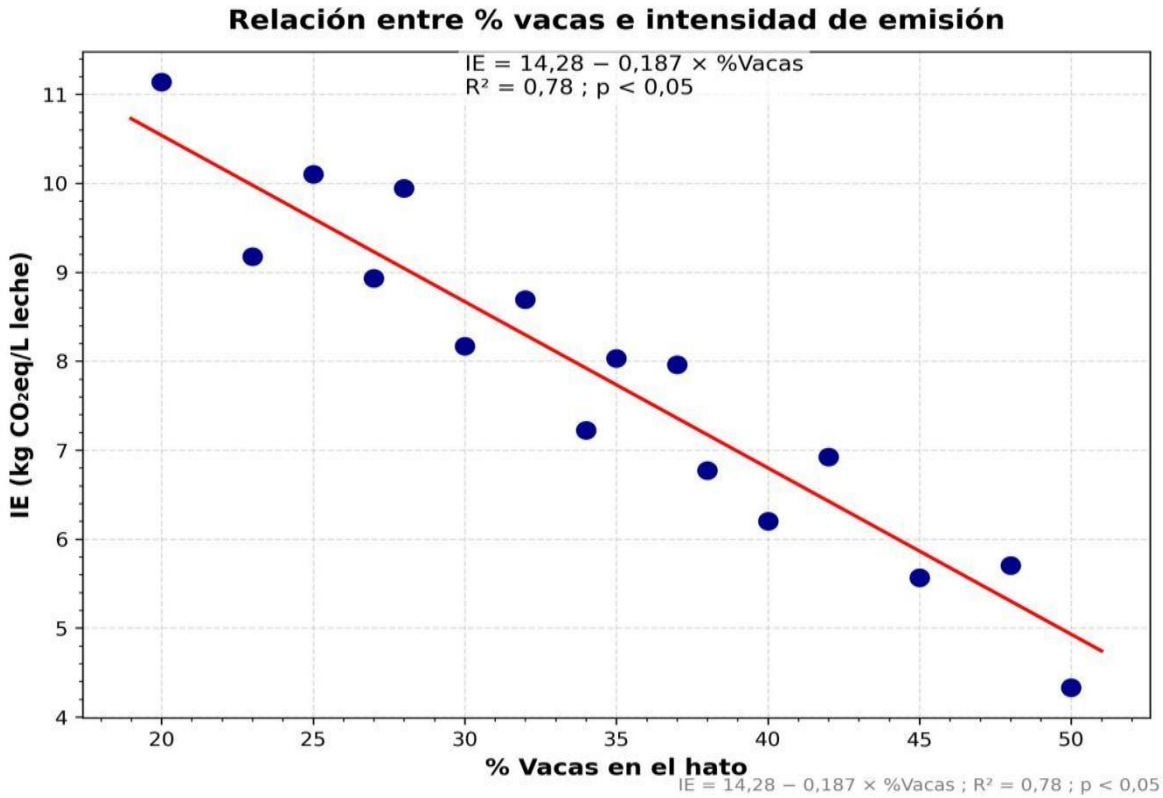

Figura 1. Relación entre el porcentaje de vacas en el hato y la intensidad de emisión de metano por litro de leche.

La IE promedio del grupo (8,03 kg CO_2eq/L) se sitúa en el rango alto para sistemas de doble propósito en el trópico, que suelen oscilar entre 4 y 12 kg CO_2eq/L (FAO, 2022; Villanueva *et al*., 2023). La variabilidad observada (6,11–10,49) refleja diferencias en la eficiencia de conversión del alimento, determinada tanto por la calidad de la dieta como por la estructura del hato.

Un hallazgo relevante es la fuerte correlación negativa entre el porcentaje de vacas en producción (en ordeño) dentro del hato y la IE por litro de leche (R^2 = 0,78). Fincas como La Manuela, con un FE alto (100,6 kg CH_4 cab/año) pero con un 42,9 % de vacas productivas, lograron una IE de solo 6,26 kg CO_2eq/L, mientras que Media Luna, con FE moderado-alto (84,8 kg CH_4/cab/año) pero solo 21,6 % de vacas, presentó la IE más alta (10,49 kg CO_2eq/L).

Este resultado demuestra que la estructura del hato (proporción de animales productivos) es un determinante tan importante como la mejora de la dieta para reducir la huella de carbono por unidad de producto. La baja proporción de vacas en ordeño implica que una fracción significativa de las emisiones totales se asigna a animales improductivos (novillas, bueyes, vacas secas), diluyendo la eficiencia del sistema (FAO, 2022). Por tanto, las intervenciones deben orientarse no solo a mejorar la alimentación, sino también a optimizar la composición del hato, aumentando la proporción de vacas y reduciendo los animales improductivos (Páez *et al*., 2003). Esta conclusión es consistente con estudios que han identificado la mejora de la eficiencia reproductiva como una

de las estrategias de mitigación más costo-efectivas en sistemas tropicales (Gerber *et al*., 2013; FAO, 2022; Villanueva *et al*., 2023).

Intensidad de emisión para carne y tracción animal

La finca El Algarrobo, con dos bueyes de trabajo, no produjo leche ni carne para consumo; sus emisiones (0,237 t CH_4/año) se asignan a servicios de tracción animal. Las fincas restantes se enfocan en producción de leche, por lo que no se calculó IE para carne. El caso de El Algarrobo ilustra la complejidad de asignar emisiones en sistemas multifuncionales. En un análisis integrado de la huella de carbono, las emisiones de los bueyes de trabajo deberían distribuirse entre las actividades agrícolas que benefician (arado, transporte), reconociendo su rol en la economía campesina (FAO, 2022). Este enfoque de "emisiones compartidas" es relevante para contextos de agricultura familiar donde la tracción animal sigue siendo un recurso valioso.

Potencial de mitigación

La tabla 5 muestra el potencial de mitigación estimado para las fincas con FE superior al de Seis Hermanas (76,4 kg CH_4/cab/año). La reducción potencial total asciende a 1.708 kg CH_4/año (47,8 t CO_2eq/año), lo que representa aproximadamente el 12,6 % de las emisiones actuales de esas fincas. Este cálculo es conservador, pues no incluye reducciones adicionales por manejo de excretas ni captura de carbono en sistemas silvopastoriles, que podrían aumentar significativamente el balance neto de GEI (IPCC, 2023).

La adopción de prácticas como el mejoramiento de pastos, la suplementación estratégica y el ajuste de la carga animal podría reducir el FE al nivel observado en Seis Hermanas. Sin embargo, la viabilidad de estas intervenciones depende de factores socioeconómicos y de la disponibilidad de recursos, por lo que se recomienda un enfoque participativo que considere las limitaciones y prioridades de los productores (FAO, 2025).

Tabla 5. Potencial de mitigación estimado.

Finca	FE actual	FE objetivo	Reducción (kg CH_4/año)	Reducción (t CO_2eq/año)
Media Luna	84,8	76,4	974,4	27,3
La Manuela	100,6	76,4	169,4	4,7
La Doris	103,7	76,4	273,0	7,6
El Algarrobo	118,7	76,4	84,6	2,4
Carballo	102,2	76,4	206,4	5,8
Total			**1707,8**	**47,8**

Limitaciones y futuras investigaciones

Las principales limitaciones del estudio son: (1) el uso de consumo de materia seca (CMS) estimado mediante ecuaciones del IPCC en lugar de medido directamente, lo que introduce incertidumbre; (2) la digestibilidad estimada a partir del tipo de pasto y los valores reportados en la literatura para sistemas tropicales; y (3) la ausencia de mediciones directas de metano (técnicas de referencia como SF6 o cámaras respiratorias).

Futuras investigaciones deberían validar estos resultados con técnicas más precisas e incluir análisis de calidad de forrajes, así como evaluar el efecto de prácticas de manejo específicas (rotación de potreros, suplementación con taninos, bancos de proteína) sobre las emisiones y la productividad (Cardona-Iglesias *et al*., 2021; Raji *et al*., 2025). Además, sería valioso ampliar el número de fincas y considerar la variabilidad estacional, ya que la disponibilidad y calidad del forraje fluctúan a lo largo del año en el trópico (Villanueva *et al*., 2023).

CONCLUSIÓN

Las emisiones totales de metano entérico en las 6 fincas evaluadas y el factor de emisión mostraron alta variación.

La intensidad de emisión para leche presentó correlación negativa y significativa con relación al porcentaje de vacas en el rebaño.

Los resultados proporcionan una línea base para el diseño de políticas y prácticas de mitigación en sistemas de doble propósito del oriente cubano. Contribuyendo a la sostenibilidad de un sistema productivo clave para la seguridad alimentaria y la economía familiar en la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los productores de las fincas participantes por su colaboración y disposición: Diego López Carrazana (Media Luna), René Rodríguez Celeiro (Seis Hermanas), Leonardo Jiménez Rabaza (La Manuela), José Guillermo Díaz Pérez (La Doris), Pascual Mejías Pérez (El Algarrobo) y Norgis Verdecia Verdecia (Carballo). Al proyecto Agropaisajes Sostenibles por el financiamiento y apoyo técnico. Al Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical (CIMAGT) por la asesoría metodológica.

REFERENCIAS

Benaouda, M., González-Ronquillo, M., & Appuhamy, J. A. D. R. N. (2022). Emission factors from enteric fermentation of different categories of cattle in the Mexican tropics: A

comparison between 2006 and 2019 IPCC. *Climatic Change, 172*(3-4), 10. https://doi.org/10.1007/s10584-022-03378-z

Cáceres, O., & González, E. (1996). Valor nutritivo de follaje de árboles y arbustos tropicales. II. Leucaena leucocephala cv. CNIA-250. Pastos y Forrajes, 19(3), 277-281. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CU1997000145

Cardona-Iglesias, J. L., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2021). Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: A systematic review. *Veterinary and Animal Science*, *14*, 100214. https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100214

Chacón, A., & Vargas, C. (2009). Digestibilidad in vitro de la materia seca del pasto King grass (Pennisetum purpureum x Pennisetum typhoides) a los 60 días de rebrote. Pastos y Forrajes, 32(2), 123-130. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CR2012000197

FAO. (2022). *Greenhouse gas emissions from agrifood systems. Global, regional and country trends, 2000–2020.* FAO, Roma. https://doi.org/10.4060/cs5786en

FAO. (2025). *Proyecto Agropaisajes Sostenibles impulsa sistemas productivos resilientes en zonas montañosas del oriente cubano*. FAO en Cuba. https://www.fao.org/cuba/news/detail/proyecto-agropaisajes-sostenibles-impulsa-sistemas-productivos-resilientes-en-zonas-montanosas-del-oriente-cubano/es

Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3437e

Gómez Díaz, D. (2025). Inventario de Gases de efecto invernadero en el sector Agricultura del municipio Cumanayagua. *Revista Científica Agroecosistemas*, *13,* e800. https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/800

González, E., & Cáceres, O. (1998). Valor nutritivo del follaje de árboles y arbustos tropicales. IV. *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. *Pastos y Forrajes, 21*(3), 265-270. https://hal.inrae.fr/hal-03418718

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. (Tabla 8.A.1). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324

IPCC. (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC, Ginebra. https://doi.org/10.1017/9781009157896

IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Ginebra. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Lamothe-Crespo, Y., Guerra-Rojas, M. del C., Rodriguez-Abreu, M., & Blanco-Lobaina, J. (2025). Estimación de las emisiones de metano por fermentación entérica del ganado vacuno en una finca de la provincia de Camagüey, Cuba. *Pastos y Forrajes*, *48*. https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942025000100004&lng=en

Martínez Melo, J., Jordán Vázquez, H., Torres Cárdenas, V., Fontes Marrero, D., Mazorra Calero, C. A., & Serrano Torres, J. O. (2020). Alimentación a base de forrajes en fincas lecheras del municipio Florencia, Ciego de Ávila. *Universidad & Ciencia, 9(*2), 1-15. https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/1564

National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition.* National Academy Press. https://doi.org/10.17226/9825

Páez, L., Tiburcio, L., Sayago, W., & Pacheco, R. (2003). Caracterización estructural y funcional de fincas ganaderas de doble propósito en el municipio Páez del estado Apure, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, *21*(3),301-320. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S079872692003000300006&lng=en&nrm=iso

Pezo, D., & Vohnout, K. (1977). Tasas de digestión in vitro de seis gramíneas tropicales. Turrialba (IICA), *27*(1), 47–53. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12442

Raji, S. G., Asmare, B., Ewunetu, Y., Dangura, T., Jørgensen, M., & Berhanu, Y. (2025). Exploring tropical forage options that optimize animal production and reduce methane emissions in mixed crop–livestock systems in Ethiopia. *Crop & Pasture Science, 76*, CP25085. https://doi.org/10.1071/CP25085

Valenciaga, N., D., & Chongo, B. (2001). Valor nutritivo del King grass en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, *35*(3),245-250. https://biblioteca.ihatuey.cu/link/revistas/revistas/rcca/2001/vol35num3/valenciaga.pdf

Verdecia, D. M., Herrera, R. S., Ramírez, J. L., Leonard, I., Bodas, R., Andrés, S., Giráldez, F. J., Álvarez, Y., & López, S. (2012). Valoración nutritiva del Panicum maximum vc. Mombasa en las condiciones climáticas del Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, *46* (1), 97–101. http://hdl.handle.net/10261/132152

Villanueva, C., Ibrahim, M., & Castillo, C. (2023). Enteric methane emissions in dairy cows with different genetic groups in the humid tropics of Costa Rica. *Animals*, *13*(4), 730. https://doi.org/10.3390/ani13040730

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: YLC, LEDC, MCGR, MAST, JVWR, YRG; análisis e interpretación de datos: YLC, LEDC, MCGR, MAST, JVWR, YRG; redacción del artículo: YLC, LEDC, MCGR, MAST, JVWR, YRG.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.