EMISIONES DE METANO POR LA GANADERÍA BOVINA EN MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA: 2016-2020

Ezequiel de Jesús Tabares Mourad

Universidad del Magdalena

Facultad de ingeniería

Santa marta D. T. C. H

2021

EMISIONES DE METANO POR LA GANADERÍA BOVINA EN MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA: 2016-2020

Ezequiel de Jesús Tabares Mourad

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de:

Ingeniero Ambiental y Sanitario

Directores:

MsC Gustavo Adolfo *Manjarres García*

Dr. Jean Rogelio Linero Cueto

Línea de investigación:

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Universidad del Magdalena

Facultad de ingeniería

Santa Marta D. T. C. H

2021

Resumen

Se estimaron las emisiones de metano mediante la fermentación entérica y por manejo de estiércol, producido por el ganado bovino destinados al doble propósito, aplicando el nivel 1 y nivel 2 de las directrices del Panel Intergubermental para el Cambio Climático IPCC, 2006. La metodología se aplicó en los municipios de Aracataca, Plato, Sabanas de San Ángel, Santa Bárbara de Pinto, Sitionuevo y Zona Bananera del departamento del Magdalena. Se encontró que las emisiones de metano entérico para 2016 fueron de 23,7 Gg CO_2 eq, y para 2020 de 28,3 Gg CO_2 eq. Estos resultados evidencian un aumento aproximado del 19,2% en el periodo de estudio. Asimismo, las emisiones de metano por manejo de estiércol para 2016 fueron de 6,45 Gg CO_2 eq, y para 2020 de 7,60 Gg CO_2 eq, evidenciando un aumento del 17,8% en los cinco años estudiados.

***Palabras claves**:* Fermentación entérica, metano, departamento del Magdalena, Gases de Efecto Invernadero.

Abstract

Methane emissions through enteric fermentation and manure management produced by cattle for dual purposes were estimated, applying level 1 and level 2 of the guidelines of the Intergovernmental Panel for Climate Change IPCC, 2006. The study area was the municipalities of Aracataca, Plato, Sabanas de San Ángel, Santa Bárbara de Pinto, Sitionuevo, and Zona Bananera (department of Magdalena). Enteric methane emissions were 23.7 Gg CO_2 eq and 2020 28.3 Gg CO_2 eq for 2016 and 2020, respectively. These results show an approximate increase of 19.2% in

the study period. Likewise, methane emissions from manure management for 2016 were 6.45 Gg CO_2 eq, and for 2020 they were 7.60 Gg CO_2 eq, showing an increase of 17.8% in the five years studied.

***Keywords**:* Enteric fermentation, manure handling, methane, Departamento del Magdalena, Greenhouse gases.

CONTENIDO

2. Introducción 2

3. Marco Conceptual 6

3.1. Metano Entérico 6

3.2. Dióxido de Carbono Equivalente (CH_4- eq). 7

3.3. Emisiones de Metano Producido por la Gestión del Estiércol. 7

4. Antecedentes 9

4.1. Argentina 11

4.2. Chile 12

4.3. Brasil 13

4.4. México 14

4.5. India 15

4.6. China 17

4.7. Estados Unidos 18

4.8. Colombia 19

5. Marco Legal 21

5.1. Ley 164 de 1994 21

5.2. Decreto 298 de 2016 21

5.3. CONPES 3700 22

5.4. PNACC 22

6. Justificación 24

7. Objetivos 26

7.1. General 26
7.2. Objetivos Específicos 26
8. Aspectos Metodológicos 27
8.1. Inventario y caracterización ganadera 27
8.2. Producción Promedio de Leche y Porcentaje de Grasa Producida 27
8.3. Ecuaciones Utilizadas para la Estimación del CH_4 por Fermentación Entérica y Gestión del Estiércol 28
8.3.1. Ecuación para Estimar el CH_4 por Categorías 28
8.3.2. Ecuación para Calcular el Factor de Emisión CH_4 29
8.3.3. Ecuación para Estimar la Emisión Total de CH_4 30
8.3.4. Ecuación de la Energía Neta para Mantenimiento (NE_m) 30
8.3.5. Ecuación de la Energía Neta para Actividad (NE_a) 31
8.3.6. Ecuación de la Energía Neta para Lactancia (NE_l) 31
8.3.7. Ecuación de la Energía Neta para Preñez (NE_p) 32
8.3.8. Ecuación de la Energía Neta para Crecimiento (NEg) 33
8.3.9. Ecuación para Hallar la Relación entre la Energía Neta Disponible en la Dieta para Mantenimiento y la Energía Digerible Consumida (REM). 33
8.3.10. Ecuación para Hallar la Relación entre la Energía Neta Disponible en una Dieta para Crecimiento y la Energía Digerible Consumida (REG) 34
8.3.11. Ecuación de la Energía Bruta para Vacunos (EB) 34
8.3.12. Ecuación de la Ingesta de Alimentos para Vacas Reproductivas y Novillos Adultos (DMI) 35
8.3.13. Ecuación de la Ingesta de Alimentos para Vaca Adulta 36

8.3.14. Ecuación de la Ingesta de Alimentos para Terneros (as) y Novillos (as) 37

8.3.15. Ecuación del Factor de Conversión a CH_4 (Y_m).....37

8.3.16. Ecuación para las Emisiones de CH_4 de la Gestión del Estiércol.....38

8.4. Modelo GLEAM 39

8.5. Definición y caracterización de los módulos. 39

8.6. Estrategias de Mitigación y Compensación de las Emisiones de Metano Generadas por el Ganado Bovino en Municipios del Departamento del Magdalena 40

9. Resultados.....Error! Bookmark not defined.

9.1. Inventario y caracterización ganadera .....**Error! Bookmark not defined.**

9.1. Sistema de Producción Ganadera. 45

9.2. Producción Promedio de Leche y Porcentaje de Grasa Producidas. 45

9.3. Estimación de las Emisiones de Metano CH_4 por Fermentación Entérica 47

9.4. Estimación de las Emisiones Directas de CH_4 por Manejo de Estiércol.....50

9.2. Estrategias de Mitigación y Compensación de las Emisiones de Metano Generadas por el Ganado Bovino en Municipios del Departamento del Magdalena 51

10. Discusión.....**52**

11. Conclusiones.....**59**

12. Referencias.....**61**

13. Glosario de Términos.....**67**

TABLAS.

Tabla 1 Reporte del inventario y caracterización ganadera de los municipios de Aracataca, Plato y Sabanas de San Ángel, 2016 – 2020. 42

Tabla 2 Reporte del inventario y caracterización ganadera de los municipios de Santa Barbara de Pinto, Sitio nuevo y Zona Bananera, 2016 – 2020.....43

Tabla 3 Población máxima y mínima de bovinos entre 2016 y 2020 en seis municipios del departamento del Magdalena. 45

FIGURAS.

Figura 1 Variación anual del contenido graso y el porcentaje de grasa. 47

Figura 2 Estimación de CH_4 por fermentación entérica en municipios del departamento del Magdalena. 49

Figura 3 Emisiones directas de CH_4 por manejo del estiércol. 50

Figura 4 Porcentaje de metano por fermentación entérica estimado según el sexo. 52

Figura 5 Emisiones de metano por gestión del estiércol estimadas según el sexo. 53

Figura 6 Comparativa de las emisiones de metano por fermentación entérica estimadas con las reportadas en el departamento del Magdalena. 55

Figura 7 Comparativa de las emisiones de metano por fermentación entérica estimadas con las reportadas en el departamento del Magdalena y en Colombia. 56

Figura 8 Comparativa de las emisiones de metano por manejo del estiércol estimadas con las reportadas en el departamento del Magdalena. 57

Figura 9 Comparativa de las emisiones de metano por manejo del estiércol estimadas con las reportadas en el departamento del Magdalena y en Colombia. 58

1. Introducción

El cambio climático generado por el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), se considera como una de las amenazas ambientales, sociales y económicas que actualmente enfrentan los países a nivel mundial, razón por la cual, es muy importante la búsqueda de políticas y estrategias para mitigarlo.

Los principales gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera son, el vapor de agua (H_2O), el ozono (O_3), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), el hexafluoruro de azufre (SF6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC, éstos se clasifican en GEI directos e indirectos. Los primeros, representados por el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados, se emiten directamente a la atmósfera y contribuyen al efecto invernadero. Los GEI Indirectos son precursores de ozono troposférico, además, contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo, en este grupo se encuentran los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano y el monóxido de carbono (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

En las últimas décadas las emisiones de gases de efecto invernadero GEI, evidencian un incremento importante debido a las diferentes actividades productivas tales como, en el sector energético, procesos Industriales, los residuos, manejo del suelo, cambio del uso de la tierra, la silvicultura y la producción agropecuaria, (Ramírez, 2018). A medida que pasa el tiempo y se evidencian incrementos en las emisiones de los GEI, se despierta más el interés por disminuir los

niveles de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). El sector ganadero es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero y por ello es sometido a una supervisión y regulación continua.(Larios et al., 2016).

En la agricultura y la producción pecuaria se generan grandes emisiones antropogénicas de metano CH_4 por fermentación entérica y manejo de estiércol, por lo cual, van directo a la atmosfera (Eckard et al., 2010). La fermentación entérica, tiene lugar en el sistema digestivo que poseen los animales, siendo el ganado bovino el principal responsable (Rebollar & Estellés, 2008). Cabe resaltar que una de las características que tiene efecto significativo en la producción de metano a nivel mundial, es la dieta que lleve el bovino, esta afirmación se basa en que países con pocas limitaciones alimenticias para el ganado bovino, han reportado menores emisiones y mayor eficiencia energética (González, 2016). Además, el metano no es usado por el rumiante como fuente de energía ya que este gas es liberado a través de exhalaciones del animal hacia la atmosfera o eliminado por medio de los pulmones (Crutzen et al., 2006). Este proceso representa, una pérdida del 7% del total de la energía bruta ingerida por el animal en un día para su sistema (Hristov et al., 2013).

Los primeros estudios de estimación de metano incursionados en América Latina se realizaron en **Argentina** por Bárbaro et al., 2008, quienes utilizaron la técnica del Hexafluoruro de azufre (SF_6) (K. Johnson et al., 1994), para la estimación de este gas., en **Chile**, También utilizaron este mismo método para medir la producción de metano entérico generada por un grupo de 24 vacas lecheras. (Muñoz et al., 2015).

A nivel mundial se evidencia que las emisiones entéricas de CH_4, han venido aumentado, lo cual indica que, el compromiso adquirido por parte de los países en desarrollo con el protocolo de Kioto, con la disminución de los rebaños puede estar siendo suplantada por un aumento de las importaciones de carne del mundo, convirtiéndose en una lucrativa fuente de intercambio para varios países en desarrollo (Mendoza, 2015). Las importaciones de carne vacuna en 2004 en Brasil presentaron un aumento importante en su producción tanto así, que ese país encabezó la lista de emisiones entéricas de metano con una producción de 9.6 Tg de CH_4 al año, seguido de India con 8.6 Tg/año, China con 4.7 Tg , Estados Unidos con 5.1 Tg de CH_4 al año, Argentina con una producción de 2.5 Tg de CH_4 al año, en México con una producción de 1.6 Tg de CH_4 al año, y en Colombia con una producción de emisiones entéricas de 1.3 Tg de CH_4 al año el cual, ocupó el puesto 10 el año 2004 (Thorpe, 2009a).

En el contexto nacional, los inventarios de emisiones de metano por fermentación entérica y por manejo de estiércol reportados por el IDEAM, fueron elaboradas bajo las directrices del Panel Intergubermental para el Cambio Climático (IPCC) publicadas en el año 2006, estos reportes contemplan las emisiones generadas por departamentos pero no a nivel municipal, dejando un vacío de información que evidencie el estado de la producción de este gas de efecto invernadero en los municipios, es por eso, que surge la necesidad de contribuir con este proyectos a los objetivos planteados por el IDEAM (2014), en el desarrollo de datos más cercanos a las dinámicas de cada una de sus zonas, constituyendo a su vez, un insumo muy importante para el trabajo que se ha impuesto el país en su Plan de Desarrollo en aspectos relacionados con el impulso hacia un crecimiento verde y bajo en carbono (DNP & GGGI, 2016), al igual que el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) el cual, establece en uno de sus objetivos propuestos

desde el 2015 en revertir el cambio climático adoptando medidas para combatirlo, contemplando estos objetivos hasta el 2030 (ONU, 2020), y al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por ende, el objetivo de este trabajo contempló estimar las emisiones de metano entérico y por manejo de estiércol para los municipios de Aracataca, Plato, Santa Bárbara de Pinto, Sabanas de San Ángel, Sitio Nuevo y Zona Bananera, del departamento del Magdalena, Colombia, bajo las directrices del IPCC, 2006 como requerimiento del componente dos del proyecto general titulado "Investigación de los efectos de la variabilidad climática y el cambio climático sobre los recursos hídricos, biodiversidad y actividades agropecuarias en el departamento del Magdalena"

2. Marco Conceptual

2.1. Metano Entérico

El metano entérico es un producto de la fermentación anaerobia resultado de un complejo sistema simbiótico entre diferentes grupos microbiales presentes a lo largo del tracto digestivo del rumiante, fundamentalmente en el rumen (Van Soest, 1994).

Este proceso digestivo depende principalmente los siguientes factores: nivel de ingesta del alimento, tipo de carbohidrato en la dieta, procesamiento del alimento, adición de lípidos o ionóforos a la dieta y alteraciones en la microflora ruminal. Es decir que, las emisiones de CH_4 entérico, dependen de la manipulación de estos factores, La producción de este potente gas de efecto invernadero, constituye una pérdida energética para el rumiante que puede representar entre el 2 y el 12% de la energía bruta consumida (K. A. Johnson & Johnson, 1995). En la atmosfera, el metano tiene un periodo de vida de aproximadamente 10 años (Moss et al., 2000), y su Potencial de Calentamiento Global (PCG), es 28 veces mayor que el dióxido de carbono (Meyer et al., 2015)

A temperatura ambiente, el metano es estable y sólo es atacado por el radical hidroxilo, formado en el aire húmedo, el cual destruye cerca del 80% del CH_4 liberado(Ballesteros & Aristizabal, 2007)**.** Un poco menos del 10% se transporta por corrientes ascendentes hasta la estratósfera, donde la radiación ultravioleta hace posibles las reacciones con otras moléculas. Por último, una fracción (entre 3-10%) se filtra en el suelo, y es destruida por microorganismos (Juliarena, 2013).

2.2. Dióxido de Carbono Equivalente (CH_4- eq)**.**

La definición de equivalente de dióxido de carbono (CO_2 equivalente), es la cantidad de emisiones de CO_2 que provocaría la misma intensidad radiante que una determinada cantidad emitida de un gas de efecto invernadero bien mezclado o una mezcla de gases de efecto invernadero, multiplicados por su Potencial de calentamiento global PCG respectivos para tener en cuenta los distintos tiempos que se mantienen en la atmósfera (PUC, 2017)

2.3. Emisiones de Metano Producido por la Gestión del Estiércol.

Las emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol tienden a ser menores que las entéricas, las emisiones más significativas se asocian con operaciones de gestión de animales confinados en las que el estiércol se maneja se almacena y/o se trata según diferentes sistemas de gestión variando sus emisiones entre los diferentes tipos de sistemas de manejo del estiércol utilizados, así como por las emisiones durante la aplicación del estiércol como abono orgánico a los suelos de los campos agrícolas cuando se realizan de manera inminente o bien por las deposiciones de los animales en régimen de pastoreo. Los factores que afectan las emisiones de metano (CH_4), son la cantidad de estiércol producido y la proporción de estiércol que se descompone anaeróbicamente. El estiércol producido depende de la cantidad de animales y el estiércol que se descompone depende de cómo se maneje o gestione. Cuando el estiércol se trata como un líquido, ya sea por medio de lagunas, estanques, balsas, tanques, depósitos o fosas, su descomposición se realiza de forma anaeróbicamente, en el cual se produce una cantidad significativamente de CH_4, y cuando este se maneja como solidos de forma apilada, distribución

diaria a los suelos agrícolas o cuando se deposita en régimen de pastoreo tiende a descomponerse en condiciones más aeróbicas y se produce menos CH_4 (Dong et al., 2006).

3. Antecedentes

Uno de los problemas que el planeta enfrenta en la actualidad, es el del calentamiento global debido al aumento del efecto invernadero que se ha dado por la acumulación de gases que atrapan el calor en la atmósfera (Soliva & Hess, 2007).

Los gases de efecto invernadero al ser acumulados generan que la temperatura aumente en el mundo entero, este aumento de GEI, conlleva implicaciones ambientales al final del presente siglo, muy probablemente estas complicaciones puedan ser de magnitudes superiores a los observados durante el siglo XX, según el Informe especial del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático IPCC, (2006) sobre escenarios probables de emisiones y las proyecciones de cambio climático (en inglés IEEE), estas podrían tener aumentos de entre 1,1 °C hasta 6,4 °C, y consecuentemente un aumento sobre el nivel del mar de entre 18 y 59 cm superiores a los actuales, mayores precipitaciones en regiones altamente lluviosas y menores en regiones de menos precipitación (Pachauri et al., 2015).

Las actividades agrícolas, a diferencia de la quema de combustibles que representa la principal fuente de emisiones de CO_2, son las principales contribuyentes de emisiones globales de metano CH_4 (Wheeler et al., 2008). En términos generales, se calcula que a nivel mundial la cantidad de metano generado por las actividades antropógenas, ya sean por el uso de combustibles fósiles, actividades ganaderas, actividades agrícolas como el cultivo de arroz y por los vertederos de residuos y desechos, alcanzan los 320 millones de toneladas de metano al año (Aardenne et al.,

2001). En el cual, aproximadamente el 26,9% corresponden a las emisiones de metano entérico (Steinfeld, 2009)

En la actualidad, la mayoría de los esfuerzos para reducir la producción de metano generada por la ganadería bovina en la región de América Latina, están centralizados en determinar los volúmenes de las emisiones, la determinación de los factores de emisión propios de la región según sus condiciones climatológicas, y los inventarios nacionales, mientras que se ha evidenciado que pocos estudios se han concentrado en el desarrollo de estrategias para a su mitigación. Esto se debe a que fue hasta hace poco que los gobiernos y los científicos de la zona se dieron cuenta de la importancia del papel que desempeñan el ganado bovino, en la producción y la emisión de grandes cantidades de metano hacía la atmósfera y de sus influencias en el cambio climático. Las primeras iniciativas para conocer la magnitud del problema están encaminadas hacia el desarrollo de las instalaciones y la infraestructura, que permitirá a los investigadores medir las emisiones de metano y así generar la línea base en la que los gobiernos locales podrán negociar los compromisos de mitigación dentro de los protocolos internacionales vigentes. Los inventarios de emisiones fiables reducirán la incertidumbre actual y permitirán el seguimiento de las emisiones de los sistemas de producción pecuaria antes y después de la implementación de estrategias de mitigación, por lo que la reducción de las emisiones puede ser corroborada y la eficacia de la estrategia evaluada (Benaouda et al., 2017).

Uno de los retos que contempla la estimación de las emisiones de metano entérico para el ganado bovino, es la generación de los factores para cada región, debido a que esta actividad, requiere de costosas instalaciones de equipos científicos y un importante número de experimentos

con un gran número de animales durante periodos de tiempos largos, con el objetivo de que se generen emisiones precisas.

3.1. Argentina

Una de las primeras estimaciones que se realizaron en la Región de América Latina se llevó a cabo en Argentina, en el cual, se puede decir que es un país con aproximadamente 51 millones cabezas de ganado, (Bárbaro et al., 2008). Los métodos usados por los autores fue la técnica de hexafluoruro de azufre (SF6) (K. Johnson et al., 1994). En el cual, usaron un grupo de novillos de raza Aberdeen Angus de 14 meses de edad. La mitad de ellos estaban pastoreando un pasto nativo y la otra mitad un pasto cultivado, dominado por raigrás (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*).

La producción de metano registrada fue de 227 y 248 L de CH_4 cabeza-^{1} día-^{1}, respectivamente, y una ganancia media diaria de peso para ambos grupos de 1.3 kg día-^{1}

En un experimento similar llevado a cabo por (Bualo et al., 2014) con 20 vacas de carne de un peso vivo promedio de 382 kg, la mitad de las vacas tuvo acceso durante seis horas a una pradera de gramíneas y leguminosas mixta y la otra mitad tuvo acceso a una pradera de sorgo (*Sorghum spp*.) también durante seis horas. La técnica SF_6 fue utilizada también en este experimento y las emisiones promedio de metano fueron muy parecidas al experimento anterior, del orden de 291 y 234 L vaca-^{1} día-^{1}, respectivamente.

3.2. Chile

Uno de los primeros estudios realizados, se midió la producción de metano entérico generado por el ganado bovino lechero en condiciones de pastoreo (Muñoz et al., 2015). En la que utilizaron de igual manera, la técnica de SF_6 en 24 vacas pastando en una pradera de raigrás. Estos autores han observado que el aumento del nivel de suplementación con concentrado de 1 kg a 5 kg vaca-^{1} día-^{1}, ha resultado en un incremento en la producción de leche y la producción total de metano al pasar de 452 a 500 L CH_4 vaca-^{1} día-^{1}, respectivamente, sin afectar la producción de metano por unidad de leche producida. En un Segundo estudio, los autores (Herrera et al., 2014). Realizaron una evaluación sobre los efectos que genera la suplementación con concentrado sobre la producción de metano por las vacas Holstein multíparas con un peso vivo promedio de 597 kg en su etapa final de la lactancia (15 kg leche vaca-^{1} día-^{1}) que pastaban en una pradera de *Lolium perenne*. Estos autores utilizaron la técnica SF_6 para medir la producción de metano y dos niveles de suplementación de concentrados, 4 y 8 kg vaca-^{1} día-^{1}. Como en el estudio anterior, sus resultados también mostraron que los niveles crecientes de concentrado resultaron en más metano producido, el cual pasó de 406 L vaca-^{1} día-1 en las vacas que recibieron 4 kg de concentrado a 449 L vaca -^{1} día-^{1} en aquellas con 8 kg de concentrado. Sin embargo, en este estudio se ha producido menos metano ($p< 0.05$) por kilogramo de ración total mezclada consumida por vaca en el tratamiento con 8 kg de concentrado que en el tratamiento con 4 kg de concentrado (29.5 *vs* 33 L CH_4 kg-^{1} de dieta).

3.3. Brasil

En este país la producción de metano entérico es de gran nivel en comparación a otros países a nivel mundial, debido a que tiene el mayor rebaño comercial de bovinos en el mundo, con más de 212 millones de cabezas, representando más del 73% de todo el metano antropogénico producido en ese país (Cerri et al., 2009). Esta situación puede explicar por qué Brasil es uno de los pocos países de la región que ha invertido en la construcción y operación de cámaras de respiración para medir *in vivo* la producción de metano y otros estudios colorimétricos tendientes a evaluar diversas alternativas para mitigar la emisión de metano por el ganado (Benaouda et al., 2017). Los estudios realizados por el autor (Thorpe, 2009b), realiza estimaciones de metano entérico para el ganado bovino en Brasil con una población de 127,7 millones cabezas de ganado respectivamente para el año 1984 y de 192 millones cabezas de ganado para el año 2004 presentando resultados en ese mismo orden de 6,90 Tg de CH_4 al año, y 10,37 Tg de CH_4 al año, utilizando los valores predeterminados del Nivel 1 del Panel Intergubermental para el Cambio Climático IPCC, 2004. En un Segundo estudio el autor (Gonçalves et al., 2014), realizo un estudio en Brasil con el objetivo de determinar el efecto de la calidad de un ensilaje hecho con el forraje Bermuda var. Tifton 85 en diferentes etapas de crecimiento (25, 45, 56, 74 y 90 días), sobre la producción de metano por ovejas adultas. En dicho estudio utilizaron 25 ovejas con un peso vivo promedio de 46.5 kg y la emisión de metano fue medida con un sistema (Benaouda et al., 2017). El ganado lechero en las regiones tropicales de Brasil, reportaron que la emisión de metano por las vacas Holstein pastando pasto *Brachiaria* spp., varió de 564, 389 y 294 L cabeza-1 día-^{1} en vacas lactantes, vacas secas y novillas, respectivamente (Primavesi et al., 2004). En el mismo orden, el consumo de materia seca fue 16, 12 y 9.5 kg MS cabeza-^{1} día-^{1}, lo cual confirma lo reportado por (Machado et al., 2011), con respecto a la relación entre el consumo de MS y la producción de

metano**,** por otro lado, encontraron que la producción de metano en vacas Holstein*Cebú no difiere (p> 0.05) de las emisiones observadas en vacas Holstein puras, por ejemplo, 463, 413 y 286 L cabeza-1 día-^{1} en vacas lactantes, vacas secas y novillas, respectivamente (Benaouda et al., 2017)

3.4. México

En México, La ganadería es la tercera fuente más importante de emisiones de CH_4, y las principales medidas de mitigación aplicables a esta actividad se refieren a un manejo sustentable de las tierras de pastoreo y al manejo de productos derivados de la fermentación entérica y de las excretas de animales (México et al., 2010). La producción de ganado bovino en México está basada en los sistemas de pastoreo, siendo el 73% del territorio nacional de la República Mexicana utilizado para actividades agropecuarias. El 58% de la superficie, es empleada para pastoreo del ganado bovino durante el verano, y aunque la producción bovina extensiva es una de las que mayores emisiones de GEI, también es la que mayor capacidad de mitigación tiene, tanto así que, el potencial de mitigación en sistemas de producción bovina puede ser mayor de 20-40 % de los niveles actuales, siempre que se puedan adaptar prácticas destinadas a mejorar el manejo de las praderas, la alimentación de los animales y mejoramiento genético (Hernandez et al., 2018)

Los estudios realizados para la obtención de los factores de emisión para generar los inventarios de las emisiones de metano han sido limitados, siendo uno de los más rezagados de los países que contemplan una ganadería compleja de la región, tanto así que, los pocos trabajos existentes están basados en estudios *in vitro* (García et al., 2018). Se estima que el metano producido por los 23.3 millones de cabezas de ganado en México está cerca 2.02 Tg/año (Castelán

et al., 2014). Fue hasta el 2013 que los investigadores de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UADY, diseñaron, construyeron y pusieron en operación las primeras cámaras en México para la medición de gas metano generado por el ganado vacuno (Notimex, 2013)

Cabe resaltar que, el uso de cámaras de respiración para medir el metano por fermentación entérica producido por el ganado bovino, proporcionan una técnica de medición simple que es ideal paras los diferentes tratamientos de las pruebas, pero contempla desventajas, ya que se debe tener en cuenta solo una pequeña área o número de animales pueden ser estudiados (McGinn et al., 2008).

En los estudios realizados por el autor (Thorpe, 2009b), demuestran que para los años de 1984 México con una población de 30,5 millones cabezas de ganado presentó una producción de metano de 1,07 Tg de CH_4 al año respectivamente y para el año 2004 una producción de metano entérico de 1,08. Tg de CH_4 al año ocupando el octavo puesto para ese último año de estudio, el cual aplico los valores predeterminados del Nivel 1 del Panel Intergubermental para el Cambio Climático IPCC, 2004.

3.5. India

En la India, la ganadería constituye un componente integral del sector Agrícola y también una fuente importante de emisiones de Gases de efecto Invernadero (GEI), a nivel mundial. Se estima que la fermentación entérica constituye cerca del 91% del metano total de las emisiones generadas por el ganado Indio (Chhabra et al., 2013). Se estima que la India, con su gran población

de ganado, aporta anualmente 10,8 Tg de metano aproximadamente de esta Fuente, una evaluación de varias opciones de mitigación del metano indica que algunas de las tecnologías disponibles, como la suplementación dietética con aditivos alimentarios y productos de melaza de urea, son altamente rentables para reducir las emisiones de metano entérico (Sirohi et al., 2005). Se considera que los Gases de Efecto Invernadero en una estrategia de reducción pueden ser menos costosos y más efectivos para mitigar el Cambio Climático (Hansen et al., 2000).

El estudio realizado en la india para estimar las emisiones de metano entérico y por manejo de estiércol de la población ganadera del país se realizó entre los años 1951 – 2003 respectivamente, con una distribución de la población bajo diferentes categorías en la que se tuviera en cuenta el, genero, raza y edad utilizando coeficientes basados en estándares de alimentación de la India, los resultados de este inventario se compararon con las estimaciones derivadas utilizando el Nivel de factores de emisión y coeficientes de emisión de ALGAS. Los coeficientes de emisión de metano para fermentación entérica y el manejo de estiércol utilizados fueron los correspondientes por el IINC, IPCC, ALGAS. Estos coeficientes corresponden a diferentes enfoques utilizados para las categorías de ganado. Los resultados de emisión de la fermentación fueron de 10,65 Tg (rango 8,10 – 13,30 Tg). La emisión total de metano (incluidas las emisiones de la fermentación entérica y por manejo de estiércol) de ganado indio se estimó en 11,75 Tg/año aproximadamente para el año 2003. Por el cual, el 91% son de fermentación entérica y el 9% por manejo de estiércol. El ganado y el búfalo son la Fuente principal en comparación a otro ganado (Chhabra et al., 2013).

Los estudios realizados por el autor (Thorpe, 2009b), demuestran que las estimaciones de metano entérico para el ganado bovino en la India con una población de 195,2 millones cabezas de ganado respectivamente para el año 1984 y de 185,5 millones cabezas de ganado para el año 2004, presentaron resultados en ese mismo orden de 6,83 Tg de CH_4 al año, y 6,49 Tg de CH_4 al año, utilizando los valores predeterminados del Nivel 1 del Panel Intergubermental para el Cambio Climático IPCC, 2004. En el cual, ocupo el segundo puesto en este último año de estudio para productores de metano entérico respectivamente.

3.6. China

En la actualidad, China es el mayor emisor de CH_4 del mundo. Dada la importancia del CH_4 en los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, las características de las emisiones de CH_4 de China en 2007, basado en datos de entrada-salida multirregional y datos relevantes de emisiones de CH_4 muestran que las áreas oriental, central y occidental contribuyen al 48,2%, 28,6% y 23,3% del total nacional de emisiones incorporadas, respectivamente, siendo Guangdong con el nivel más alto de emisiones de CH_4 incorporado entre las 30 regiones. Para lograr la mitigación regional de las emisiones de CH_4, deben diseñarse medidas de mitigación integrales teniendo en cuenta la transferencia regional de la responsabilidad de las emisiones (Zhang et al., 2014).

Los estudios realizados por el autor (Thorpe, 2009b), demuestran que las estimaciones de metano entérico para el ganado bovino en China con una población de 59 millones cabezas de ganado respectivamente para el año 1984 y de 106,5 millones cabezas de ganado para el año 2004,

presentaron resultados en ese mismo orden de 2,07 Tg de CH_4 al año, y 5,50 Tg de CH_4 al año, utilizando los valores predeterminados del Nivel 1 del Panel Intergubermental para el Cambio Climático IPCC, 2004. En el cual, ocupo el tercer puesto en se ultimó año de estudio para productores de metano entérico respectivamente.

3.7. Estados Unidos

Las principales fuentes de emisiones de metano en los Estados Unidos son la producción, distribución y uso de energía; agricultura; y gestión de residuos. Las emisiones de metano de EE. UU. En 2009 totalizaron 731 $MMTCO_2$ (Millones de Toneladas Métricas de Dióxido de Carbono), 0.9 por ciento más que el total de 2008 de 724 MMTCO. La gestión del ganado, incluidas las emisiones de la fermentación entérica (67 por ciento) y la gestión de desechos animales (27 por ciento), representa la mayor parte de las emisiones de metano de los Estados Unidos de las actividades. Desde 1990, ha habido un cambio en el manejo del ganado hacia instalaciones más grandes que manejan los desechos en sistemas líquidos, aumentando la cantidad de metano generado a partir de los desechos del ganado. La fermentación entérica de metano por el ganado bovino representa el 96 por ciento de las emisiones de metano de EE. UU, derivado de esta fuente. Con pocos cambios en la población de ganado desde 1990, el nivel de emisiones de la fermentación entérica se ha mantenido relativamente estable, con una pequeña disminución de 3 $MMTCO_2e$ (2,2 por ciento) en 2009 con respecto al nivel de 2008 (Energy Information Administration, 2011).

Los estudios realizados por el autor (Thorpe, 2009b), demuestran que las estimaciones de metano entérico para el ganado bovino en Estados Unidos con una población de 113,4 millones cabezas de ganado respectivamente para el año 1984 y de 94,9 millones cabezas de ganado para el año 2004, presentaron resultados en ese mismo orden de 6,58 Tg de CH_4 al año, y 5,50 Tg de CH_4 al año, utilizando los valores predeterminados del Nivel 1 del Panel Intergubermental para el Cambio Climático IPCC, 2004. En el cual, ocupó el cuarto puesto en este último año de estudio para productores de metano entérico respectivamente.

3.8. Colombia

En los inventarios de GEI reportados no se realizan con el objeto de establecer metas de reducción cuantificables para la región capital, solo se establecen para que las entidades encargadas del manejo ambiental establezcan lineamientos metodológicos para la elaboración de inventarios en las demás regiones del país (IDEAM et al., 2012). El sector agropecuario representa el segundo sector con mayores emisiones brutas del país, con cerca del 26% de emisiones respectivamente, causados por la fermentación entérica con un 31%. En el contexto departamental se establece que al departamento del Magdalena se le atribuye un cuarto de las emisiones de GEI, por las actividades pecuarias ya que concentra el 5,65% del hato nacional (IDEAM et al., 2016).

Los estudios realizados por el autor (Thorpe, 2009b), demuestran que las estimaciones de metano entérico para el ganado bovino en Colombia con una población de 23,4 millones cabezas de ganado respectivamente para el año 1984 y de 25,3 millones cabezas de ganado para el año 2004, presentaron resultados en ese mismo orden de 0,82 Tg de CH_4 al año, y 0,89 Tg de CH_4 al

año, utilizando los valores predeterminados del Nivel 1 del Panel Intergubermental para el Cambio Climático IPCC, 2004. En el cual, ocupo el décimo puesto en este último año de estudio para productores de metano entérico respectivamente.

4. Marco Legal

4.1. Ley 164 de 1994

Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" hecha en Nueva York el 9 mayo de 1992 en su artículo 4° se establecieron entre otros compromisos para Colombia Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la conferencia de las partes, formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, tomando en cuenta las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático (Ley 164, 1994).

4.2. Decreto 298 de 2016

Por el cual se establece la "Organización y Funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático y se dictan otras disposiciones" establece en su artículo 10° la conformación de los Nodos Regionales de Cambio Climático como "Instancias regionales responsables de promover, acompañar y apoyar la implementación de las políticas, estrategias, planes, programas, proyectos y acciones en materia de cambio climático en las regiones" estableciendo además, el

Nodo Regional de la Orinoquia el cual está conformado por los departamentos: Meta, Casanare, Vichada, Arauca (SISCLIMA, 2016).

4.3. CONPES 3700

Debido a la problemática ambiental causada por el cambio climático y la importancia de la participación de las entidades municipales, departamentales y regionales como promotoras de las acciones con el fin de disminuir los efectos de dicha problemática, el Gobierno Colombiano empezó a delinear cuatro estrategias con el fin de mitigar y adaptarse al cambio climático las cuales quedaron plasmadas en el Documento COPES 3700 (Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia), las cuales son: El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC), la Estrategia Nacional para la Reducción de las Emisiones debidas a la Deforestación y la Degradación Forestal en los Países en Desarrollo (ENREDD+) y la Estrategia de Protección Financiera ante Desastres (CONPES, 2011).

4.4. PNACC

El cambio climático es una realidad, y tiene importantes efectos en el desarrollo socioeconómico del país. Como respuesta a esta problemática, el Gobierno nacional de Colombia está formulando el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) que busca reducir el riesgo y los impactos socioeconómicos asociados al cambio y a la variabilidad climática. Este documento representa un primer insumo en el marco de este Plan, y tiene como finalidad

consolidar un marco conceptual para la adaptación al cambio climático en el país y establecer los lineamientos que se deberán seguir durante el proceso de formulación de los Planes Sectoriales y Territoriales de Adaptación (PNACC, 2014).

5. Justificación

Los estudios realizados hasta el momento a nivel nacional como el inventario nacional y departamental de GEI, se han realizado con metodología de **Nivel 1** del Panel Intergubermental sobre el Cambio Climático IPCC, (2006) por consiguiente la información recolectada de las actividades ganaderas vacunos es muy general, ya que se basa principalmente en los cálculos de población promedio anual y del factor de emisión por defecto, generando esto unas estimaciones de las emisiones poco exactas, mientras que la metodología de estimación de **Nivel 2** tiene en cuenta variables determinantes en la producción de metano entérico como lo son la cantidad y la calidad de la dieta propia del animal donde se realizan cálculos de energía bruta, ingesta de alimentos y factor de emisión (*IPCC*, 2006).

Para la implementación de estrategias y políticas es necesario que se realice un estudio específico y detallado de cada región debido a que los sectores económicos y productivos del país no se desarrollan en la misma proporción ni tienen la misma incidencia y tampoco tienen las mismas metodologías de producción, por lo tanto, no es viable generalizar las acciones correctivas y preventivas en todo el país, sino, específicamente que cada región de acuerdo a sus actividades promueva sus estrategias para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Es de gran importancia conocer con mayor precisión la cantidad de gas metano que se emite en la producción ganadera para crear un inventario de las variaciones de las emisiones a través del tiempo y que al plantear y ejecutar nuevas metodologías se optimicen los procesos de producción y se logre evidenciar la disminución de las emisiones de este gas a la atmosfera contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

La información presentada en el documento sugiere que existe la necesidad urgente de ampliar la información sobre los factores de emisión, inventarios y estrategias de mitigación para las diferentes especies de rumiantes en los países de América Latina y el Caribe, pues en general estos países están muy por detrás de países europeos y de América del Norte. Esta información servirá para orientar el desarrollo de las políticas de mitigación y reducir la incertidumbre en los inventarios de metano para la región (*IPCC*, 2006).

6. Objetivos

6.1. General

Estimar las emisiones de metano por la ganadería bovina en municipios del Departamento del Magdalena para el periodo 2016-2020.

6.2. Objetivos Específicos

- Determinar las emisiones de metano por fermentación entérica del ganado bovino.
- Determinar las emisiones de metano por manejo del estiércol bajo el sistema de pastura definido por el IPCC, (2006).
- Recomendar estrategias generales para mitigación y compensación de las emisiones de metano generadas por el ganado bovino en los municipios de Aracataca, Plato, Sabanas de San Ángel, Santa Bárbara de Pinto, Sitionuevo y Zona Bananera.

7. Aspectos Metodológicos

7.1. Inventario y caracterización ganadera

Las directrices metodológicas del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático en su versión 2006, establecen un procedimiento riguroso y selectivo para estimar las emisiones generadas por el ganado bovino, por esta razón fue necesario adquirir información relacionada con el inventario ganadero en los municipios de Aracataca, Plato, Sabanas de San Ángel, Santa Bárbara de Pinto, Sitio nuevo y Zona Bananera, a partir de los censos del ganado bovino del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en el cual, se discrimina la población bovina por grupos etarios, teniendo en cuenta el sistema de producción dominante en la región, que corresponde a ganadería extensiva.

7.2. Producción **P**romedio de **Leche y Porcentaje de Grasa Producida**

Los datos promedios de leche producidos por el ganado bovino en el departamento del Magdalena, así como los porcentajes grasos, se obtuvieron del Sistema de Información de Gestión y Desempeño de las Organizaciones de Cadenas - SIOC, instrumento que la Dirección de Cadenas Productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha puesto a disposición al público, para facilitar los procedimientos de evaluación y competitividad del sector, así como en otras disposiciones.

7.3. Ecuaciones Utilizadas para la Estimación del CH_4 por Fermentación Entérica y Gestión del Estiércol

Para el desarrollo de esta actividad se tuvo en cuenta las directrices establecidas por el IPCC, (1996-2006) en la que inicialmente se estimó la emisión de metano por fermentación entérica del ganado bovino (Kg CH_4 año-1) por cada categoría utilizando las siguientes ecuaciones:

Se realizó una estimación de CH_4 por fermentación entérica para cada municipio, según la cantidad de ganado bovino censados por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, utilizando los datos disponibles en un periodo de cinco años (2016 al 2020), teniendo en cuenta el factor de emisión de CH_4 por fermentación entérica para cada categoría de ganado, para lo cual se utilizaron las ecuaciones establecidas por el IPCC, (2006).

7.3.1. **Ecuación para Estimar el CH_4 por Categorías**

Emisiones = EF (T)*

Donde:

- ✓ **$EF_{(T)}$ =** Factor de emisión para la población de ganado, Kg CH_4 cabeza-1 año-1
- ✓ **$N_{(T)}$ =** Número de cabezas de ganado por categoría
- ✓ **T** = Categoría de Ganado

7.3.2. Ecuación para Calcular el Factor de Emisión CH_4

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

Donde:

- ✓ **EF** = Factor de emisión, kg CH_4 cabeza-1 año-1
- ✓ **GE** = Ingesta de energía bruta, MJ cabeza-1-dia1
- ✓ $\mathbf{Y_m}$ = factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano.
- ✓ **El factor 55,65** (MJ/kg CH_4) es el contenido de energía del metano

Permite inferir en las características de cada región (por ejemplo; clima húmedo o seco), a desarrollar para cada categoría de ganado, utilizando un periodo de un año equivalente a 365 días, lo cual no es lo establecido en el IPCC, 2006.

Se utilizó para estimar el total de CH_4 por fermentación entérica del ganado bovino, sumando las emisiones de las categorías establecidas para cada municipio.

El total obtenido por la suma de lo producido por municipio se multiplicó por 28, el cual corresponde al valor de calentamiento global para el CH_4 emitidos en el quinto informe de evaluación (AR_5), del IPCC, 2006.

7.3.3. Ecuación para Estimar la Emisión Total de CH_4

$$\text{Total, } CH_4 = \Sigma Ei$$

Donde:

- ✓ **E_i =** Emisiones totales de las i^{th} categorías de ganado bovino

Se utilizó para estimar la energía neta que requieren los bovinos para obtener alimento, agua y refugio, teniendo en cuenta la situación alimentaria de baja calidad que se presenta en el departamento del Magdalena, así como también, el peso vivo y el coeficiente que varía para cada categoría de bovino (toros, vacas en lactancia y vacas no lactantes).

7.3.4. Ecuación de la Energía Neta para Mantenimiento (NE_m)

$$NEm = Cfi * (Peso)0{,}75$$

Donde:

- ✓ **NE_m =** Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento, MJ dia-1
- ✓ **C_{fi} =** Coeficiente que varía para cada categoría MJ dia-1Kg-1
- ✓ **Peso =** Peso vivo del animal; Kg

7.3.5. Ecuación de la Energía Neta para Actividad (NE_a)

$$NEa = Ca * NEm$$

Donde:

- ✓ **NE_a =** Energía neta para la actividad animal, MJ dia-1
- ✓ **C_a =** Coeficiente correspondiente a la situación alimentaria del animal (Tabla 4 del IPCC, 2006).
- ✓ **NE_m =** Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento, MJ dia-1

Se utilizó para estimar la energía neta que requiere el animal para realizar actividad, teniendo en cuenta la situación alimentaria, en este caso se aplicó para animales en grandes superficies de pastoreo utilizando un coeficiente estipulado por el IPCC, 2006.

7.3.6. Ecuación de la Energía Neta para Lactancia (NE_l)

$$NEl = Leche * (1,47 + 0,40 *$$

Donde:

- ✓ **NE_l =** Energía neta para lactancia, MJ dia-1
- ✓ **Leche =** Cantidad de leche producida, Kg de leche dia-1
- ✓ **Grasa =** Contenido graso de la leche, % por peso

Se utilizó para estimar la energía neta para lactancia, esta, está en función de la cantidad de leche producida y su contenido graso expresado como porcentaje (NRC, 1989).

Los datos empleados fueron tomados del Ministerio de Agricultura por medio del Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organización de Cadenas (SIOC), el cual, presentaba los datos de producción de leche del bovino (vaca) por día, en informes trimestrales por medio del acopio del producto, para esta, se empleó un promedio de los datos trimestrales históricos para obtener datos anuales y poder implementar la formula con los porcentajes de grasa anuales.

7.3.7. Ecuación de la Energía Neta para Preñez (NE_p)

$$NEp = Cpreñez * NE_m$$

Donde:

- ✓ **NE_p** = Energía neta para la preñez, MJ dia-1
- ✓ **$C_{preñez}$** = Coeficiente de preñez (0,10)
- ✓ **NE_m** = Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento, MJ dia-1

Se utilizó para estimar la energía neta durante el periodo de gestación de 281 días promediados para todo un año, utilizando la constante de preñez como se indica en el IPCC, 2006.

7.3.8. Ecuación de la Energía Neta para Crecimiento (NEg)

$$NEg=22{,}02*(BWC*MW)0{,}75*WG1{,}09$$

Donde:

NE_g = Energía neta para crecimiento, MJ dia-1

B_w= Peso corporal vivo promedio de los animales de la población, kg

C= Es un coeficiente con un valor de 0,8 para hembras, 1,0 para castrados y 1,2 para toros.

MW= Peso corporal vivo y maduro de una hembra adulta en condición corporal moderada, kg.

WG= Aumento peso diario promedio de los animales de la población, kg dia-1

Se utilizó para estimar la energía requerida por el bovino dependiendo de la subcategoría etaria. Por lo general los bovinos maduros no presentan una variación significativa en su peso corporal en el transcurso del año, esta depende la variación climática, usualmente el bovino tiende a perder peso en temporada seca y recupera esa pequeña variación en temporadas húmedas.

7.3.9. Ecuación para Hallar la Relación entre la Energía Neta Disponible en la Dieta para Mantenimiento y la Energía Digerible Consumida (REM).

$$REM = [1123 – (4092 * 10\text{-}3 * DE\%) + \{1126 * 10\text{-}5 * (DE\%)2\} – (25{,}4DE\%)]$$

Donde:

- ✓ **DE% =** Energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta.

Para vacunos, la relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida, se estima empleando la ecuación REM, donde el porcentaje de digestibilidad es el más alto debido a que la clase alimentaria estipulada para el ganado vacuno en estudio es con forraje de baja calidad.

7.3.10. Ecuación para Hallar la Relación entre la Energía Neta Disponible en una Dieta para Crecimiento y la Energía Digerible Consumida (REG)

$$REG = [1164 - (5160 * 10^{-3} * DE\%) + \{1308 * 10^{-5} * (DE\%)_2\} - (37{,}4DE\%)]$$

Donde:

- ✓ **DE%** = Energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta

Se aplicó para estimar relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida (REG), en el cual se empleó el mismo porcentaje de digestibilidad para el cálculo de la REM.

7.3.11. Ecuación de la Energía Bruta para Vacunos (EB)

$$EB = \left[\frac{\left(\frac{NEm + NEa + NEi + NEp}{REM}\right) + \left(\frac{NEg}{REG}\right)}{\frac{DE\%}{100}} \right]$$

Donde:

- ✓ **EB =** Energía bruta, MJ dia-1

- ✓ **NEm =** Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento MJ dia-1
- ✓ **NEa =** energía neta para la actividad animal, MJ dia-1
- ✓ **NEl =** energía neta para lactancia, MJ dia-1
- ✓ **NEp =** energía neta requerida para la preñez, MJ dia-1
- ✓ **REM =** relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida
- ✓ **NEg =** energía neta para el crecimiento, MJ dia-1
- ✓ **REG =** relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida
- ✓ **DE% =** energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta.

Se utilizó para estimar la energía bruta de las categorías de ganado vacuno estudiadas. Esta ecuación requiere de los cálculos presentados anteriormente, por cuanto se derivan de la suma de los alimentos requeridos de energía neta y las características de disponibilidad de energía de los alimentos.

7.3.12. Ecuación de la Ingesta de Alimentos para Vacas Reproductivas y Novillos Adultos (DMI)

$$DMI = BW^{0.75} * \left[\frac{(0{,}0119 * NEma^2 + 0{,}1938)}{NEma}\right]$$

Donde:

- ✓ **DMI =** Ingesta de materia seca, kg dia-1
- ✓ **BW =** Peso vivo, kg
- ✓ **NE_{ma} =** Concentración de energía neta dietaría estimada

Se estimó la ingesta de materia seca para ganado vacuno en crecimiento y terminación DMI, sobre la base de peso corporal y de la concentración porcentual dietaría de energía digerible por defecto, utilizando el método de nivel 2 simplificado del IPCC, 2006.

7.3.13. Ecuación de la Ingesta de Alimentos para Vaca Adulta

$$DMI = \left[\frac{\left(\frac{(5{,}4 + BW)}{500} \right)}{\left(\frac{(100 - DE\%)}{100} \right)} \right]$$

Donde:

- ✓ **DMI =** Ingesta de materia seca, kg dia-^{1}
- ✓ **BW =** Peso vivo, kg
- ✓ **DE%=** Energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta.

Se aplicó para estimar la ingesta de materia seca sobre la base de la energía digerible (DE%), de las vacas lecheras maduras alimentadas con forrajes de baja calidad en zona tropical.

7.3.14. Ecuación de la Ingesta de Alimentos para Terneros (as) y Novillos (as)

$$DMI = BW^{0.75} * \left[\frac{(0.2444 * NEma - 0.0111 * NEma^2 - 0.472)}{NEma}\right]$$

Donde:

- ✓ **DMI =** Ingesta de materia seca, kg dia-^{1}
- ✓ **BW =** Peso Vivo, kg
- ✓ **NEma=** Concentración de energía neta dietaría estimada

Se estimó la digestibilidad de materia seca para ganado vacuno en crecimiento y terminación, con el método de Nivel 2 del IPCC, (2006) sobre la base del peso corporal del animal y la concentración del alimento NE_{ma} (NRC, 1996), aplicando como tipo de dieta, forrajes de baja calidad.

7.3.15. Ecuación del Factor de Conversión a CH_4 (Y_m)

Ym

Donde:

- ✓ **Ym=** Factor de conversión de CH_4, expresado como la fracción de la Energía Bruta (EB) del alimento que se transforma en CH_4

Cabe destacar que, el factor de conversión de CH_4 para todos los animales que solo consumen leche, como los terneros menores a tres meses en promedio, equivale a cero IPCC, (2006).

7.3.16. Ecuación para las Emisiones de CH_4 de la Gestión del Estiércol

$$CH_{4Estiercol} = \sum_{(T)} \frac{\left(EF_{(T)} * N_{(T)}\right)}{10^6}$$

Donde:

- ✓ **$CH_{4Estiércol}$** = emisiones de CH_4 por la gestión del estiércol, para una población definida, Gg CH4 año^-1
- ✓ **$EF_{(T)}$** = factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH_4 cabeza^-1 año^-1
- ✓ **$N_{(T)}$** = la cantidad de cabezas de la especie/categoría de ganado *T* del país.
- ✓ **T** = especie/categoría de ganado

Se utilizó para estimar la emisión de CH_4 por gestión del estiércol utilizando el factor de emisión por temperatura (para la región América latina), mayores o iguales a 28 °C en el cual, estipula que casi todo el estiércol del ganado bovino se gestiona como sólidos en pasturas y prados, y por último, el valor resultante de masa se dividió entre 10^6 para convertir las unidades de kilogramos (Kg), a unidades de giga gramos (Gg).

7.4. Modelo GLEAM

El modelo Global de Evaluación Ambiental de la ganadería (GLEAM) por sus siglas en inglés, desarrolladas por la División de producción y sanidad animal de la FAO, se utilizó para evaluar actividades de adaptación y mitigación del sector ganadero utilizando métodos de Nivel 2 del grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático IPCC, (2006).

A fin de estimar las emisiones de la ganadería en municipios del departamento del Magdalena, se revisó la disponibilidad de información, para utilizar las herramientas requeridas y realizar los cálculos que permitan conocer actividades del sector ganadero.

Este modelo tiene en cuenta las diferentes etapas de la cadena ganadera, es decir, el módulo de cabaña o de hato, el de piensos, estiércol, sistema y el de asignaciones.

7.6. Definición y caracterización de los módulos.

El módulo de cabaña o hato comienza con el número total de animales de una determinada especie, tiene en cuenta el número de cabezas en cada cohorte, y el ritmo con el cual se mueven entre cohortes, además, de las características de éstos en medio de cada cohorte (por ejemplo, peso e índice de crecimiento), estos datos, se utilizan para estimar las necesidades de energía de cada tipo de animal, así como también, la cantidad total de carne y leche producidos para cada año. El módulo de piensos, tiene en cuenta los pastos presentes en la zona de estudio, el contenido nutricional y las emisiones por kilogramo de ración forrajera (Gerber et al., 2013). El módulo de estiércol contempla la gestión del estiércol directamente depositado en el suelo teniendo en cuenta

de las características mencionadas con anterioridad para cada cohorte del ganado bovino. El módulo de sistema, se contempla la información sobre la estructura de la ganadería en los municipios, el estiércol, las características del animal y los pastos, el cual, se utiliza en para calcular la producción anual total, así como las emisiones derivadas de la gestión del estiércol, la fermentación entérica y la producción de pastos (Gerber et al., 2013).

Las emisiones totales que se producen por la ganadería registrada en los municipios se estimaron teniendo en cuenta el consumo de energía por uso directo ocasionado por las actividades desarrolladas tales como; pastoreo, producción de leche y carne. Luego, las emisiones totales en cada municipio se asignan a coproductos y servicios en el módulo de asignaciones.

7.7. Estrategias de Mitigación y Compensación de las Emisiones de Metano Generadas por el Ganado Bovino en Municipios del Departamento del Magdalena

Para la mitigación y compensación de las emisiones de metano generadas por el ganado bovino en municipios del departamento del Magdalena, se recomiendan estrategias que tengan la capacidad de generar una reducción de los GEI teniendo en cuenta la viabilidad económica y el mantenimiento del desempeño del ganado bovino.

8. Resultados

8.1. Inventario y caracterización ganadera

Los reportes del inventario de bovinos por grupos etarios para los seis municipios estudiados se consolidaron en las tablas 1 y 2, respectivamente, el cual, el grupo etario con mayor número de ganado bovino en los municipios estudiados para los años 2016 y 2020, fue el de las hembras mayores a 3 años, con un total de 411.370 cabezas de ganado respectivamente, a diferencia de los machos mayores a 3 años que presentaron un total de 32.601 cabezas respectivamente. Esta diferencia significativa, puede darse por la destinación de doble propósito de la ganadería bovina que se presenta en el departamento, es decir, carne y leche. Además, cabe resaltar que, el municipio de Plato presentó el 35,8% del valor total del grupo etario con predominancia en la zona para todos los años estudiados. La población predominante es un dato relevante para la ecuación de emisiones 8.3.1, por lo tanto, en la tabla 3, se consolidaron los registros, acordes con el inventario.

En la tabla 3 se destacan los municipios que presentaron valores máximos y mínimos de cabezas de ganado, para cada año de estudio, con el objeto de relacionar la cantidad de bovinos con la cantidad de emisiones generadas de CH_4.

Tabla 1 Reporte del inventario y caracterización ganadera de los municipios de Aracataca, Plato y Sabanas de San Ángel, 2016 – 2020.

Caracterización etárea	Aracataca					Plato					Sabanas de San Ángel				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
Terneras < 1 año	1.600	1.041	1.772	2.292	2.070	8.430	1.558	12.594	10.596	14.875	6.563	651	6.940	7.359	5.925
Terneros < 1 año	1.707	885	1.632	1.934	1.975	7.966	1.725	11.314	9.492	13.369	6.639	595	5.820	5.680	5.702
Hembras 1-2 año	2.030	4.332	1.617	2.014	2.064	8.048	1.516	11.111	9.698	11.418	7.367	680	5.129	5.250	5.612
Machos 1–2 años	2.030	7.621	2.174	2.792	2.433	10.609	2.335	14.758	13.245	16.831	8.018	590	5.708	7.191	7.169
Hembras 2-3 año	2.700	3.279	2.441	2.425	2.532	11.028	23.279	12.831	99.981	12.911	6.681	694	6.237	7.403	5.375
Machos 2–3 años	2.387	2.222	2.174	1.509	2.389	4.746	1.683	5.407	5.220	5.020	6.186	91	5.977	6.450	6.033
Hembras > 3 años	5.240	11.960	6.460	6.448	6.467	27.292	5.832	37.964	33.243	42.758	22.703	1.985	18.568	19.387	20.247
Machos > 3 años	420	897	536	643	639	1.748	532	2.434	2.359	2.513	1.349	95	1.560	2.005	1.982
Total	17.583	32.237	18.806	20.057	20.569	79.867	17.460	108.413	93.834	119.695	65.506	5.381	55.939	60.725	58.045

Fuente: https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.asp

Tabla 2 Reporte del inventario y caracterización ganadera de los municipios de Santa Barbara de Pinto, Sitio nuevo y Zona Bananera, 2016 – 2020.

Caracterización	Santa Barbara de Pinto					Sitio nuevo					Zona Bananera				
etárea	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
Terneras < 1 año	3.722	8.897	4.037	4.113	4.385	521	6.058	519	859	1.062	2.032	1.841	2.188	2.183	2.673
Terneros < 1 año	3.854	8.300	4.008	4.141	4.553	399	5.889	528	611	815	1.535	1.506	1.425	1.573	1.618
Hembras 1–2 años	5.363	9.600	5.486	4.426	4.747	677	6.422	433	388	654	1.472	1.517	1.539	1.291	1.594
Machos 1–2 años	9.709	12.580	7.373	4.677	8.376	1.023	6.584	480	430	671	2.320	1.739	2.001	1.929	2.542
Hembras 2–3 años	4.143	10.402	5.050	4.539	4.502	7755	77.344	11.019	11.043	961	2.000	2.221	2.268	1.628	2.007
Machos 2–3 años	4.226	4.782	4.957	3.134	4.817	253	6.128	91	118	307	2.376	2.672	1.122	1.328	1.379
Hembras > 3 años	12.260	30.509	15.582	13.845	14.508	1.647	20.217	1.839	2.132	2.950	5.920	5.407	5.610	6.073	6.317
Machos > 3 años	737	2.057	2.656	1.490	970	123	1.239	94	105	152	422	525	1.108	616	595
Total	44.014	87.127	49.149	40.365	46.858	5.398	59.881	5.003	5.686	7.572	18.077	17.428	17.261	16.621	18.725

Fuente:https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.asp

Tabla 3 Población máxima y mínima de bovinos entre 2016 y 2020 en seis municipios del departamento del Magdalena.

Años	Población	Cabezas bovinos	Municipio
2016	Mínima	5.398	Sitio nuevo
	Máxima	79.867	Plato
2017	Mínima	5.381	Sabanas de San Ángel
	Máxima	87.127	Santa Bárbara de Pinto
2018	Mínima	5.003	Sitio nuevo
	Máxima	108.413	Plato
2019	Mínima	5.686	Sitio nuevo
	Máxima	98.834	Plato
2020	Mínima	7.572	Sitio nuevo
	Máxima	119.695	Plato

8.2. Sistema de Producción Ganadera.

En los municipios de Aracataca, Plato, Santa Bárbara de Pinto, Sabanas de San Ángel, Sitionuevo y Zona Bananera, se pudo determinar que la producción ganadera es de tipo extensiva, intensiva y de doble propósito (carne y leche).

8.3. Producción Promedio de Leche y Porcentaje de Grasa Producidas.

En la siguiente tabla se evidencia una variabilidad muy pequeña en el porcentaje de grasa de la leche producida por la ganadería bovina en los municipios, a diferencia de la productividad que reporta una disminución de la cantidad de leche producida por día, esto puede darse por la mala calidad en la alimentación del ganado. Cabe resaltar que, la alimentación de estos ganados es extensiva en los municipios estudiados. En la figura 1 se representa esta variabilidad entre la

productividad láctea y el contenido graso, siendo este último una representación clara de cómo ha venido disminuyendo en el curso de los años estudiados, esto puede darse por el tipo de alimentación que obtienen en este tipo de pastoreo libre.

Tabla 4 Litros de leche promedios producidos por vaca y porcentaje de grasa, entre 2016 y 2020.

Año	**Promedio L/leche/día**	**% De Grasa**
2020	1,34	3,72
2019	1,54	3,75
2018	1,9	3,85
2017	1,9	3,75
2016	3,14	3,70

Fuente: https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx

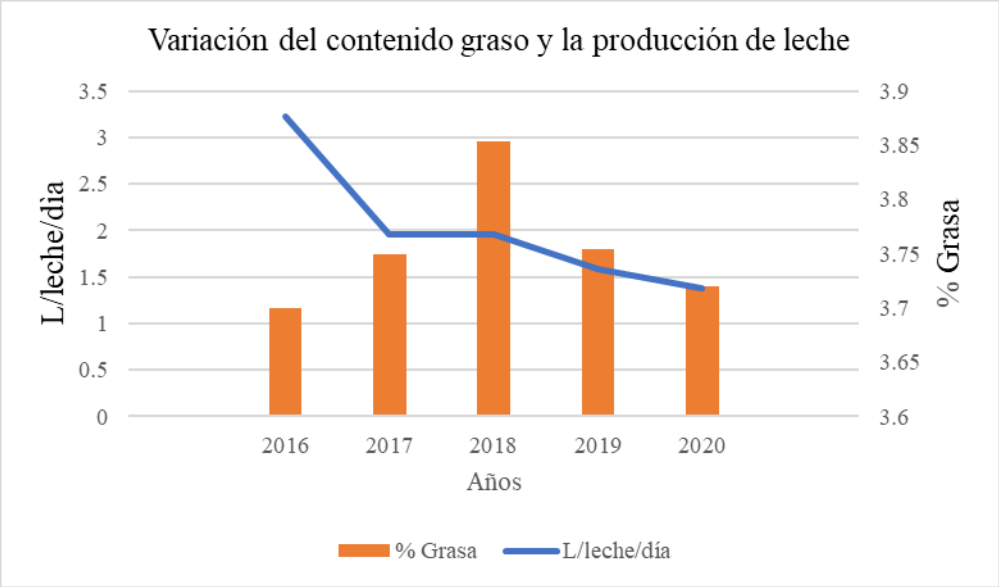


Figura 1 Variación anual del contenido graso y el porcentaje de grasa.

Fuente: https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx

8.4. Estimación de las Emisiones de Metano CH_4 por Fermentación Entérica

La emisión de metano por fermentación entérica fue variable a través de los diferentes años de estudio, donde el valor más alto se registró en el año 2020 con 12.27 (Gg CO_2 eq) en el municipio de Plato, y el más bajo en el 2018 con 0.47 (Gg CO_2 eq) en el municipio de Sitio nuevo, esto puede verse ligado a la cantidad de ganado presente en cada uno de estos municipios, cabe resaltar que, para el año 2020 los datos obtenidos sólo representan los primeros seis meses del año, por ende, su participación en la estimación no se ve reflejada en su la totalidad en ese año, sin embargo, a pesar de ser tan poco tiempo para el año mencionado, se logró realizar la estimación, dando como resultado un valor máximo para el municipio que más emisiones registró en los años estudiados, demostrando así, el potencial ganadero que se presenta en la zona. La escala de colores

en la Figura 2 representa los valores máximos y mínimos de Gg CO_2 eq obtenidos de la ganadería en cada municipio, esta representación gráfica permitió obtener una visión clara del comportamiento de las emisiones en la zona y de cómo fue variando desde el año inicial hasta el año final estudiado. Cabe resaltar que el municipio de Aracataca presentó variaciones en las emisiones estimadas manteniéndose en un rango intermedio entre el total de emisiones estimadas. Plato representó en casi todos los años un mayor rango de emisión de CH_4, esta situación está ligada al potencial ganadero del municipio. Sabanas de San Ángel presentó emisión bastante variada, Santa Bárbara de Pinto mantuvo un nivel de emisiones moderadamente alto en el transcurso de los años estudiados evidenciando el potencial ganadero del periodo estudiado. Las emisiones de metano en Sitio nuevo no representaron grandes contribuciones a diferencia de los demás municipios y la Zona Bananera representó un rango de emisiones bajo en los años estudiados.

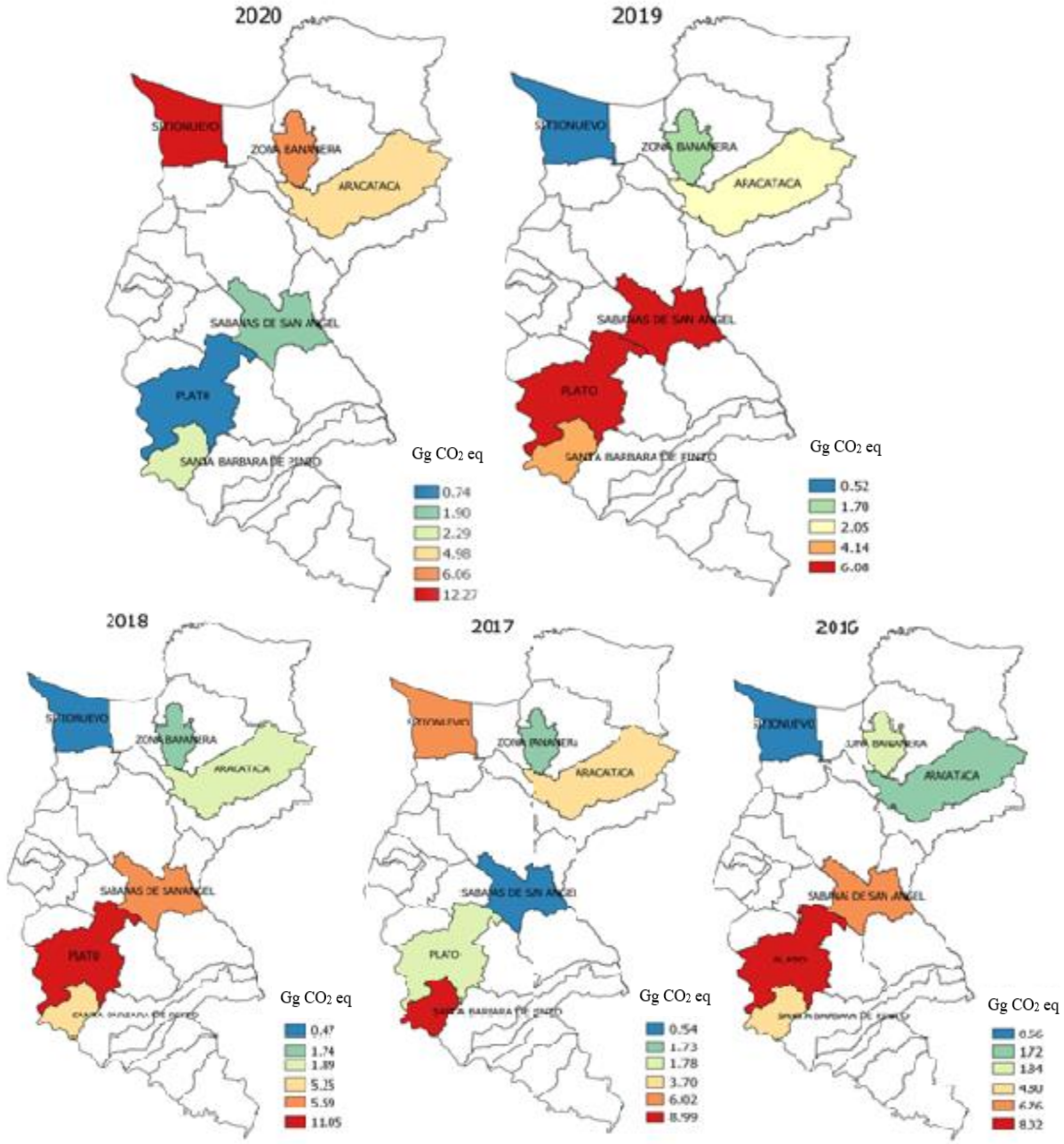


Figura 2 Estimación de CH_4 por fermentación entérica en municipios del departamento del Magdalena.

Nota: Resultados obtenidos a partir de la metodología del IPCC, 2006.

8.5. Estimación de las Emisiones Directas de CH_4 por Manejo de Estiércol

Los resultados estimados para las emisiones directas de CH_4 por manejo de estiércol están en Gg CO_2 eq, y presentaron valores máximos para los municipios, de Plato con 3.35, seguido por Santa Bárbara de Pinto con 2.44, Sabanas de San Ángel 1.83, Sitio nuevo 1.68, Aracataca 0.90 y por último Zona Bananera con 0.52.

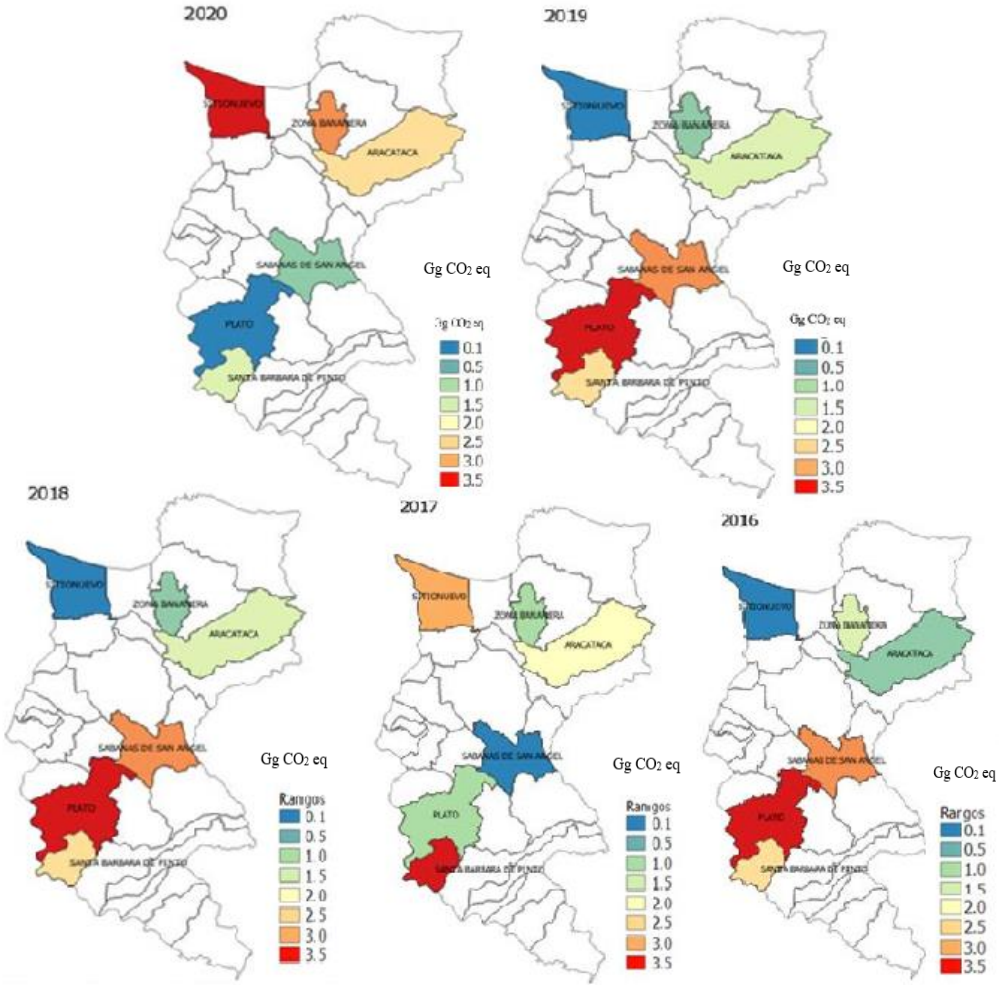


Figura 3 Emisiones directas de CH_4 por manejo del estiércol.

Nota: Resultados obtenidos a partir de la metodología del IPCC, (2006).

8.11. Estrategias de Mitigación y Compensación de las Emisiones de Metano Generadas por el Ganado Bovino en Municipios del Departamento del Magdalena

Se contemplan las siguientes estrategias que influyen de forma significativa en la reducción del metano producido por el ganado bovino:

- Manipulación nutricional: esto conlleva implementar forrajes de pastos de alta calidad en los campos donde está destinado el ganado bovino a realizar las actividades de libre pastoreo en los municipios estudiados, así como también, el uso de ácidos grasos como son los insaturados, extractos de aceites esenciales, entre otro tipo suplementos con capacidad de inhibir en los procesos metanogénicos y protozoarios del rumen.
- Aumentar el número de bovinos no rumiantes: esta estrategia involucra la digestibilidad del ganado bovino, siendo el punto de partida de estudios que involucren la manipulación genética de los microorganismos metanogénicos con el fin de reducir la producción de metano generado en el animal.
- Buenas prácticas ganaderas (BPG): esta estrategia pretende fomentar el uso de las buenas prácticas ganaderas, ya que ayudan a disminuir el impacto ambiental que genera esta actividad, así como el manejo de los residuos sólidos que puedan afectar la alimentación del ganado bovino, el manejo adecuado de afluentes y por último tener presentes la calidad de las fuentes hídricas para mantener el bienestar del ganado bovino.

9. Discusión

Con las figuras 4 y 5, se pudo establecer que las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica son en promedio del 52% para el ganado bovino macho y 48% para el ganado bovino hembra, mientras que, las emisiones generadas por manejo de estiércol, los bovinos macho están en un rango del 67% y 33% en las hembras, respectivamente. Se observa que el ganado bovino macho emite más emisión de CH_4 por fermentación entérico y emisiones directas por gestión del estiércol, entre el periodo evaluado.



Figura 4 Porcentaje de metano por fermentación entérica estimado según el sexo.

Nota: Resultados obtenidos a partir de la metodología del IPCC, (2006).

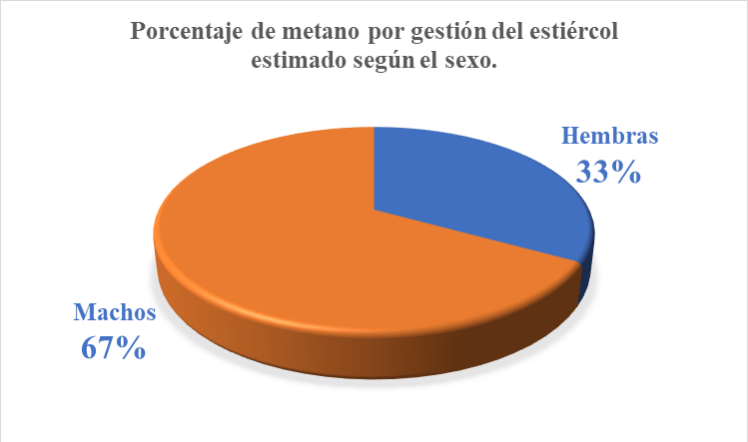


Figura 5 Emisiones de metano por gestión del estiércol estimadas según el sexo.

Nota: Resultados obtenidos a partir de la metodología del IPCC, (2006).

Esta variación obtenida a partir de la aplicación del Nivel 2 nos permite inferir que existe la necesidad de introducir mejoras en los factores que controlan las variaciones del Y_m, ya que estos no están incluidos en la metodología del nivel 2, los factores que potencialmente afectan el Y_m son los requerimientos en el consumo de alimentos, la tensión producida por el calor y el frío sobre los requerimientos de ingesta y de mantenimiento, las limitaciones en la composición de la dieta impuestas a la ingesta, la ingesta de materia seca de la dieta en cuanto a su relación con el peso corporal en pie, la composición química de la dieta, los compuestos vegetales antimicrobianos y la variación de la población microbiana dentro del tracto digestivo.

La mejora en el factor Y_m (Porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano), utilizado para hallar el factor de emisión del CH_4 por fermentación entérica de cada una de las categorías, coinciden con los resultados obtenidos de varios autores citados en este estudio como Cherri et al. (2009), Benauda et al. (2017), Garcia et al. (2018), Thorpe (2009) y Hansen et

al. (2000), el mayor porcentaje de metano entérico emitido se da por las características que tiene la materia seca que digiere el bovino, el clima promedio, es decir, entre mejor sea el componente energético de la ingesta, mayor será la producción de metano entérico y metano por manejo de estiércol, siendo las variaciones en la producción una característica de la calidad alimentaria del rumen.

Meyer (2015) concluye que estas emisiones de metano generadas por el ganado bovino generan un efecto considerablemente degenerativo para el calentamiento global siendo esta una causa directa de la disminución de la capa de ozono, por el cual, se propone implementar técnicas alimenticias en la producción bovina acorde a las condiciones de la región caribe con el objetivo de mejorar las condiciones fermentativas en el ganado bovino y a su vez incrementar las condiciones productivas con menores emisiones de metano por fermentación entérica.

Los valores de emisiones de metano generados por la fermentación entérica en 29 de 32 departamentos reportados en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero INGEI de Colombia (2012), son considerablemente mayores a los generados por el manejo de estiércol, manteniendo un promedio de emisión anual de 744,35 Gg CO_2 eq y un total durante el periodo de estudio de 21.586,38 Gg CO_2 eq, respectivamente 1.059,93 Gg CO_2 eq para el departamento del Magdalena y 189,18 Gg CO_2 eq para los municipios estudiados en el periodo de 2016 y 2020, teniendo estos datos como referencia para una comparación a nivel nacional como se muestra en la tabla 5 y figura 6.

Tabla 1 Contribución de CH_4 por fermentación entérica a nivel nacional, departamental y municipal

Año	Emisiones de CH_4 por fermentación entérica en Gg CO_2 eq	
2012	Colombia	21.586,38
	Departamental	1.059,93
2016 - 2020	Municipios	189,18

Fuente: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf

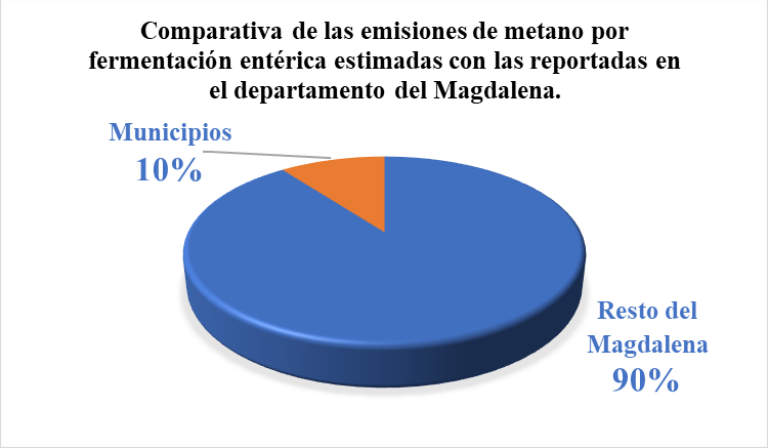


Figura 6 Comparativa de las emisiones de metano por fermentación entérica estimadas con las reportadas en el departamento del Magdalena.

Fuente: https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx

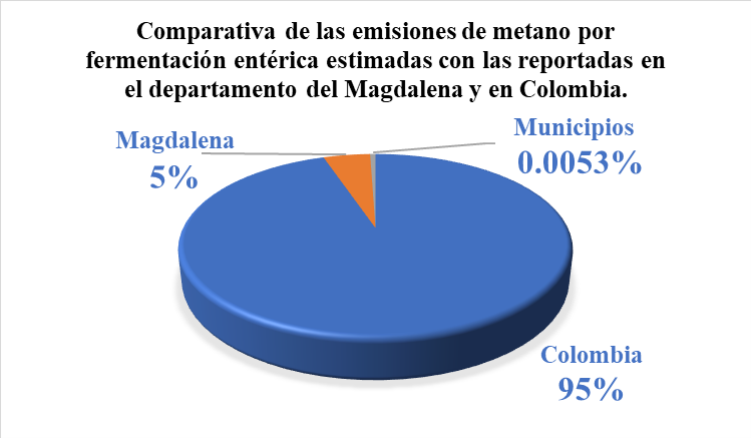


Figura 7 Comparativa de las emisiones de metano por fermentación entérica estimadas con las reportadas en el departamento del Magdalena y en Colombia.

Fuente: https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx

Mientras que las emisiones de metano generadas por el manejo de estiércol apenas alcanzaron una emisión anual de 426,54 Gg CO_2 eq para sólo seis (6) departamentos reportados en el inventario nacional de emisiones de Gases de Efecto invernadero GEI de Colombia (2012), el departamento del Magdalena con 73,40 Gg CO_2 eq respectivamente y el resultado de los municipios calculados en esta investigación fue de 38,11 Gg CO_2 eq como se presenta a continuación en la tabla 6 y figura 8.

Tabla 2 Contribución de CH_4 por gestión del estiércol nivel nacional, departamental y municipal

Año	Emisiones directas de CH_4 por gestión del estiércol en Gg CO_2 eq	
2012	Nacional	426,54
	Departamental	73,40
2016 - 2020	Municipios	38,11

Fuente: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf

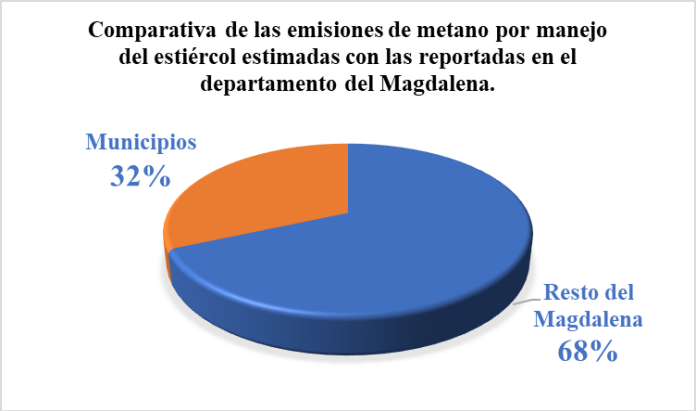


Figura 8 Comparativa de las emisiones de metano por manejo del estiércol estimadas con las reportadas en el departamento del Magdalena.

Fuente: https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx

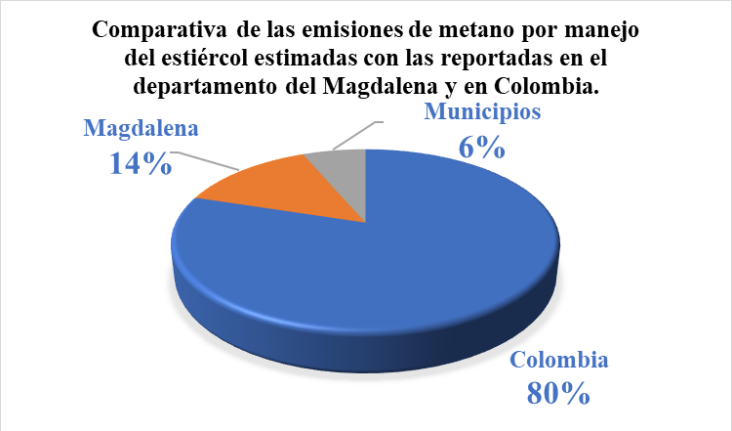


Figura 9 Comparativa de las emisiones de metano por manejo del estiércol estimadas con las reportadas en el departamento del Magdalena y en Colombia.

Fuente: https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx

Según el inventario nacional de GEI en Colombia las emisiones de metano del sector pecuario en el 2012 representaron el 26% siendo la principal causa de emisiones la fermentación entérica con una participación del 36% de este total, las emisiones digestivas del ganado de doble propósito. Por otro lado, Thorpe (2009) reporta que las emisiones de metano entérico para el ganado bovino en Brasil con una población de 127,7 millones cabezas de ganado respectivamente para el año 1984 de 6,90 Tg de CH_4 año, y de 192 millones cabezas de ganado para el año 2004 con un total y 10,37 Tg de CH_4 año, utilizando los valores predeterminados del Nivel 1 del Panel Intergubermental para el Cambio Climático IPCC, 2004.

10. Conclusiones

1. Las emisiones de metano derivadas de la ganadería bovina en seis municipios del departamento del Magdalena entre el 2016 y 2020 fueron de 227,29 Gg CO_2 eq respectivamente.

2. Las emisiones de metano por fermentación entérica fueron de 189,18 Gg CO_2 eq, siendo los municipios de Plato, Santa Bárbara de Pinto y Sabanas de San Ángel los mayores aportantes, mientras que Sitionuevo, Zona Bananera y Aracataca los menores.

3. Las emisiones de metano por manejo de estiércol fueron de 38,11 Gg CO_2 eq, siendo los municipios de Plato, Santa Bárbara de Pinto y Sabanas de San Ángel los mayores aportantes y Sitionuevo, Zona Bananera y Aracataca los menores. 2020 y 2018 fueron los años con mayores emisiones en el departamento.

4. El aumento en las emisiones directas de metano por fermentación entérica para los años 2016 y 2020 en los municipios estudiados corresponden a un 19,2% respectivamente, constituyendo un escenario importante en los efectos generados al Cambio Climático.

5. Se evidenció que el ganado no lechero genera una cantidad superior de gases de metano (CH_4), frente a las emisiones del ganado lechero, tanto para la fermentación entérica como para el manejo del estiércol

6. La cantidad de ganado bovino permite inferir que existe un aumento de las emisiones directas de metano por fermentación entérica y por manejo de estiércol, a causa del incremento de la población de ganado bovino.

7. Las alternativas que ayudan a reducir las emisiones directas de metano por fermentación entérica deberían de ser una acción concomitante en todo estudio y adaptación tecnológica que vayan encaminadas a la mejora de la nutrición del ganado bovino, siendo este un factor importante en la reducción de las emisiones de GEI.

11. Referencias

Aardenne, J., Dentener, F., Oliver, J., Goldewijk, C., & Lelieveld, J. (2001). A 1 degrees x 1 degrees resolution data set of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890-1990. *Global Biogeochemical Cycles - GLOBAL BIOGEOCHEM CYCLE*, *15*, 909-928. https://doi.org/10.1029/2000GB001265

Ballesteros, H. O. B., & Aristizabal, G. E. L. (2007). *Gases de efecto invernadero y el cambio climatico*. 102.

Bárbaro, N., Gere, J., Gratton, R., Rubio, R., & Williams, K. (2008). First measurements of methane emitted by grazing cattle of the Argentinean beef system. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *51*(2), 209-219. https://doi.org/10.1080/00288230809510449

Benaouda, M., Ronquillo, M. G., & Molina, L. T. (2017). *Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina* Status of research on enteric methane emissions and mitigation strategies in Latin America*. *8*, 10.

Bualo, R., Gere, J., Pierini, A., Arias, R., Ortega, F., Wulf, A., & Berra, G. (2014). *Determinación y comparación de factores de emisión de metano entérico para vacas de cría en condiciones de pastoreo con dos dietas diferentes. In: Proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica*.

Castelán, O., Ku, J., & Estrada, J. (2014). *Modeling methane emissions and methane inventories for cattle production systems in Mexico*. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4942929

Cerri, C. C., Maia, S. M. F., Galdos, M. V., Cerri, C. E. P., Feigl, B. J., & Bernoux, M. (2009). Brazilian greenhouse gas emissions: The importance of agriculture and livestock. *Scientia Agricola*, 66(6), 831-843. https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600017

Chhabra, A., Manjunath, K. R., Panigrahy, S., & Parihar, J. S. (2013). Greenhouse gas emissions from Indian livestock. *Climatic Change*, *117*(1-2), 329-344. https://doi.org/10.1007/s10584-012-0556-8

CONPES, Pub. L. No. 3700, 75 (2011). https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3700.pdf

Crutzen, P. J., Sanhueza, E., & Brenninkmeijer, C. A. M. (2006). *Methane production from mixed tropical savanna and forest vegetation in Venezuela* [Preprint]. https://doi.org/10.5194/acpd-6-3093-2006

DNP, & GGGI. (2016). *Crecimiento verde para Colombia*. 72. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/diagnostico/Documento%20Final%20Crecimiento%20verde%20para%20Colombia.pdf

Dong, H., Mangino, J., A. McAllister, T., L. Hatfield, J., E. Johnson, D., R. Lassey, K., Aparecida de Lima, M., & Romanovskaya, A. (2006). *Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol* (p. 91). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf

Eckard, R. J., Grainger, C., & de Klein, C. A. M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*, *130*(1), 47-56. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010

Ley 164, Pub. L. No. 164, 19 (1994). http://www.ideam.gov.co/documents/24024/26915/C_Users_JGomez_Documents_LEY+164+DE+1994.pdf/85833e1c-6ceb-4554-bce5-21e433329019

Energy Information Administration. (2011). *EIA - Greenhouse Gas Emissions—Methane Emissions*. https://www.eia.gov/environment/emissions/ghg_report/ghg_methane.php

García, F., Brunrtti, M. A., Lucini, E. I., Scorcione Turcato, M. C., Moreno, M. V., Frossasco, G. P., Colombatto, D., Martínez, M. J., & Martínez Ferrer, J. (2018). *Aceites esenciales de especies nativas de Argentina reducen la producción de metano in vitro*. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6480547

Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*. 153.

Gonçalves, de Faria. W., Gonçalves, L. C., Gonzara, J. D., & Nogueira, C. J. C. (2014). *Emisiones de metano en ovinos alimentados con ensilados de Bermuda Tifton 85 en diferentes edades de corte. In: Proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica.*

González, N. (2016). *Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano*. 200.

Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lacis, A., & Oinas, V. (2000). *Global warming in the twenty-first century: An alternative scenario*. 6.

Hernandez, J., Medrano, J. H., & Corona, L. (2018). *(PDF) EL METANO Y LA GANADERÍA BOVINA EN MÉXICO: ¿PARTE DE LA SOLUCIÓN Y NO DEL PROBLEMA?* https://www.researchgate.net/publication/323946441_EL_METANO_Y_LA_GANADERIA_BOVINA_EN_MEXICO_PARTE_DE_LA_SOLUCION_Y_NO_DEL_PROBLEMA

Herrera, D., Hube, S., Morales, J., Ungerfeld, E., & Muñoz, C. (2014). *Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre la respuesta productiva en vacas lecheras a pastoreo primaveral con alta disponibilidad de pradera In: Proceeding of primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de*

Latinoamérica. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2009000300003

Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H. P. S., Adesogan, A. T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P. J., Henderson, B., & Tricarico, J. M. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, *91*(11), 5045-5069. https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583

IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, o, Instituto Alexander von, Humboldt, , Parques Nacionales Naturales, de Colombia, MADS, & DNP. (2012). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la Región Capital* (p. 124). http://www.ideam.gov.co/documents/40860/609198/INFORME+TECNICO_Gases+Efecto+Invernadero.pdf/e9f9a51e-4350-4914-944c-d767fefb0c61?version=1.2

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, FMAM, & Bogotá D.C.,. (2016). *Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático* (p. 73). https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/cop22/IDEAM_TCNCC_INGEI_WEB.pdf

IPCC (p. 18). (2006). Instituto para las Estrategias Ambientales Globales. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf

Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, *73*(8), 2483-2492. https://doi.org/10.2527/1995.7382483x

Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Cordero, B., & Zimmerman, P. (1994). *Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique | Environmental Science & Technology*. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es00051a025

Juliarena, P. (2013). *Gases de efecto invernadero. ¿Por qué estudiar el metano? | UNICEN* [Científica]. Universidad Nacional del Centro de l Provincia de Buenos Aires.

https://www.unicen.edu.ar/content/gases-de-efecto-invernadero-%C2%BFpor-qu%C3%A9-estudiar-el-metano

Larios, A. D., Kaur Brar, S., Avalos Ramírez, A., Godbout, S., Sandoval-Salas, F., & Palacios, J. H. (2016). Challenges in the measurement of emissions of nitrous oxide and methane from livestock sector. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *15*(2), 285-297. https://doi.org/10.1007/s11157-016-9394-x

Machado, F. S., Rodríguez, N. M., Gonçalves, L. C., Ribas, M. N., Santos, J. A., & Ribeiro, L. G. (2011). *Emissão de metano entérico por ovinos alimentados com silagens de sorgo* (p. 3). Reubiao Anual da Sociedade Brasileña de Zootecnia. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40102/1/Emissao-metano.pdf

Mapfumo, L., Grobler, S. M., Mupangwa, J. F., Scholtz, M. M., & Muchenje, V. (2018). Enteric methane output from selected herds of beef cattle raised under extensive arid rangelands. *Pastoralism*, *8*(1), 15. https://doi.org/10.1186/s13570-018-0121-9

McGinn, S. M., Chen, D., Z, L., Hill, J., Beauchemin, K., & Denmead, O. (2008). *(PDF) Methane emissions from feedlot cattle in Australia and Canada*. https://www.researchgate.net/publication/248892129_Methane_emissions_from_feedlot_cattle_in_Australia_and_Canada

Mendoza, R. (2015). *Revista Envío—"Hay que ampliar la mirada para comprender lo que sucede en la Costa Caribe"*. https://www.envio.org.ni/articulo/5089

México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología (México). (2010). *México: Cuarta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales : Instituto Nacional de Ecología.

Meyer, L., Brinkman, S., van Kesteren, L., Leprince-Ringuet, N., & van Boxmeer, F. (2015). *Technical Support Unit for the Synthesis Report*. *5*, 169.

SISCLIMA, Pub. L. No. 298, 11 (2016). http://www.cambioclimatico.gov.co/directorio-del-cambio-climatico

Moss, A. R., Jouany, J.-P., & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, *49*(3), 231-253. https://doi.org/10.1051/animres:2000119

Muñoz, C., Hube, S., Morales, J. M., Yan, T., & Ungerfeld, E. M. (2015). Effects of concentrate supplementation on enteric methane emissions and milk production of grazing dairy cows. *Livestock Science*, *175*, 37-46. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.001

Notimex. (2013). *Diseña UADY cámaras para medir gas metano generado por rumiantes*. https://www.20minutos.com.mx/noticia/b52408/disena-uady-camaras-para-medir-gas-metano-generado-por-rumiantes/

Pachauri, R. K., Mayer, L., & Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.). (2015). *Climate change 2014: Synthesis report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

PNACC, 12 (2014). https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade3c6955113.pdf

Primavesi, O., Frighetto, R. T. S., Pedreira, M. dos S., Lima, M. A. de, Berchielli, T. T., & Barbosa, P. F. (2004). Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *39*(3), 277-283. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011

PUC. (2017). *Emisión de dióxido de carbono-equivalente* [Científica]. Pontificia Universidad Católica de Chile. https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/recursos/glosario/emision-de-dioxido-de-carbono-equivalente

Ramírez, C. H. (2018). *ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO POR FERMENTACION ENTERICA DEL GANADO BOVINO EN LA HACIENDA GUATIQUILA UBICADA EN LA VEREDA VERACRUZ, CUMARAL-META*. 76.

Rebollar, P. G., & Estellés, F. (2008). *ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE LOS RUMIANTES EN ESPAÑA: EL FACTOR DE CONVERSIÓN DE METANO*. *57*, 13.

Sirohi, S., Michaelowa, A., & Sirohi, S. (2005). *Opciones de mitigación para las emisiones de metano entérico de los animales lecheros: Una evaluación para posibles proyectos MDL en India | SpringerLink*. https://link-springer-com.biblioteca.unimagdalena.edu.co/article/10.1007/s11027-005-9012-7

Soliva, C. R., & Hess, H. D. (2007). Measuring Methane Emission of Ruminants by In Vitro and In Vivo Techniques. En H. P. S. Makkar & P. E. Vercoe (Eds.), *Measuring Methane Production From Ruminants* (pp. 15-31). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6133-2_2

Steinfeld, H. (2009). *La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones*. FAO.

Thorpe, A. (2009a). Enteric fermentation and ruminant eructation: The role (and control?) of methane in the climate change debate. *Climatic Change*, *93*(3-4), 407-431. https://doi.org/10.1007/s10584-008-9506-x

Thorpe, A. (2009b). Enteric fermentation and ruminant eructation: The role (and control?) of methane in the climate change debate. *Climatic Change*, *93*(3-4), 407-431. https://doi.org/10.1007/s10584-008-9506-x

Van Soest, P. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2.ª ed.). www.jstor.org/stable/10.7591/j.ctv5rf668

Wheeler, D., Ledgard, S., & DeKlein, C. (2008). Using the OVERSEER nutrient budget model to estimate on-farm greenhouse gas emissions. *Australian Journal of Experimental Agriculture - AUST J EXP AGR*, *48*. https://doi.org/10.1071/EA07250

Zhang, B., Li, J., & Peng, B. (2014). Multi-regional input-output analysis for China's regional CH4 emissions. *Frontiers of Earth Science*, *8*(1), 163-180. https://doi.org/10.1007/s11707-014-0408-0

12. Glosario de Términos

Aminoácidos aa: son sustancias químicas orgánica que constituye el componente básico de las proteínas, funciona como transporte óptimo de nutrientes y almacenamiento de estas.

Ácidos grasos volátiles AGV: los ácidos grasos de cadena corta o AGV, son un subgrupo de ácidos grasos con cadenas carbonadas de menos de seis carbonos. Su volatilidad se debe a la corta cadena carbonada que poseen en contraste con los ácidos grasos de cadena larga que son sólidos a temperatura ambiente.

Gases de efecto invernadero GEI: gases que se liberan a la atmosfera como producto de procesos naturales o actividades humanas.

Cambio climático CC: variación en el largo plazo de las condiciones promedio del clima a nivel global, originada directa o indirectamente por la actividad humana.

Calentamiento global CG: incremento gradual de la temperatura superficial del planeta como consecuencia de la capacidad radiante de las emisiones antropogénicas de gases.

CMNUCC: la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático tiene como objetivo general lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y establece que todas las partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo.

Digestibilidad aparente DA: proporción del alimento consumido que es absorbida por el tracto digestivo y que no es eliminada através de las excretas.

Dióxido de carbono CO_2: es un gas incoloro y no toxico en condiciones estándar, es la causa principal del gas de efecto invernadero que afecta el balance radioactivo de la tierra. La acumulación de CO_2 y metano en la atmósfera se debe a la imprevisión de los gobernantes.

Fluorocarbonos halogenados HCFCs: son compuestos químicos que contienen enlaces de carbono y fluor, tienden a romper muy lentamente en el medio ambiente por tanto muchos se consideran contaminantes orgánicos persistentes.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua MMAyA: en el marco de del Plan de Desarrollo y Social promueve el desarrollo equitativo reciproco y en armonía con la Madre Tierra mediante la gestión integral del desarrollo hídrico, al acceso al agua potable y saneamiento, el riego para la seguridad alimentaria**.**

Hidrofluorocarbonos HFC: es un gas de efecto invernadero tiene un potencial de calentamiento global 10 veces más alto que el del CO_2, son muy comunes y utilizados alrededor del mundo sobre todo en sistemas de aire acondicionado y de refrigeración, aunque no perdura mucho en la atmósfera, su contribución al cambio climático es significativa.

Panel Intergubernamental del Cambio Climático IPCC: es la organización intergubernamental del Cambio Climático conocido por el acrónimo en inglés IPCC es una organización internacional construido a petición de los gobiernos miembros.

Modelo: representación de la realidad que describe sus elementos. Puede ser de naturaleza física, matemática o verbal.

Metano CH_4: el metano es de los gases principales del efecto invernadero, su efecto negativo sobre el calentamiento del planeta es 21 veces mayor que el del CO_2.

Sistema: suma de componentes que interactúan entre sí, pero que cada uno de ellos funciona como una sola entidad. Por ejemplo, un sistema de producción lechera involucra pasturas, maquinaria agrícola, animales y trabajo humano. Todos tienen una función y dinámica propias, pero al interactuar logran producir leche.

Simulación: acción de imitar el comportamiento de un sistema utilizando un modelo que funciona con operaciones matemáticas y lógicas.

Sostenibilidad: cualidad de satisfacer una necesidad presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer esa misma necesidad.