ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1966

Estimation of Methane Emissions from Cattle in Azuero, Panama: A Tier 1 IPCC Approach

Eny Serrano[1], *Ángel Frías*[1], *Francik González*[1], *Moisés Pinilla*[1], *Yessica Sáez*[1,2], *Edwin Collado*[1,2,*]

[1] Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, {eny.serrano, ángel.frías, francik.gonzalez, moises.pinilla, yessica.saez, edwin.collado}@utp.ac.pa

[2] Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología AIP (CEMCIT AIP, Panamá

*Corresponding author: edwin.collado@utp.ac.pa

Abstract*– Greenhouse gas (GHG) emissions, particularly methane (CH_4), pose a critical challenge in climate change mitigation. Since the mid-18th century, CH_4 concentrations have increased significantly, surpassing other gases such as CO_2 and N_2O, which have also risen considerably. This study mathematically estimates CH_4 emissions resulting from enteric fermentation in cattle in the provinces of Herrera and Los Santos, Panama. The estimation employs the Tier 1 method of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and data from the 2021 national livestock census. The results indicate that these provinces contributed approximately 17,455,900 kg of CH_4 in 2021, representing 20.36% of the country's total emissions. These findings highlight the need to implement mitigation strategies to reduce the environmental impact of the livestock sector. Methodologically, the study underscores the importance of considering regional factors when estimating emissions. However, the limited availability of detailed data prevented the application of the IPCC's Tier 2 method, which would allow for greater accuracy by incorporating variables such as sex, age, diet, and feed digestibility. Since the results of this study provide only a general overview of CH_4 emissions in the Azuero region, improving the collection of individual cattle data is recommended. This would enable more precise estimations using the IPCC's Tier 2 method and facilitate the identification of region-specific mitigation strategies.

Keywords*--. Climate change, Methane emissions, mitigation strategies, enteric fermentation, greenhouse gases.

Estimación de las emisiones de metano del ganado en Azuero, Panamá: Un enfoque de Nivel 1 del IPCC

Eny Serrano[1]; Ángel Frías[1]; Francik González[1], Moisés Pinilla[1], Yessica Sáez[1,2], Edwin Collado[1,2,]*

[1] Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, {eny.serrano, ángel.frías, francik.gonzalez, moises.pinilla, yessica.saez, edwin.collado}@utp.ac.pa

Resumen–Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en particular el metano (CH_4), representan un desafío crucial en la mitigación del cambio climático. Desde mediados del siglo XVIII, las concentraciones de CH_4 han aumentado significativamente, superando a otros gases como el CO_2 y el N_2O, cuyos niveles también han crecido de manera considerable. Este estudio estima matemáticamente las emisiones de CH_4 derivadas de la fermentación entérica del ganado bovino en las provincias de Herrera y Los Santos, Panamá. Para ello, se empleó el método de Nivel 1 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y los datos del censo pecuario nacional del año 2021. Los resultados indican que estas provincias contribuyeron con aproximadamente 17,455,900 kg de CH_4 en 2021, lo que equivale al 20.36% del total nacional. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar estrategias de mitigación para reducir el impacto ambiental del sector ganadero. A nivel metodológico, el estudio resalta la importancia de considerar factores regionales al estimar las emisiones. Sin embargo, la disponibilidad limitada de datos impidió la aplicación del método de Nivel 2 del IPCC, el cual permitiría mayor precisión al incorporar variables como sexo, edad, dieta y digestibilidad del alimento. Dado que los resultados de este estudio ofrecen una visión general de las emisiones de CH_4 en la región de Azuero, se recomienda mejorar la recopilación de datos individuales del ganado. Esto permitiría optimizar las estimaciones mediante el método de Nivel 2 del IPCC y facilitar la identificación de estrategias de mitigación específicas para la región.

Palabras claves- Cambio climático, emisiones de metano, estrategias de mitigación, fermentación entérica, gases de efecto de invernadero (GEI).

I. Introducción

El crecimiento poblacional global ha generado una creciente demanda de insumos para satisfacer las necesidades básicas de la población, destacando entre ellas el suministro de alimentos. Sin embargo, esta demanda ha desencadenado problemas ambientales significativos que contribuyen al cambio climático. El cambio climático, una realidad innegable, ha transformado los ecosistemas de la Tierra y amenaza el bienestar de las generaciones presentes y futuras [1], [2].

Las actividades humanas, en su mayoría, están asociadas al deterioro del ambiente, y la generación de gases de efecto invernadero (GEI) es parte esencial de esta problemática. La urgencia de recortar las emisiones mundiales de GEI se hace latente para mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2 °C [3], [4]. Entre los principales GEI responsables del calentamiento global se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4) [5], [6].

En 2022, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) indicó que el 60 % de las emisiones actuales de metano provienen de actividades humanas [7]. Un problema preocupante es que las concentraciones de metano han ido incrementando de manera exponencial a nivel mundial (Ver Fig. 1). Dado su alto potencial de calentamiento global, el metano contribuye significativamente al aumento de la temperatura promedio del planeta, lo que resalta la urgencia de adoptar estrategias de mitigación para reducir su impacto.

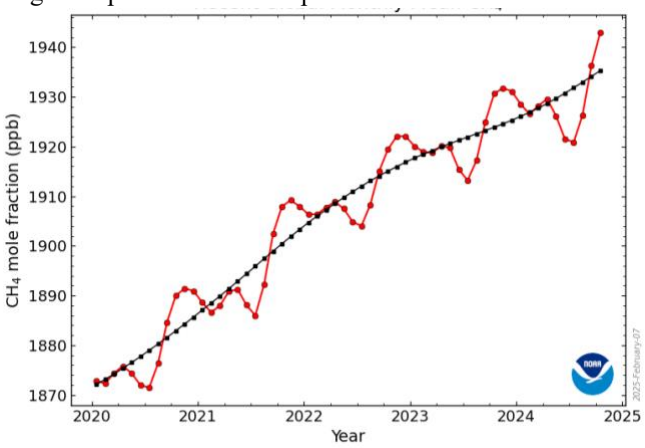

Fig. 1. Medidas de CH_4 en moles de fracción (ppb o ppm) global en los últimos 5 años. Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [8].

Dentro de las fuentes de emisión de metano, destaca el sector ganadero, cuyo crecimiento ha sido impulsado por el aumento poblacional, mayores ingresos y la creciente demanda de productos bovinos. En América Latina y el Caribe, donde el 64,5 % de la población rural depende económicamente de la ganadería, la producción de carne bovina representa aproximadamente el 23 % de la oferta mundial [9]. En Panamá, las provincias de Herrera y Los Santos, ubicadas en la península de Azuero, se destacan como regiones ganaderas de gran importancia [10].

Este crecimiento, sin embargo, tiene impactos significativos en el aire, la tierra, el suelo y la biodiversidad [11]. El metano, producido en el rumen de los rumiantes como subproducto de la fermentación microbiana, es un componente crítico [12], [13]. Rumiantes como las vacas emiten metano durante la digestión, convirtiéndose en una fuente significativa de emisiones agrícolas. De hecho, los bovinos constituyen una fuente principal de emisiones de GEI, generando aproximadamente el 18 % del calentamiento global asociado a actividades con animales domésticos, superando incluso al CO_2 [7], [14] (Ver Fig. 2).

La manipulación de la dieta animal se presenta como una estrategia viable para mitigar la producción de metano y reducir las pérdidas energéticas, una opción particularmente relevante en condiciones tropicales [15].

Para cuantificar las emisiones ganaderas, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha establecido metodologías escalonadas en niveles de complejidad y precisión. El Nivel 1 utiliza factores de emisión por defecto y datos poblacionales básicos, permitiendo su aplicación en contextos con recursos limitados.

Diversos estudios recientes han aplicado la metodología IPCC, evidenciando su utilidad y limitaciones en diferentes regiones:

- Egipto: Abdel-Wareth et al. (2024) desarrollaron un inventario de emisiones de metano a largo plazo (1989–2021) utilizando el método IPCC Nivel 1. Sus hallazgos revelaron tendencias espaciales y temporales, identificando provincias críticas y destacando el dominio del metano entérico [16].
- América Latina y el Caribe: Ruden et al. (2023) evaluaron los inventarios de GEI en 11 países, encontrando un uso generalizado del Nivel 1 debido a limitaciones de datos y capacidad técnica, y resaltaron la necesidad de avanzar hacia enfoques Nivel 2 [17].
- Perú: Ruiz-Llontop et al. (2025) estimaron la huella de carbono de la producción lechera en la Amazonía peruana, encontrando que el metano entérico representó la mayoría de las emisiones. Mostraron que sistemas de manejo mejorados pueden reducir las emisiones por unidad de producción [18].
- Etiopía: Gurmu et al. (2024) compararon métodos IPCC Nivel 1 y 2, demostrando que Nivel 1 puede sobreestimar emisiones hasta en un 59 % en sistemas de pequeños productores, recomendando el uso del Nivel 2 para mayor precisión [19].
- Colombia: Zuluaga-Arcila et al. (2022) presentaron estimaciones nacionales de emisiones de metano y óxidos de nitrógeno del ganado (1995–2015), evidenciando al sector ganadero como principal emisor agrícola y proporcionando desgloses regionales [20].

En Panamá, las emisiones de metano provenientes de actividades ganaderas han aumentado constantemente, contribuyendo de manera significativa al inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI) [21], siendo el sector agrícola uno de los principales emisores de CH_4, especialmente por la fermentación entérica [22]. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo principal estimar las emisiones de metano producidas por el ganado vacuno en las provincias de Herrera y Los Santos, empleando la metodología del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de Nivel 1 [23], basada en factores de emisión por defecto y en la población de ganado [10]. La relevancia de este estudio radica en su contribución al entendimiento de las emisiones de CH_4 en este contexto regional, ofreciendo información valiosa para la implementación de estrategias de mitigación y para una gestión ambientalmente sostenible del sector ganadero. Además, este trabajo aporta a la literatura científica al aplicar la metodología IPCC Nivel 1 en un contexto poco documentado de Centroamérica, específicamente en la región de Azuero, reconocida por su alta concentración de actividad ganadera. A diferencia de inventarios nacionales o estudios de alcance general, esta investigación presenta estimaciones regionales concretas basadas en datos actualizados del censo pecuario, constituyéndose como el primer análisis detallado de emisiones ganaderas en esta zona del país y proporcionando una línea base fundamental para futuras evaluaciones comparativas.

Mientras estudios previos se han centrado en escalas nacionales (como Egipto o Colombia), comparaciones metodológicas (como en Etiopía), o diagnósticos regionales generales (como en América Latina), el presente trabajo demuestra que las estimaciones bajo el enfoque Nivel 1 pueden adaptarse y aplicarse a nivel subnacional. Esto enriquece los inventarios nacionales con mayor resolución territorial y constituye un punto de partida para mejoras metodológicas hacia enfoques Nivel 2. Además, proporciona información clave para orientar estrategias de mitigación específicas en regiones agropecuarias subrepresentadas.

El artículo está organizado de la siguiente manera: La sección II describe el diseño y metodología utilizada en el proyecto. La sección III los resultaos y IV discusión. La sección IV presenta las conclusiones.

II. Metodología

Este trabajo es un estudio preliminar tipo cuantitativo, descriptivo y ambiental, el cual sostiene una revisión del estado del arte, que se enfoca en la evaluación de impacto y mitigación del cambio climático en la ganadería. Esta fase se enfoca en el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) Nivel 1[23].

2.1. Descripción detallada de la región de estudio (Provincias de Herrera y Los Santos, Panamá):

La región de estudio abarca las provincias de Herrera y Los Santos en Panamá, ubicadas en la península de Azuero. Estas provincias se destacan como regiones ganaderas de gran importancia en el país [10]. Sus características topográficas, climatológicas, geológicas, socioeconómicas y culturales han permitido que, desde las épocas precolombinas, los pobladores de esta zona se hayan dedicado a la agricultura y a la cría extensiva de ganado como métodos de subsistencia [14].

2.2. Métodos de muestreo y recolección de datos

Esta investigación se centró en abordar las emisiones de metano en bovinos, con énfasis en las provincias de Herrera y Los Santos en Panamá. Se llevó a cabo una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con las emisiones de metano en el ganado bovino. La revisión incluyó estudios previos, informes técnicos y artículos especializados para establecer un marco teórico sólido.

El sector ganadero en Herrera y Los Santos, provincias de Panamá, se caracteriza por su contribución significativa a la oferta nacional de productos bovinos. Según el último censo pecuario realizado en 2021 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) [24] de Panamá, se identificaron dos categorías principales de ganado en: lechero y otros vacunos. La distribución por provincia se detalla en la TABLA 1.

TABLA 1.
TIPO DE BOVINO MUESTRADO EN HERRERA Y LOS SANTOS Y ESTIMACIÓN DEL RESTO DE LA PROVINCIAS DE PANAMÁ

	LECHERO	**OTROS VACUNOS**
HERRERA	30 100	61 500
LOS SANTOS	20 400	193 400
TOTAL	**50 500**	**254 900**
RESTO DEL PAÍS	116 500	1 088 000
TOTAL, PAÍS	**167 000**	**1 342 900**

Fuente: [24]

Para el análisis cuantitativo de la producción de metano en la producción agrícola, Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) describe dos métodos [23]. En el primero, IPCC Nivel 1, se utilizan factores de emisión por defecto y datos agregados a nivel nacional o regional. Este enfoque simplificado se basa en estadísticas de la población ganadera y suposiciones generales sobre la dieta y las prácticas de manejo. Se calcula la cantidad de metano emitido utilizando factores estándar para cada categoría de ganado y las emisiones se estiman a partir de la población total. Este nivel proporciona una evaluación inicial de las emisiones, pero no considera factores individuales de los animales, como sexo, edad, peso, dieta, o digestibilidad del alimento.

El segundo método, IPCC Nivel 2 implica un enfoque más detallado y preciso, ya que considera factores individuales y específicos de la población ganadera. Requiere datos más detallados, como información sobre la composición de la dieta, características individuales de los animales y prácticas de manejo. Este nivel utiliza modelos más avanzados para tener en cuenta la variabilidad en la dieta y otros factores que afectan las emisiones de metano. Sin embargo, la implementación del Nivel 2 es más compleja y requiere una recopilación exhaustiva de datos a nivel individual, lo que puede ser desafiante y costoso.

En este trabajo, la metodología seleccionada para la estimación de las emisiones de metano se basó en los cálculos matemáticos establecidos bajo el método de la IPCC Nivel 1 y nos basamos en el último censo pecuario del 2021 en Panamá. Este método se basa en factores de emisión por defecto y requiere datos básicos sobre la población animal y los sistemas de gestión del estiércol que se encuentran al desarrollar una revisión del estado del arte a través del censo pecuario del 2021 en Panamá [24], cuyas variables y cálculos requeridos son:

1. Población de ganado por categoría, que es el total de animales diferenciados por especie y tipo de producción (Ver TABLA 1).
2. Factor de emisión de metano por animal (kg CH_4/cabeza/año). Se utilizaron valores predeterminados proporcionados por el IPCC según la categoría de animal y la zona climática de estudio.
3. Producción de estiércol por tipo de animal (kg/animal/día). Se estimó la cantidad de materia seca excretada por los animales, la cual influye en las emisiones de metano provenientes del estiércol almacenado o tratado.
4. Sistema de gestión del estiércol. Se identificó el método predominante de manejo de estiércol en la zona de estudio, dado que el tipo de manejo afecta la tasa de producción de metano.

Se estableció como sitio de estudio únicamente las provincias de Herrera y Los Santos de Panamá, debido a que es una zona con característica climatológicas interesantes y cuyo sector productivo es uno de los más altos del país.

Para la estimación de las emisiones totales de metano CH_4 provenientes de la fermentación entérica del ganado, se aplicó la fórmula [23]:

$$\text{Emisiones de } CH_4 = EF(T) \times (N(T)) \quad (1)$$

Donde:

- EF(T) = es el factor de emisión correspondiente a la categoría de ganado (T), expresado en kgCH_4/cabeza/año. Basado en valores estándar del IPCC**.** Este factor es determinado con base en valores de referencia del IPCC y varía según la especie, dieta, peso y condiciones de manejo del ganado.

- N(T) = Número de cabezas de ganado por categoría (T) [18].

- T= categoría de Ganado

La ecuación (1) permite estimar la cantidad de metano generada anualmente por la fermentación entérica de los animales los establecidos [23], [25].

El cálculo de emisiones totales de metano (CH_4) en un sistema con múltiples fuentes de emisión (en nuestro caso dos fuentes, Herrera y Los Santos), se utilizó la sumatoria de contribución individual de las diferentes categorías de cada fuente de utilizado la fórmula (2).

$$\text{Total de } CH_4 = \sum_i E_i \qquad (2)$$

Donde:

- $\sum$ indica la sumatoria de todas las fuentes de emisión presentes en el sistema.

- E_i es cantidad de metano emitido de la fuente i^{th} dentro de la categoría de ganado. Cada tipo de residuo (i) contribuye con una fracción de las emisiones totales.

El porcentaje de emisiones de metano (%) se calcula como la razón entre las emisiones totales de metano en Herrera y Los Santos (kg/año) y las emisiones totales de metano en el país (kg/año), multiplicado por 100.

III Resultados

*2.5 Procedimientos estadísticos y análisis de datos***:**

*2.5.1 Determinación del factor de emisión***:**

A partir de la revisión de la literatura, se identificaron los factores de emisión por defecto establecidos por el IPCC para cada región, los cuales fueron utilizados en la aplicación del Método IPCC Nivel 1. Para la estimación de emisiones de metano, se consideró la población de ganado clasificada por especie y categoría, empleando datos oficiales sobre el total de animales en las zonas de estudio. Se utilizaron los valores predeterminados proporcionados por el IPCC, los cuales varían según el tipo de animal y la región climática. Estos factores permiten estimar la cantidad de metano generada tanto por fermentación entérica como por el manejo del estiércol, facilitando así una aproximación cuantitativa de las emisiones del sector pecuario.

La elección del factor de emisión se basó en los valores establecidos por la IPCC 2006 [10] [13], y se adaptaron a las regiones específicas, como se presenta en la TABLA 2.

TABLA 2.
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA CADA REGIÓN

Regiones	**Categoríaía de ganado**	**Factor de emisión (kg CH_4 cabeza^{-1} año^{-1})**
América del norte	Lechero	121
	Otros vacunos	53
Europa Occidental	Lechero	109
	Otros vacunos	57
Europa Oriental	Lechero	89
	Otros vacunos	58
Oceanía	Lechero	81
	Otros vacunos	60
América Latina	Lechero	63
	Otros vacunos	56
África y Oriente Medio	Lechero	40
	Otros vacunos	31
Asia	Lechero	61
	Otros vacunos	47
	Lechero	51
Subcontinente Indio	Otros vacunos	27

Fuente: [13]

2.5.2 Emisión Total:

Cálculos por emisiones de metano para la provincia de Herrera y Los Santos.

- Factor de emisión para lecheros = 60 kg por año
- Factor de emisión para otros vacunos = 56 kg por año

Las emisiones de metano (kg por año) en las provincias de Herrera y Los Santos en la categoría lecheros para el año 2021 fueron:

Emisiones de CH_4 = (63) x (50 500)= 3,181,500 kg por año

Mientras que las emisiones (kg por año) en las provincias de Herrera y Los Santos en la categoría otros vacunos para el año 2021 fueron:

Emisiones de CH_4 = (56) x (254,900)= 14,274,400 kg por año

El total del metano (kg por año) producido en Herrera y Los Santos en el año 2021:
CH_4 = 3,181,500 + 14,274,400 = 17,455,900 kg por año.
Luego calculamos las emisiones (kg por año) en el resto del país en la categoría lecheros:

Emisiones de CH_4 = (60) x (167 000) = 10,020,000 kg por año

También se obtuvo la cantidad de emisiones (kg por año) en la categoría otros vacunos:

Emisiones de CH_4 = (56) x (1 342 900) = 75,202,400 kg por año

El Total de emisiones (kg por año) en el resto del país:

CH_4 = 75,202,400 + 10,020,000 = 85,222,400 kg por año

Total de emisiones para Panamá en kg por año:
CH_4 = 17,455,900 + 85,222,400 = 102,678,300

Cálculo de porcentaje de emisión de metano en Herrera y Los Santos con respecto al país:

% CH_4 = (17,455,900 / 85,222,400) x 100 = 20.48%

IV Discusión

Las comparaciones con otros países de América Latina subrayan la necesidad de soluciones para mitigar la generación de GEI a nivel mundial. Se estima que el 7.3% y 7.5% de los GEI vienen del CH_4 y el N_2O, respectivamente, para los años 2010 y 2020 [4]. Sin embargo, M. Benaouda et al. [6] indica que a nivel global, América Latina y el Caribe generan el 14 % de metano, por lo que es determinante encontrar dietas equilibradas, selección genética y reducción de la población de rumiantes, para minimizar su impacto ambiental.

Este estudio destaca la urgencia de abordar las emisiones de metano en el sector ganadero, tanto a nivel regional como global, como parte de una estrategia integral para mitigar el cambio climático. En América Latina, países como Brasil, México, Argentina y Colombia son responsables de los mayores volúmenes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes del sector ganadero (ver Tabla 3).

TABLA 3.
PORCENTAJE DE EMISIÓN DE CH_4 EN PAÍSES SELECCIONADOS DE AMÉRICA LATINA

Zona/País	Emisiones de CH_4 (kg/año)	Porcentaje de emisión de CH_4	Observaciones
Brasil	-	44.7%	[7]
México	-	22.8%	[7]
Argentina	-	13.7%	[7]
Colombia	-	7.0%	[7]
Herrera y Los Santos	17,455,900	20.48% (de Panamá)	Propios
República de Panamá	85,222,400	-	Propios

Fuente: [7] y cálculos propios.

Los resultados obtenidos muestran que Brasil es el principal emisor de metano en la región dentro de los países compaerados, con una contribución del 44.7% de las emisiones de CH_4 provenientes del sector ganadero. Le siguen México (22.8%), Argentina (13.7%**)** y Colombia **(**7.0%**),** lo que refleja la significativa participación de estos países en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionadas con la ganadería. En el caso de Panamá, las provincias de Herrera y Los Santos generan aproximadamente 17,455,900 kg de CH_4 al año**,** representando el 20.48% del total de las emisiones de metano del país. Esta cifra evidencia el impacto del sector ganadero en esta región y resalta la necesidad de implementar estrategias de mitigación efectivas. Considerando que la producción ganadera es una fuente clave de emisiones en América Latina, se requiere un enfoque integral que contemple la adopción de tecnologías sostenibles, mejoras en la gestión del ganado y políticas ambientales que permitan reducir la huella de carbono de la industria pecuaria en la región.

III. Conclusiones

El nivel metodológico influye fuertemente en las estimaciones de CH_4 entérico, sin embargo, para este caso, el uso del método IPCC de Nivel 1 en este estudio permitió obtener una estimación preliminar de las emisiones de metano del ganado bovino en Herrera y Los Santos. Aunque los cálculos obtenidos proporcionan un pantallazo general de lo que la generación de metano en la región de Herrera y Los Santos, sus limitaciones incluyen la falta de datos específicos sobre el manejo del ganado, la composición de la dieta y las condiciones ambientales locales, lo que podría influir significativamente en los niveles de emisión. Los datos obtenidos a través de la revisión literaria solo proporcionan información para desarrollar este primer método. A pesar de las limitaciones inherentes a este nivel, su aplicación inicial es crucial antes de considerar evaluaciones más detalladas. El método del IPCC Nivel 2, implica una recopilación más exhaustiva de datos a nivel individual y, por ende, requiere más recursos y esfuerzo.

En el año 2021, las provincias de Herrera y Los Santos, Panamá, contribuyeron con el 20.48% de emisiones del país, lo que equivale a 17,455,900 Kg por año de CH_4. Los datos expresan que el bovino lechero genera menos concentraciones de metano que los otros tipos de bovinos vacunos. Dentro de esta contribución, los bovinos lecheros en Azuero emiten 3,181,500 kg/año, representando un 3.71% del total nacional, mientras que los otros vacunos generan 14,274,400 kg/año, equivalentes a 16.64% del total nacional. Las emisiones de metano (CH_4) en Panamá, calculadas mediante la metodología del IPCC Nivel 1, alcanzan un valor estimado de 102,678.3 toneladas por año (t/año).

Los resultados subrayan la significativa responsabilidad del sector ganadero en Herrera y Los Santos en la producción de metano. La emisión de CH_4, un gas de efecto invernadero, tiene consecuencias ambientales directas, contribuyendo al calentamiento global y a la degradación de la capa de ozono. Estos impactos pueden afectar adversamente a los sistemas de producción agrícola y pecuaria.

El estudio también resalta la importancia de considerar factores regionales específicos al estimar las emisiones de metano a través del método del IPCC de Nivel 1, las limitaciones en la disponibilidad de datos impidieron la implementación del Nivel 2, que proporcionaría resultados

más precisos al considerar factores adicionales como sexo, edad, peso, dieta y digestibilidad del alimento.

Aunque Panamá es considerado un país con emisiones netas de carbono negativas, debido a que en el 2017 registró un balance de emisiones y absorciones de GEI de –9,758.3 kilotoneladas de CO_2 equivalentes, esto se debe principalmente a la extensa cobertura forestal del país, que abarca más del 65% de su territorio, permitiendo que sus bosques capturen una cantidad significativa de dióxido de carbono [26]. Sin embargo, es importante el monitoreo de los GEI y seguir mejorando las capacidades del país como reservorio de carbono.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por el respaldo brindado a través de la subvención No. 157-2023 FID23-078, así como al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de Panamá. Asimismo, extienden su gratitud al grupo de investigación ITSIAS de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

REFERENCIAS

[1] N. González, "Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano," EL Cerrillo Piedras Blancas Toluca-México, 2016. [Online]. Available en: http://hdl.handle.net/20.500.11799/59202

[2] S. Heckadon-Moreno, *De Selvas a Potreros, La colonización Santeña en Panamá: 1850-1980*, 1ª ed., Panamá, 2009.

[3] ONU, "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático," 2009. [Online]. Available: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf.

[4] A. N. Hristov et al., "TEMAS ESPECIALES — Mitigación de las emisiones de metano y óxido nitroso de las operaciones con animales: I. Una revisión de las opciones de mitigación del metano entérico," *Revista de Ciencias Animal*, vol. 91, pp. 5045–5069, 2013. [Online]. Available: https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583.

[5] M. D. Pinto, "Piragua - Fuego y agua," 5 mayo 2020. [Online]. Available: https://piraguamdp.com/2020/05/05/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-producto-de-la-actividad-ganadera-en-la-republica-de-panama/. [Accedido: 2023].

[6] M. Benaouda et al., "Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina," *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 8, p. 4, 2017. [Online]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342017000400965&script=sci_arttext.

[7] NASA, "Methane | Vital Signs – Climate Change: Vital Signs of the Planet," NASA Climate Change. [Online]. Available: https://climate.nasa.gov/vital-signs/methane/. [Accedido: 2024].

[8] NOAA, "Methane Trends," *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, 2025. [Online]. Available: https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/. [Accedido: 2024].

[9] FAO. "Avances y desafíos en la ganadería de América Latina y el Caribe - Medidas de mitigación apropiadas para cada país". 2023. Santiago, FAO. [Online]. Available: https://doi.org/10.4060/cc8210es

[10] M. d. Ambiente, "miambiente," 22 noviembre 2022[Online]. Available: https://www.miambiente.gob.pa/panama-apuesta-a-la-reduccion-de-sus-emisiones-de-metano-en-el-marco-de-la-cop27/#:~:text=El%20metano%20en%20Panamá,representaron%20el%203.1%25%20del%20total.. [Accedido:2024].

[11] C. M. Marta Alfaro, "Ganadería y gases de efecto invernadero," Instituto de Investigaciones Agropecuarias www.inia.com, Chile, 2012.

[12] J. A. B. Cárdenas, "Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al cambio climático," *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2012.

[13] IPCC, "Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 4, Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol," Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006. [Online]. Available: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf. [Accedido: 2024].

[14] A. S. Montenegro J, "Fijación de carbono, emisión de metano y óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica," *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales*, vol. Ed Nuestra Tierra, p. 334, 2000.

[15] J. C. Carmona et al., "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*, vol. 18, p. 50, 2005.

[16] A. A. A. Abdel-Wareth, M. Maze, M. O. Taqi, R. Tolba, y J. Lohakare, "Estimation of methane greenhouse gas emissions from livestock in Egypt during 1989 to 2021," Scientific Reports, vol. 14, Art. no. 63011, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1038/s41598-024-63011-0

[17] A. Ruden et al., "Status and opportunities for improvement in greenhouse gas emission inventories for the cattle production in Latin America and the Caribbean region: A perspective," PLOS Climate, vol. 2, no. 5, e0000101, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000101

[18] D. Ruiz-Llontop, S. M. Portocarrero-Villegas, y A. Frias, "Greenhouse gas emissions from Fleckvieh cattle production systems in the Amazon region, Peru," Tropical Animal Health and Production, vol. 57, Art. no. 4358, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s11250-025-04358-y

[19] E. B. Gurmu, P. W. Ndung'u, A. Wilkes, y D. Getahun, "Comparison of Tier 1 and 2 methodologies for estimating intake and enteric methane emission factors from smallholder cattle systems in Africa: A case study from Ethiopia," Animal - Open Space, vol. 3, no. 11, Art. no. 100064, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.anopes.2024.100064

[20] A. P. Garrido, F. Tovar Bernal, J. D. Fontanilla, Y. Camargo Caicedo, y A. M. Vélez-Pereira, "Assessment of livestock greenhouse gases in Colombia between 1995 and 2015," Heliyon, vol. 8, no. 12, e12262, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12262

[21] M. d. Ambiente, "United Nations Climate Change," 2020. [Online]. Available: https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/0596231_Panama-BUR2-1-2020_IIN_PA.pdf. [Accedido: mayo 2024].

[22] Sistema Español de Inventario de Emisiones, "Metodologías de estimación de emisiones" 2019. [Online]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/3a11_100401_ferment-enterica-bovino-leche_tcm30-530024.pdf. [Accedido: 2024].

[23] IPCC, "Resumen para responsables de políticas: Sexto Informe de Evaluación del IPCC - Grupo de Trabajo I," Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2021. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf. [Accedido: 2024].

[24] INEC, "Publicaciones – Encuestas y Censos," *Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá*, 2025. [Online]. Available: https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1143&ID_CATEGORIA=4&ID_SUBCATEGORIA=13. [Accedido: 2024].

[25] FAO, *Tackling Climate Change Through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. [Online]. Available: https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf. [Accedido:2024].

[26] Ministerio de Ambiente de Panamá, *Segundo Informe Bienal de Actualización sobre Cambio Climático*, 2017. [Online]. Available: https://dcc.miambiente.gob.pa/noticia-de-prueba2/. [Accedido: 2024].