

**Medición de la producción de gas metano en vacas en producción bajo diferentes rutinas
etológicas diarias en la granja experimental CORHUILA, Sede Rivera, Huila**

Sully Fabiana Moreno Melo

María Camila Vega Fierro

Director

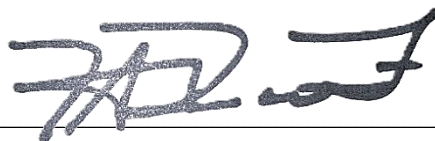
Wilmer Andrés Ramos Embus

Corporación Universitaria del Huila, CORHUILA

Facultad de Medicina Veterinaria y Ciencias Afines

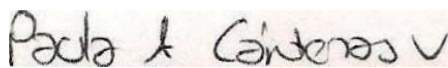
Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Nota de Aceptación



Wilmer Andrés Ramos Embus

Nombre director de Trabajo de Grado



Paula Andrea Cárdenas Villarraga

Jurado



Juan Sebastián Machado Repizo

Jurado

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del problema	13
Hipótesis	14
Justificación	15
Objetivos	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	17
Marco teórico	18
Calentamiento global	18
Los GEI son:	18
Sistema digestivo de los rumiantes.....	19
Proceso de rumia y producción de metano	20
Métodos de medición de gas metano.....	22
Cámara respiratoria.....	22
Sistemas portátiles	22
Métodos invasivos	23
Dispositivos laser.....	23
Antecedentes	24
Metodología	26
Ubicación.....	26
Población y muestra.....	27

Proceso de investigación	29
Procedimiento de instalación de catéter ruminal	29
Procedimiento de captura de gas metano	31
Pistola láser de medición de metano.....	32
Análisis de resultados	35
Consideraciones éticas	35
Resultados	36
Discusión.....	40
Conclusiones	45
Bibliografía	46

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de la Granja Experimental de la CORHUILA Rivera, Huila.....	26
Figura 2. Instalación y fijación de catéter	29
Figura 3. Cánula ruminal etapa final de colecta de gas	30
Figura 4. Pistola láser para medición de metano	33
Figura 5. Toma de muestra con pistola láser de metano con un método no invasivo	33
Figura 6. Lectura de gas metano bajo condiciones controladas en el laboratorio de biotecnología sanitaria.	34
Figura 7. Producción de gas metano de un bovino contenido en un brete en tres momentos diferentes durante seis horas	36
Figura 8. Producción de gas metano de un bovino encerrado en un corral con oferta de agua y alimento en cuatro momentos diferentes durante 24 horas.....	37
Figura 9. Valores de eliminación de gas metano en pastoreo	38
Figura 10. Promedio de eliminación de gas metano en bovinos.....	39

Lista de Tablas

Tabla 1. Aporte nutricional del ensilaje de sorgo forrajero (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench)	27
Tabla 2. Aporte nutricional de la sal mineralizada (Calcileche 12 de Somex®).....	28
Tabla 3. Aporte nutricional del concentrado para vaca en producción (Renta leche)	28
Tabla 4. Descripción de la pistola láser para medición de metano modelo S350AS.....	32
Tabla 5. Valores de eliminación de gas metano en bovino #1.....	36
Tabla 6. Valores de eliminación de gas metano en bovino # 2.....	37
Tabla 7. Valores de eliminación de gas metano en bovino# 3.....	38
Tabla 8. Resultados en 24 horas de las mediciones	38

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a Dios por brindarnos la fortaleza, la salud y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa académica, permitiéndonos superar los desafíos presentados durante el desarrollo de este trabajo de grado; expresamos un agradecimiento especial a nuestra familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación permanente, siendo un pilar fundamental para el logro de esta meta académica y personal.

De manera especial, manifestamos gratitud al docente asesor Wilmer Andrés Ramos Embus, por su orientación profesional, acompañamiento constante, compromiso y aportes académicos durante cada una de las etapas del desarrollo de esta investigación, contribuyendo a la consolidación y fortalecimiento del presente trabajo.

Finalmente, agradecemos al personal de la Granja Experimental de la CORHUILA, sede Rivera, por su colaboración, disposición y apoyo logístico, así como por facilitar el acceso a los animales y demás recursos necesarios para la ejecución del muestreo y las actividades de campo requeridas.

Resumen

El trabajo de grado se enfoca en la medición de emisiones de metano generadas por bovinos bajo diferentes rutinas etológicas, este estudio preliminar responde a la preocupación global por el cambio climático, a partir de mediciones de metano, utilizando como herramienta un detector de Gas Metano Portátil con Sensor Láser (HENAN ZHONGAN ELECTRONIC), ya que es considerado un potente gas con acción negativa al medio ambiente, siendo este participe del efecto invernadero sobre el planeta y producido durante la digestión fisiológica de los rumiantes. Las mediciones se realizaron en tres hembras bovinas en producción; el primer ejemplar fue evaluado durante seis horas continuas en ayuno con solo disposición de agua, el segundo fue evaluado en el corral durante 12 horas de medición con suministro de alimento de su consumo normal diario y agua a voluntad y el tercer ejemplar fue evaluado en pastoreo según manejo de la granja. Los dos primeros bovinos, se les realizó medición de gases mediante una cánula intraruminal conectada a un globo con el fin de capturar el gas metano directamente del rumen, al tercer ejemplar se le realizó un muestreo no invasivo mediante un detector de gas metano portátil con sensor láser a una distancia que osciló entre 50 cm a 100 cm del animal aproximadamente. Obteniendo como resultado que el ejemplar de 24 horas presenta una mayor cantidad de eliminación de gas metano.

Palabras clave: Cambio climático, metano, bovinos, gases efecto invernadero.

Abstract

This undergraduate thesis focuses on measuring methane emissions generated by cattle under different ethological routines. This preliminary study addresses the global concern about climate change by measuring methane emissions using a Portable Methane Gas Detector with Laser Sensor (HENAN ZHONGAN ELECTRONIC). Methane is considered a potent gas with a negative impact on the environment, contributing to the greenhouse effect. This gas is produced during the physiological digestion of ruminants. Measurements were taken with three lactating female cattle. The first animal was evaluated for six continuous hours while fasting, with only water available. The second was evaluated in the feedlot for 12 hours with its normal daily feed intake and ad libitum water. The third animal was evaluated while grazing according to the farm's management practices. Gas measurements were taken from the first two cattle using an intraruminal cannula connected to a balloon to capture methane gas directly from the rumen. The third cattle underwent non-invasive sampling using a portable methane gas detector with a laser sensor at a distance of approximately 50 to 100 cm from the animal. The results showed that the 24-hour sample exhibited the highest methane gas excretion.

Keywords: Climate change, methane, cattle, greenhouse gases.

Introducción

La ganadería constituye una actividad económica de gran relevancia en el sector agropecuario. En el municipio de Neiva (Huila), representa el 8,7 % de la producción agropecuaria; a nivel nacional, en Colombia, alcanza el 69,69 %, y a nivel mundial se estima que participa con aproximadamente el 40 % del sector agropecuario. No obstante, su impacto ambiental es significativo, ya que se le atribuye cerca del 18 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). (Neiva, s.f.)

En Colombia, los principales sistemas de producción ganadera se clasifican en ganadería extensiva, semi-intensiva, intensiva y sistemas silvopastoriles, de acuerdo con entidades como la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2002). La ganadería extensiva es el sistema predominante en el país, con una participación aproximada entre el 60 % y el 70 % del total nacional. Se caracteriza por el uso de grandes extensiones de tierra, baja carga animal y escaso manejo técnico especializado, lo que puede generar presiones sobre los recursos naturales.

Por su parte, la ganadería semi-intensiva representa entre el 20 % y el 30 % de los sistemas productivos y combina prácticas ganaderas tradicionales con cierto nivel de tecnificación, especialmente en manejo sanitario y alimentación suplementaria. La ganadería intensiva, que corresponde aproximadamente al 5 %–10 % del sistema nacional, se basa en el confinamiento animal, alimentación controlada y alta tecnificación, con el objetivo de maximizar la eficiencia productiva. (Fedegan, 2002) (DANE, 2002)

Finalmente, los sistemas silvopastoriles también denominados agroforestales, integran árboles, arbustos y pasturas dentro del sistema productivo, favoreciendo la sostenibilidad

ambiental, la regeneración del suelo y el bienestar animal. Aunque su implementación ha aumentado en los últimos años, aún representan un porcentaje menor en comparación con la ganadería extensiva tradicional (Aponte & Rodelo, 2019).

En la actualidad, a nivel internacional, el medio ambiente viene sufriendo un deterioro por el aumento de gases efecto invernadero entre los cuales los más relevantes son: el dióxido de carbono (CO_2) que representa el 80,6% de emisiones, el metano (CH_4) con un 12,1% y el óxido nitroso (N_2O) con 5,3%, estos son generados por una gran variedad de fuentes: El CO_2 su principal fuente de producción viene del consumo de combustibles fósiles como el petróleo, carbón, o la fabricación de cemento; por otro lado, el CH_4 proviene de varias fuentes biológicas, entre ellas tenemos la fermentación entérica propia de los rumiantes, la disposición de residuos sólidos indebidamente y la realización de tratamientos anaerobios de aguas residuales; finalmente tenemos el N_2O , que tiene como origen las emisiones que generan los suelos en la agricultura. (Benavides & León, 2007) (europeo, 2024)

A nivel mundial, según un estudio realizado por (Benavides & León, 2007), “Los rumiantes son los productores del 37 % del metano que se encuentra en la atmósfera”, en Colombia se determinó que 14,7 % de los gases efecto invernadero (GEI) son emitidos por los bovinos, (Palencia, et al, 2021) siendo los departamentos de Antioquia con un (10.63%), Córdoba (9,33%), Meta (7,94%), Casanare (7,86%) y Caquetá (7,76%), los mayores tenedores de cabezas de ganado bovino y consecuentemente generadores de este gas. (ICA 2025)

Según Carmona, Bolívar, & Giraldo, (2005) “Otros contribuyentes de gas metano de manera significativa son los pantanos naturales (21%), los cultivos de arroz (20%), pérdidas por combustibles de hidrocarburos (14%), combustión de biomasa (10%) y rellenos sanitarios (7%)”

El propósito de este proyecto es determinar el nivel de emisión de metano (CH_4) producido por vacas en producción sometidas a diferentes condiciones de manejo, mediante la implementación de dos métodos de medición que no alteran significativamente su comportamiento ni la producción de los ejemplares evaluados.

Planteamiento del problema

La ganadería bovina es una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). El metano (CH_4), generado principalmente durante la fermentación entérica en el sistema digestivo de los rumiantes, es uno de los gases más relevantes debido a su alto impacto ambiental; según la Coalición Clima y Aire (Aire, 2021), este gas posee un efecto de calentamiento 86 veces más fuerte que el CO_2 en un horizonte corto, mientras que el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) en su informe señala que su potencial de calentamiento global es 28 veces mayor en un lapso de 100 años. Esto convierte al metano en un factor crítico dentro de los GEI, acelerando directamente el cambio climático global.

A pesar de esta realidad, los pocos estudios e investigaciones actuales abordan estrategias de mitigación enfocándose casi exclusivamente en la alimentación y la genética. Esto ha generado la ausencia de estudios que correlacionen el comportamiento natural y las rutinas etológicas diarias del animal con la variabilidad en la producción de estos gases.

Este trabajo se propone analizar muestras de emisión tomando en cuenta las actividades conductuales del ganado, mostrando así datos e información sobre cómo el estilo de vida del animal influye en su huella de carbono.

Como consecuencia, se limita la comprensión real de los factores conductuales del animal que influyen en la emisión de gas metano, lo que impide desarrollar estrategias de mitigación más efectivas. Esta falta de información dificulta la implementación de sistemas productivos que, además de mejorar el rendimiento, promuevan el bienestar animal y reduzcan el impacto ambiental.

¿Cuál es la relación existente entre las rutinas etológicas diarias de los bovinos y sus niveles de emisión de gas metano (CH_4)?

Hipótesis

El tipo de manejo ofrecido a los bovinos puede influir significativamente en la cantidad de gas metano emitido dependiendo de la rutina etiológica dada a los bovinos.

Justificación

En los sistemas ganaderos, la fermentación entérica es la principal fuente de este gas, producto de la actividad metabólica de los microorganismos ruminales durante la descomposición de alimentos fibrosos (Gerber et al., 2013). No obstante, a pesar de su importancia ambiental, aún existe una limitada disponibilidad de información detallada sobre las variaciones reales de estas emisiones en función de las condiciones de manejo y los entornos etológicos del animal.

La mayoría de investigaciones se han concentrado en la evaluación de dietas, aditivos inhibidores, estrategias de alimentación y mejoramiento genético como métodos para reducir la producción de CH₄ (Beauchemin, et al, 2020). Sin embargo, se reconoce un vacío en la literatura respecto al efecto de los comportamientos naturales del animal, los niveles de confinamiento y la rutina diaria sobre las emisiones reales de metano, aspectos que pueden modificar la fisiología del rumen, el estrés animal y el tiempo efectivo de ingestión (Hernández, et al, 2019).

La importancia de esta investigación es aportar evidencia científica para proporcionar una comprensión precisa de como el manejo diario y el entorno pueden modificar la emisión de GEI, garantizando datos confiables mediante métodos invasivos y no invasivos, respetando la fisiología del rumen. Las ventajas de este trabajo no es solo buscar la generación de información, si no contribuir al bienestar animal y servir como base para el desarrollo de estrategias que permitan reducir el impacto ambiental de la ganadería.

En Colombia, la ganadería presenta una alta diversidad de sistemas productivos intensivos, tradicionales, extensivos y agroforestales que muestran grandes variaciones en productividad, bienestar animal y manejo del recurso forrajero (Aponte & Rodelo, 2019). Esta diversidad de sistemas repercute en la dinámica digestiva y en las tasas de fermentación entérica,

lo que hace indispensable generar datos propios y situados en contextos reales del país.

Actualmente, El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia emite una información sobre los gases efecto invernadero (GEI) donde estos dependen en gran medida de modelos estimados que no siempre representan las condiciones reales de campo (IDEAM, 2021).

Por ello, medir las emisiones de metano en distintos entornos del manejo diario del bovino aporta una comprensión más precisa de cómo factores como el confinamiento, el pastoreo o la transición entre espacios, pueden modificar la emisión de CH₄. Estudios recientes destacan la necesidad de análisis en condiciones naturales que no modifiquen el comportamiento animal, ya que los métodos invasivos pueden alterar la dinámica ruminal y producir datos sesgados (Hristov et al., 2015).

El presente proyecto se centra en la medición de las emisiones de metano en tres diferentes entornos etológicos, con el objetivo de generar un soporte de datos confiable. Permitiendo, realizar evaluaciones del impacto real de los entornos ganaderos locales en la emisión de metano y pudiendo ofrecer nuevas estrategias de manejo que no solo mejoren el bienestar animal, sino que reduzcan el impacto ambiental.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la producción de gas metano (CH_4) en vacas lechera manejadas bajo tres condiciones diferentes en la Granja Experimental de la CORHUILA.

Objetivos Específicos

Determinar el nivel de gas meano emitido en condiciones de libre pastoreo, registrando el efecto generado por el comportamiento natural de los animales y del tipo de forraje consumo.

Analizar la influencia del tiempo de confinamiento vs el tipo de manejo sobre la variación en la emisión de metano en bovinos adultos.

Evaluar el impacto de las condiciones espacio/tiempo sobre el bienestar animal y la producción de gas en los bovinos.

Marco teórico

Calentamiento global

El calentamiento global es uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial, que consiste en el aumento progresivo de la temperatura terrestre causado por la acumulación de gases que atrapan el calor, conocidos como gases de efecto invernadero. Estos gases forman una capa en la atmósfera que actúa como un techo, permitiendo que la radiación solar entre, pero dificultando que la radiación terrestre escape. Así, al igual que un invernadero (botánico) retiene el calor para las plantas, esta capa engrosada de gases mantiene más calor en el planeta, elevando la temperatura global. (Garduño, 2004)

Los gases efecto invernadero son gases que están acumulados en la atmósfera de la tierra, son capaces de atrapar la radiación infrarroja que escapa de la superficie de la tierra, convirtiéndola en forma de calor. (Núñez, 2004)

Los GEI son:

- Dióxido de Carbono (CO_2): Considerado el gas de efecto invernadero más común, debido a que es el más asociado a actividades humanas; este se emite principalmente por el consumo de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo, etc.). (Aristizábal, 2007)
- Óxido Nitroso (N_2O): Proviene de fuentes naturales, siendo la principal el resultado de procesos microbianos (nitrificación y desnitrificación) o reacciones fotoquímicas en la superficie del agua de los océanos y de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la agricultura, entre otros. Las emisiones de este gas resultado de la agricultura se pueden clasificar en tres tipos: directamente emitidas por el suelo resultado de procesos microbianos (nitrificación y desnitrificación), directamente emitidas durante la degradación de orina y heces de animales que quedan en el suelo (pastoreo) e indirectamente emitidas debido al uso de

fertilizantes. No obstante, entre todos los GEI, este es el que posee menor participación del total de las emisiones generadas a nivel global. (Aristizábal, 2007)

- El metano (CH_4): Después del dióxido de carbono es el GEI más abundante en la atmósfera; este es un gas que se genera como producto secundario del proceso de fermentación entérica, que ocurre cuando los microbios intestinales descomponen y fermentan los carbohidratos, para luego ser absorbidos en el torrente sanguíneo; así, estos carbohidratos se convierten en fuentes de energía y nutrientes para el organismo del animal. Sin embargo, durante la digestión, se pierden ciertas cantidades de energía digerible, que se eliminan a través de eructos, gases y excrementos. (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, 2021), (Aristizábal, 2007)

Sistema digestivo de los rumiantes

El sistema digestivo de los rumiantes está adaptado a un proceso de digestión fermentativa, el cual es realizado por diversos microorganismos que permiten la degradación de los hidratos de carbono presentes en el forraje. (Karasov, 2013) En los rumiantes adultos, el estómago puede ocupar aproximadamente el 75 % de la cavidad abdominal y representar cerca del 30 % del peso corporal del animal. Este estómago se divide en cuatro compartimientos: rumen, retículo, omaso y abomaso. El rumen es el compartimiento de mayor tamaño y se localiza principalmente en el lado izquierdo del abdomen, su superficie presenta surcos y pilares, y su mucosa está cubierta por papilas digitiformes cuyo tamaño y desarrollo varían según el tipo de dieta consumida por el animal. El retículo posee una mucosa con apariencia de red y se comunica directamente con el rumen mediante el pliegue retículo-ruminal, formando ambos una unidad funcional dentro del proceso digestivo. (Karasov, 2013)

Por su parte, el omaso se encuentra ubicado a la derecha del retículo y presenta una forma esférica. Este compartimiento se comunica con el retículo a través de un esfínter y con el abomaso mediante el esfínter omaso-abomasal. Internamente está constituido por numerosas láminas u hojas que facilitan el movimiento y la conducción del contenido hacia el canal omasal. (Karasov, 2013)

Finalmente, el abomaso se localiza en la región derecha y ventral del abdomen. Tiene forma de saco alargado con un extremo ciego y otro pilórico que se conecta con el duodeno, donde continúa el proceso digestivo. (Enrique & Alberto, 2002-2003).

Proceso de rumia y producción de metano

Con el fin de entender la producción del metano por parte de la rumia de los bovinos, se debe tener en cuenta que un factor determinante en la producción de este gas es el tipo de alimentación que ellos reciben; dietas de baja calidad incrementan la producción de metano, por esta razón, se deben implementar dietas o sistemas de producción que garanticen atender los requerimientos nutricionales de los animales con ingredientes de buena calidad para así disminuir la emisión de metano y por consiguiente, reducir la pérdida de energía. Además, es relevante saber que la producción de metano es generado en un 87% a nivel ruminal y un 13% en el intestino grueso del animal. (McCaughey, Wittenberg, & Corrigan, 1997)

La eliminación del metano por parte de los bovinos se realiza a través del eructo, siendo este un subproducto de la fermentación entérica que se lleva a cabo en el rumen; algo característico del ganado es que el sistema digestivo de los bovinos inicia la eliminación de gas metano a partir de la tercera - cuarta semana de vida que es cuando inicia su transición a rumiante, maduración y el

animal empieza a incorporar pasto a la dieta, en donde la fibra del alimento provoca el desarrollo de la capa muscular de las cavidades aglandulares. (Borisoff, 2015)

Las praderas mejoradas o sistemas de ganadería regenerativa con alta cantidad de forraje disponible y de alto valor nutricional también disminuye la emisión de metano, por eso cuando se presentan sequías o las praderas ofrecen forraje de baja calidad nutricional se genera mayor producción de metano. (Carmona, Bolivar, & Giraldo, 2005)

Según la Coalición Clima y Aire Limpio, CCAC (por sus siglas en inglés), (2021), el 40% de las emisiones de metano provienen de la agricultura (principalmente debido a la cría de ganado y la producción de arroz); además, mencionan que en 2021 se produjo un aumento anual de las emisiones de metano, que la cantidad del mismo en la atmósfera está aumentando en tiempo récord y se prevé que aumente hasta un 13% para el 2030. (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, 2021)

Colombia maneja distintos sistemas de producción enfocados en la ganadería; entre ellos podemos mencionar a los sistemas silvopastoriles, que consisten en una combinación de árboles, arbustos y forrajes que brindan un equilibrio entre cuidado del medio ambiente y la sostenibilidad del sistema de producción para una mayor productividad; conociendo esto, podemos analizar como la alimentación es un factor importante que afecta a nivel ruminal la producción de gases como el metano. (Galíndez, 2021). Entre las diferentes especies de gramíneas usadas en la alimentación de rumiantes bajo condiciones de pastoreo, aquellas que pertenecen al género *Urochloa* (comúnmente conocidas como Brachiarias), son ampliamente usadas en sistemas de pastoreo tradicional, intensivo y en los sistemas silvopastoriles, debido a su alta adaptabilidad fenotípica que le permite prosperar donde otros pastos fallan, adaptándose a

suelos con acidez elevada, baja fertilidad etc. Esto las convierte en una herramienta estratégica frente al cambio climático, garantizando la disponibilidad de alimento gracias a que sus raíces son muy profundas y a su capacidad natural para crecer es rápida+, actuando como un control biológico contra la erosión y las malezas. (Yuseika Olivera, 2006)

Métodos de medición de gas metano

Actualmente existen diversos métodos para la cuantificación de gas metano en rumiantes, cada método siendo utilizado dependiendo de las condiciones de manejo que se estén trabajando, entre ellos encontramos cámaras respiratorias, sistemas portátiles, métodos invasivos y dispositivos laser. (Pfau, 2020)

Cámara respiratoria

Este método permite medir los flujos de aire y la concentración de gases iniciales y finales dentro de la cámara. Con este método el animal debe permanecer tres días, en donde se mantendrá una rutina normal, proporcionando resultados precisos, pero al mismo tiempo pasando al animal por episodios de estrés al mantenerlos en un entorno antinatural. (Pfau, 2020)

Sistemas portátiles

Estos sistemas son dispositivos como “la máscara de gas”, que buscan atrapar dentro de un globo colector el gas emitido a partir de la exhalación de aire, según un estudio realizado por (Correa & Jaimes, 2023), los animales se adaptan rápidamente y se estima que la cantidad de metano que se expulsa a través de las exhalaciones puede representar aproximadamente la mitad del total emitido por los bovinos.

Métodos invasivos

Dentro de los métodos invasivos podemos encontrar la “técnica de trazadores de hexafluoruro de azufre”, que consiste en utilizar un gas trazador, específicamente SF_6 , que se libera continuamente mediante un tubo de permeación colocado en el retículo. A medida que el animal eructa se recolectan estos gases en un recipiente al vacío y se analiza su contenido, se deben realizar mediciones durante 5 – 7 días.

Dispositivos laser

Estos dispositivos tienen la capacidad de medir el gas metano emitido por el bovino en condiciones de campo, utilizando un láser semiconductor basado en espectroscopia de absorción infrarroja, sin causar perturbación en el animal y en su rutina diaria. Sin embargo, las lecturas realizadas pueden llegar a presentar variaciones muy altas, lo que no permite confiar en los resultados obtenidos. (Kang, y otros, 2022)

Antecedentes

Bonilla y Lemus Flórez (2012) utilizaron una metodología basada en la recolección directa de gases ruminales mediante una fístula de 2 cm de diametro conectada a un contenedor de nylon tipo globo fijado al lomo del animal. El estudio se realizó en una vaca Holstein de aproximadamente 550 kg de peso vivo. El gas producido en el rumen fue recolectado durante períodos de 24 horas y se tomaron muestras cada seis horas para determinar la concentración de metano. Los resultados mostraron una producción promedio de 911,7 litros de gas por día, con concentraciones de metano entre 20 y 32 %, equivalentes a una emisión promedio de 247 litros de CH₄ diarios. Esta metodología permitió obtener mediciones directas de los gases producidos durante la fermentación ruminal.

Pinares-Patiño et al. (2013) emplearon la técnica del hexafluoruro de azufre (SF₆), un método desarrollado para medir emisiones de metano en condiciones más cercanas al comportamiento natural de los bovinos. La metodología consistió en introducir en el retículo una cápsula permeable que libera continuamente SF₆ a una tasa conocida. Simultáneamente, el animal portaba un sistema de muestreo ubicado cerca de las fosas nasales que recolectaba tanto el gas trazador como el metano expulsado. Posteriormente, las muestras fueron analizadas mediante cromatografía de gases para estimar la producción de metano. Los autores reportaron emisiones entre 250 y 600 g de CH₄ por día, dependiendo del sistema de alimentación y manejo de los animales.

Almeida, Brito y Oliveira (2022) analizaron la influencia del sistema de producción sobre las emisiones de metano, comparando bovinos mantenidos en confinamiento con animales en pastoreo. La metodología incluyó la evaluación de variables relacionadas con el consumo de alimento, la disponibilidad de forraje y las condiciones de manejo. Donde encontraron que los

animales en confinamiento presentaron mayores emisiones de metano, atribuyendo este comportamiento a una mayor disponibilidad de alimento y a una fermentación ruminal más constante. Los resultados evidenciaron que el sistema de producción y el manejo alimenticio son factores determinantes en la generación de metano entérico.

Kathy J. Soder y Brito (2023) estudiaron las emisiones de metano en sistemas de pastoreo, enfocándose en la relación entre la calidad del forraje, el comportamiento de consumo y la actividad física de los animales. La metodología se desarrolló bajo condiciones reales de pastoreo, permitiendo evaluar el comportamiento natural de los bovinos. Los autores concluyeron que la producción de metano está influenciada por la calidad nutricional de la dieta, el tipo de forraje consumido y el nivel de desplazamiento de los animales, destacando que los sistemas de pastoreo presentan dinámicas diferentes de producción de metano en comparación con los sistemas de confinamiento.

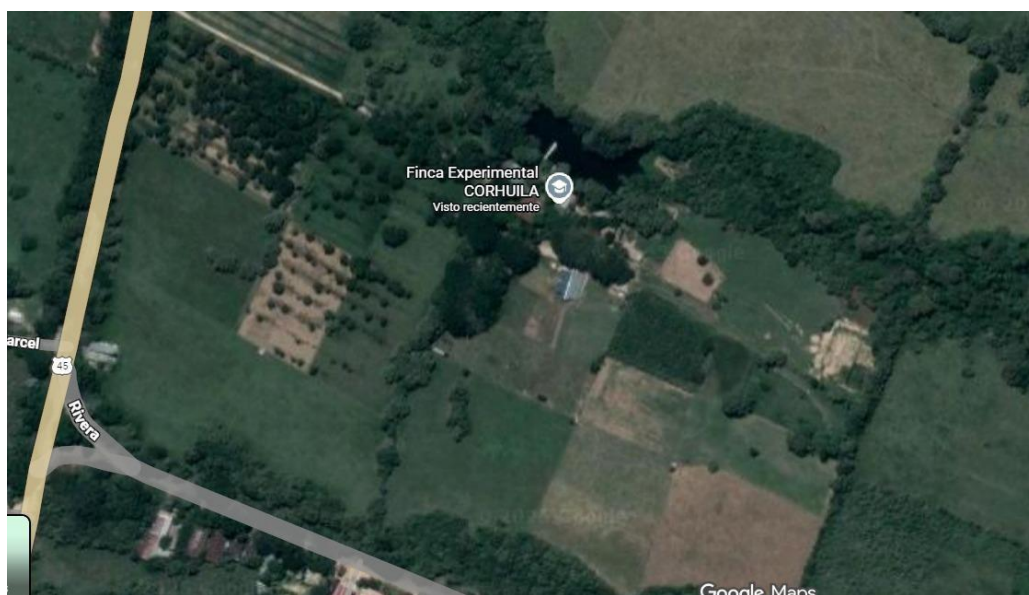
Hristov et al. (2015) implementaron el sistema GreenFeed, una tecnología automatizada diseñada para medir emisiones de metano en condiciones de producción. El equipo atrae al animal mediante pequeñas cantidades de alimento concentrado y, mientras este consume el suplemento, una campana captura los gases emitidos durante la respiración y la eructación. Los gases son analizados en tiempo real mediante sensores especializados que permiten estimar las emisiones diarias de metano. Mediante esta metodología, los autores reportaron emisiones cercanas a 400–500 g de CH₄ por día en vacas lecheras y observaron reducciones de aproximadamente 30 % cuando se utilizaron inhibidores de la metanogénesis ruminal.

Metodología

Ubicación

El proyecto se realizó en la granja experimental CORHUILA ubicado en el municipio de Rivera, Huila, vereda Bajo Pedregal, kilómetro 13 sobre la vía Panamericana. Su ubicación geográfica es $2^{\circ}47'42''\text{N}$ $75^{\circ}17'48''\text{W}$, con altitud 525 msnm y temperatura promedio de 23.2°C ambiente, la humedad relativa es del 58% y su pluviosidad 1792 mm anuales y la presión es de 1015 hpa con viento promedio de 16Km/h. (CORHUILA, s.f.)

Figura 1. Ubicación de la Granja Experimental de la CORHUILA Rivera, Huila



Fuente: Google maps, 2025

Población y muestra

Para este trabajo se seleccionaron tres bovinos del lote de producción láctea, a los cuales se les realizó mediciones cada cierto tiempo, como lo muestra la tabla 5, 6 y 7 respectivamente. A dos de los animales se les realizó la instalación de un catéter ruminal número 14 de 50 mm de largo, conectada a un globo en la parte superior que colecta los gases eliminados por el rumen y el tercer animal se le realizó el muestreo por medio de pistola laser al aire.

Los ejemplares mantuvieron su dieta habitual durante un periodo de tres semanas sin realizar cambios que pudiesen afectar su flora bacteriana basados en el plan nutricional que maneja la granja experimental de CORHUILA, Rivera- En las tablas 1, 2 y 3 está registrada respectivamente la composición nutricional del ensilaje de sorgo forrajero, la sal mineralizada y el concentrado para vacas en producción. La dieta estaba compuesta por 25 kg de ensilaje de sorgo forrajero, 100 gr de sal calcileche 12 y 1 kg de concentrado para vaca en producción por cada animal.

Tabla 1. Aporte nutricional del ensilaje de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Aporte nutricional	Sorgo forrajero
Materia seca	27.9
Proteína	4.9
Fibra detergente neutro	54.9
Almidón	17.1
Carbohidratos no fibrosos	34.5
Grasa	2.2

Fuente: (Tatiane Fernández, 2020)

Tabla 2. Aporte nutricional de la sal mineralizada (Calcileche 12 de Somex®)

NaCl	P	Ca	Mg	S	F	Cu	Zn	I	Co	Se
30,80 0 %	3,000 %	12,000 %	3,000 %	7,000 %	0,030 %	0,300 %	1,000 %	0,030 %	0,0004 %	0,008 %

Fuente: (Somex, s.f.)

Tabla 3. Aporte nutricional del concentrado para vaca en producción (Renta leche)

Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas	Humedad
12%	2.5%	25%	13%	13%

Fuente: (Finca, s.f.)

El sistema de producción ganadera bovina se encuentra bajo un sistema de pastoreo rotacional, con pasturas en su mayoría establecida en las gramíneas forrajeras *Urochloa brizantha* y *Urochloa decumbens*. Adicionalmente, estos animales eran suplementados con ensilaje de sorgo forrajero.

Proceso de investigación

Procedimiento de instalación de catéter ruminal

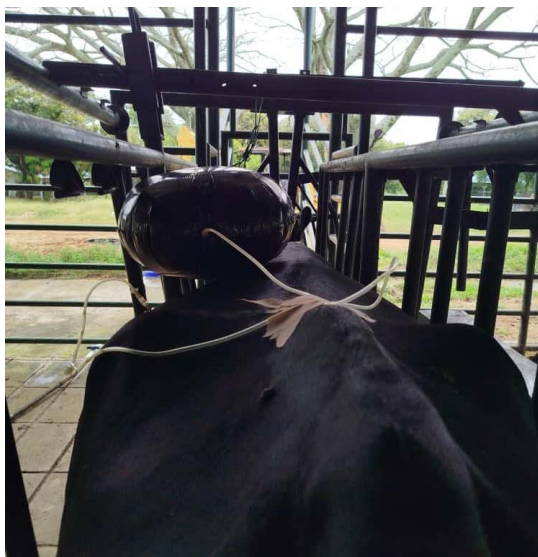
La instalación del catéter se realizó a través de un procedimiento quirúrgico, el cual fue realizado en el triángulo del ijara por el lado izquierdo del animal. Inicialmente se realizó tricotomía del área a ser incidida con posterior desinfección con clorhexidina. Luego se realizó anestesia local, aplicando 2 ml de lidocaína subcutánea por toda el área de punción, específicamente, en el centro del triángulo del ijar o triángulo ruminal, para luego incorporar un catéter calibre 14 y fijarlo con un punto tipo cirujano. De esta manera, se consiguió prevenir que el catéter se desprendiera por los movimientos fisiológicos normales de rumen y del bovino, como es mostrado en las figuras 2 y 3.

Figura 2. Instalación y fijación de catéter



Fuente: Autores

Figura 3. Cánula ruminal etapa final de colecta de gas



En la figura 3 es mostrado el procedimiento de contención de los animales en el brete durante el proceso de colecta de muestra. Para esto la cánula ruminal era conectada a un globo colector en el cual quedaban capturados los gases producidos durante la fermentación ruminal.

Fuente: Autores

Procedimiento de captura de gas metano

El primer ejemplar permaneció durante un periodo de 6 horas en el brete, dando inicio a la medición a las 12 de la tarde y finalizo a las 6 pm de la tarde el de manejo conectado a una cánula ruminal como lo muestra la figura 3, donde se evaluó la producción de gas metano emitido sin disposición de alimento, lo que lo obligo a limitarse en descansar y rumiar durante este periodo de tiempo; el segundo ejemplar se mantuvo en el corral durante 24 horas, igualmente conectado a un catéter ruminal hacia un globo; a diferencia del primero este si tuvo alimentación a disposición por todo el periodo al cual se le suministro la misma dieta que comúnmente recibe diariamente, el tercero ejemplar fue tenido en cuenta como testigo sin ninguna intervención y se realizaron las mediciones de gas en diferentes periodos de tiempo.

Las mediciones de gas se realizaron por medio de la pistola láser para cuantificación de metano (modelo S350AS) en la Granja Experimental de la CORHUILA. Esta medición se expresa en partes por millón (ppm). Para analizar la concentración de metano en cada disparo, el equipo mide la refracción del rayo láser y realiza hace la lectura como lo muestra la figura 4 en cada condición. Ninguno de los ejemplares recibió algún medicamento o suplementos diferentes a los ya mencionados para no alterar la flora ruminal por un periodo de tres semanas. El animal que estuvo bajo condiciones de libre pastoreo fue monitoreado durante un periodo de 12 horas.

Pistola láser de medición de metano

El dispositivo de detección de metano funciona con tecnología láser, lo que le permite medir la concentración del gas en partes por millón (ppm). Este dispositivo tiene la capacidad de identificar concentraciones de metano en cualquier ambiente simplemente apuntando el dispositivo hacia una superficie que pueda reflejar el rayo como lo muestra la figura 5.

Generalmente, estos sistemas se utilizan junto a cámaras o bolsas de almacenamiento de gases que capturan el aire exhalado por el animal durante 12 horas, finalizado este tiempo, se utiliza el dispositivo láser para medir la concentración de metano acumulado. (Rivera, 2021)

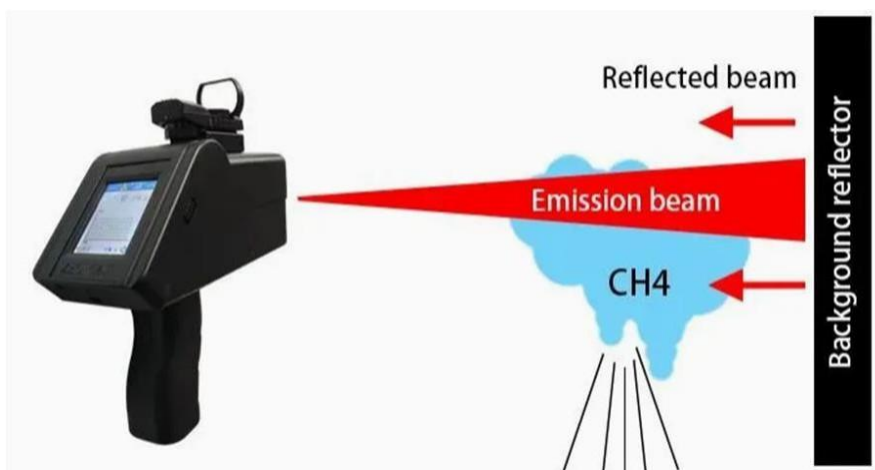
Tabla 4. Descripción de la pistola láser para medición de metano modelo S350AS

Equipo		Detector de gases (metano)	
Marca	HENAN ZHONGAN ELECTRONIC	Modelo	S350AS
Referencia	S350AS	Serie	221029011
			

Fuente: Autores

La distancia que se utiliza para la medición del gas metano oscila entre los 50 cm y los 100 cm, generando una mayor efectividad en medición el tener una pared que proporcione un rebote del gas hacia la pistola como es mostrado en la figura 4.

Figura 4. Pistola láser para medición de metano



Fuente: (HENANZHONGAN, s.f.)

Las muestras en campo fueron tomadas en diferentes momentos del día y diferentes comportamientos etiológicos que presentaron los bovinos.

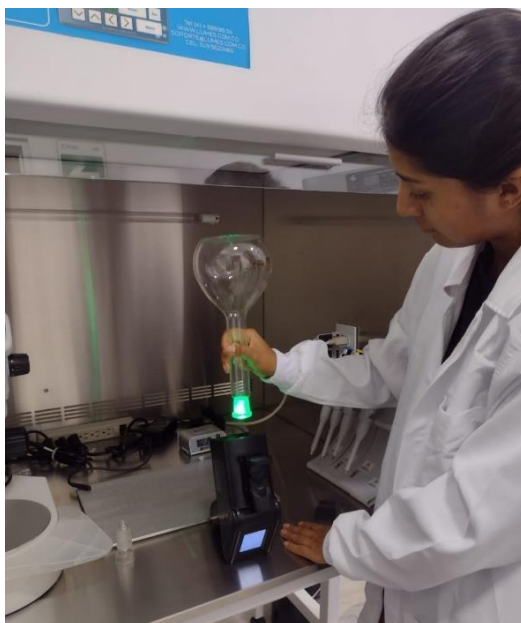
Figura 5. Toma de muestra con pistola láser de metano con un método no invasivo



Fuente: Autores

Las muestras tomadas en campo fueron analizadas posteriormente en el laboratorio. Para realizar una lectura más eficiente del gas capturado, éste fue trasladado a un recipiente de vidrio, procedimiento que fue realizado en una cámara de flujo laminar (Figura 6).

Figura 6. Lectura de gas metano bajo condiciones controladas en el laboratorio de biotecnología sanitaria.



Fuente: Autores

Análisis de resultados

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico simple, basado en los promedios y realizando comparación directa entre tratamientos. Debido al reducido número de unidades experimentales, no se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, limitándose el estudio a un análisis cuantitativo comparativo de carácter preliminar donde se realizó un análisis comparativo de la producción de metano en bovinos bajo diferentes entornos de manejo, se tomaron muestras con tres bovinos en diferentes entornos ambientales. Los resultados fueron analizados mediante gráficos de Excel y promedios para determinar si existen diferencias en las concentraciones de emisiones de gas metano y compararla con los entornos de manejo.

Consideraciones éticas

Durante la realización de la medición de metano, todos los animales fueron tratados según las 5 libertades del bienestar animal, recordando que no se realizaron intervenciones invasivas que pudiesen afectar el bienestar animal.

1. Libres de hambre, sed y malnutrición.
2. Libres de miedos y angustias.
3. Libre de incomodidades físicas o térmicas.
4. Libres de dolor, lesiones o enfermedades.

Resultados

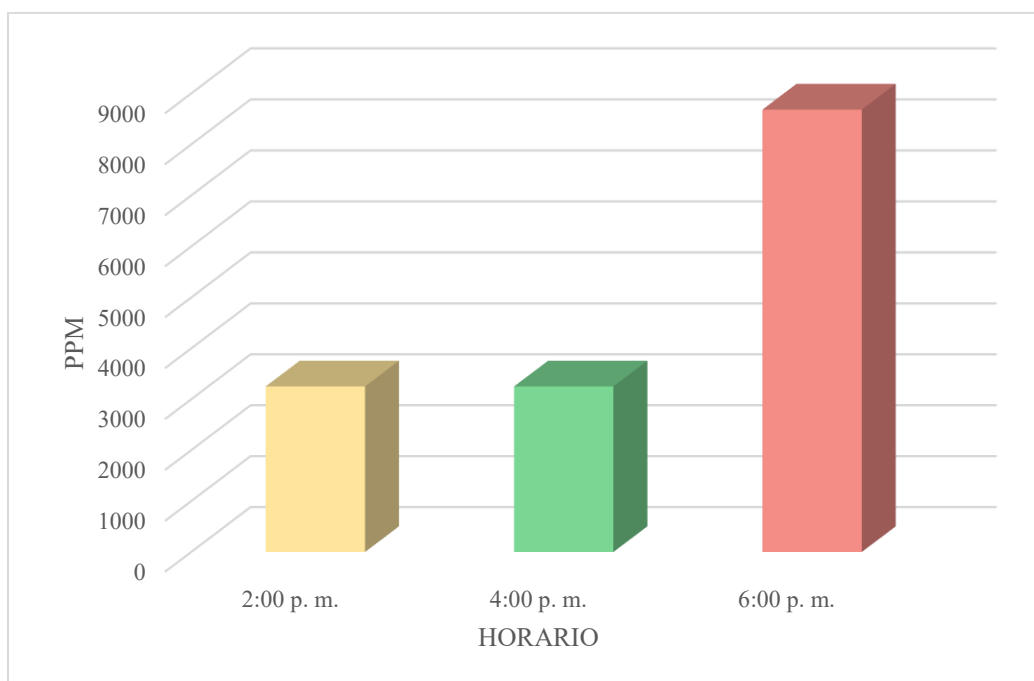
El primer ejemplar permaneció durante 6 horas contenido en un brete de manejo. Dentro de este tiempo se estuvo monitoreando al animal y la cantidad de gas emitido por él, todo el gas fue recolectado en un globo metálico (hechos de una película de poliamida que se recubre con una capa metálica de aluminio) para posteriormente medir en el laboratorio con la pistola de láser la cantidad de gas metano recolectado durante todo este tiempo.

Durante las 6 horas se cuantificó un total de 15.188,92 ppm de gas metano producido durante dicho periodo. En la figura 7 son mostrados los valores encontrados durante tres mediciones realizadas sobre el globo.

Tabla 5. Valores de eliminación de gas metano en bovino #1

Horario	2:00 pm	4:00 pm	6:00 pm
Brete	3.253,00	3.253,00	8.682,92

Figura 7. Producción de gas metano de un bovino contenido en un brete en tres momentos diferentes durante seis horas

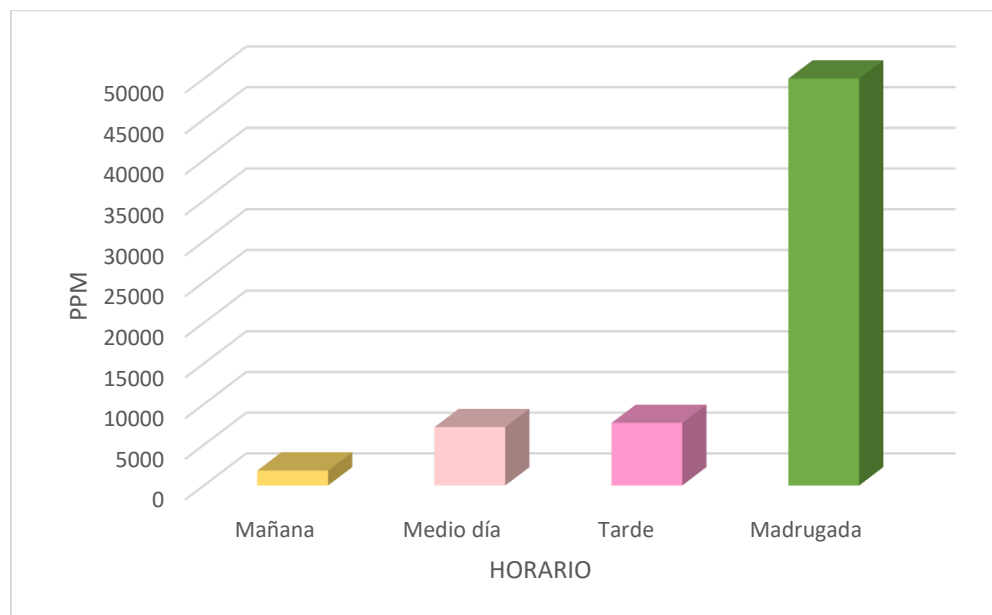


El segundo ejemplar que se estudió durante 24 horas dentro del corral, arrojó los siguientes datos mostrados en la tabla 5 y la figura 8, los cuales tomados directamente sobre el globo que estaba conectado vía intraruminal. Al final del periodo, se obtuvo la lectura de la eliminación de 66.561,00 ppm de gas metano.

Tabla 6. Valores de eliminación de gas metano en bovino # 2

Horario	Mañana	Medio día	Tarde	Madrugada
Corral	1821	7161	7679	50000

Figura 8. Producción de gas metano de un bovino encerrado en un corral con oferta de agua y alimento en cuatro momentos diferentes durante 24 horas



Teniendo en cuenta los datos obtenidos se observa que el animal presenta una mayor eliminación de gas metano durante las primeras 8 horas, en comparación a horas de la noche donde el ejemplar no presenta una gran cantidad de gas metano eliminado. Lo mismo fue observado en horas de la madrugada.

El ejemplar número tres permaneció durante 12 horas en libre pastoreo con alimento y agua a voluntad arrojó los siguientes datos como los muestra la figura 9.

Durante las 12 horas se encontró un total de 569 ppm de eliminación de gas metano durante dicho tiempo.

Tabla 7. Valores de eliminación de gas metano en bovino# 3

Horario	Medio día	Tarde	Noche
Libre pastoreo	154	238	177

Figura 9. Valores de eliminación de gas metano en pastoreo

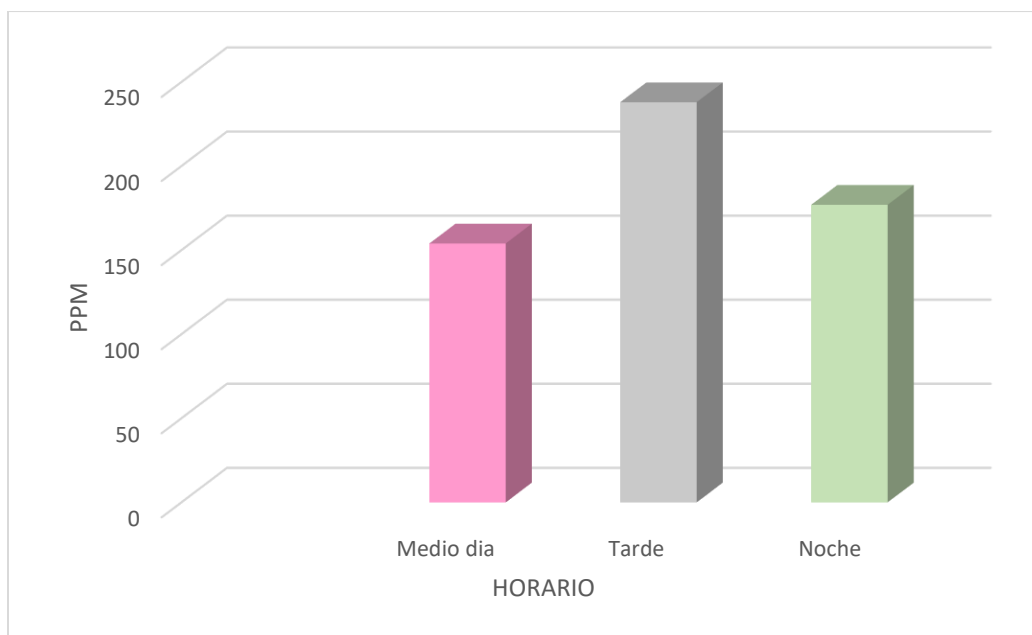
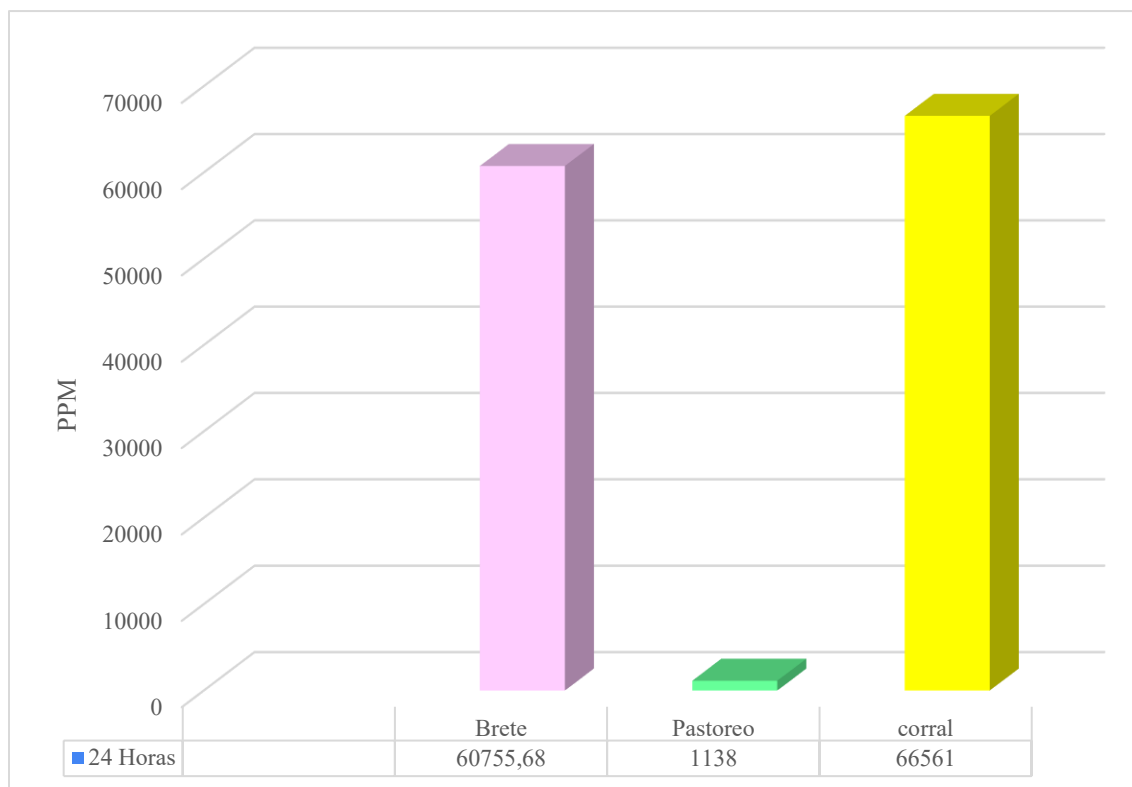


Tabla 8. Resultados en 24 horas de las mediciones

Horario	6 horas	12 horas	24 horas
Ambiente			
Brete	15188,92	30377,84	60755,68
Pastoreo		569	1138
Corral			66561

Figura 10. Promedio de eliminación de gas metano en bovinos



Sigue siendo el mismo resultado, el ejemplar analizado durante 24 horas presento mayor eliminación de gas metano, lo que sugiere pensar en mayor tiempo de descanso y el animal no tuvo que desplazarse para conseguir su alimento, esto nos puede llevar a una hipótesis de que animales estabulados generen posiblemente más gas metano.

Discusión

Este estudio busca analizar la relación entre las rutinas etológicas y la emisión de gas metano (CH_4) en sistemas de producción bovino. Se observó que el ejemplar mantenido en confinamiento (corral) durante 24 horas presentó la mayor tasa de eliminación de gas metano (66.561,00 ppm), a diferencia del ejemplar en pastoreo (569,00 ppm en 12 horas). Esto sugiere que el nivel de actividad física y el entorno influyen directamente en la dinámica ruminal. El animal estabulado, al tener menor desplazamiento y disponibilidad constante de alimento, podría optimizar los procesos de fermentación entérica de una manera que incrementa la producción de gases, validando la hipótesis de que el confinamiento puede elevar la huella de carbono individual del animal. (Almeida, Brito, & Oliveira, 2022) Ese estudio encontró que los bovinos en confinamiento pueden presentar mayores emisiones entéricas asociadas a un mayor consumo y disponibilidad constante de alimento, además de diferencias en la dinámica digestiva respecto a animales en pastoreo. Asimismo, Kathy J. Soder y Brito (2023) indicaron que los sistemas de pastoreo presentan dinámicas distintas de producción de metano, asociadas al tipo de dieta y al mayor desplazamiento del animal.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante las 12 horas trabajadas, graficamos los momentos de eliminación durante los tres periodos encontrando los siguientes resultados: se obtuvo mayor eliminación de gas metano durante la noche posiblemente debido a que en estas horas el animal ya se encuentra en descanso y realizando la rumia.

Comparando los datos obtenidos y organizados según el tiempo de muestreo se encontró que el animal que presento una mayor producción de metano fue el ejemplar evaluado durante 24 horas, esto debido a que permaneció canulado vía intraruminal durante dicho periodo de tiempo

y posiblemente los eructos de este fueron menores en cuanto a pérdidas no evaluadas, si llevamos al mismo tiempo los 3 ejemplares multiplicando los datos para el primero (6 horas) por 4 y el segundo (12 horas) por dos encontramos los siguientes resultados (Figura 10).

Al comparar dos animales que estuvieron estabulados nos damos cuenta que la presencia de alimento puede ser un factor determinante en los valores de eliminación de gas metano, tan solo el ejemplar de 6 horas sin alimento elimino el 16,2% de lo que elimino el de 24 horas con disposición de alimento.

Para el ejemplar evaluado durante 12 horas en su estado natural (en el potrero) podemos concluir que este tipo de análisis mediante la pistola laser no es la herramienta ideal ya que las pérdidas por volatilización del gas hacen que el equipo solo reporte una parte del gas eliminado.

Al final no se observó una tendencia similar entre los tres ejemplares, ya que los valores de gas metano tiene una variación alta según el comportamiento y ambiente del bovino. En el pastoreo se registró el valor más bajo (1138 ppm), mientras que en el brete y el corral se obtuvieron concentraciones mucho más altas (60755,68 ppm y 66561 ppm). Esto sugiere que el ambiente y el tipo de manejo influyen en los niveles de gas metano registrados.

En cuanto a metodología, los resultados revelan diferencias según el instrumento utilizado. Mientras que la cánula intraruminal permitió una captura directa en el globo, la medición con pistola láser en condiciones de libre pastoreo mostró valores notablemente inferiores. Esto no necesariamente indicando una menor producción real en pastoreo, sino que pone en evidencia las limitaciones de los métodos no invasivos en campo abierto, donde la mezcla del gas por corrientes de aire dificulta una lectura precisa con tecnología láser. Según Johnson y Johnson (1995) usaron cámaras de respiración representan el método más exacto para cuantificar emisiones de metano entérico, lo que implica tener el animal bajo un sistema

controlado todo el tiempo donde la eliminación de gas es capturada por completo en el recinto donde se encuentra el animal, reportando emisiones de metano entre 250 y 500 L CH₄/día por animal.

Otra técnica de medición de gas metano es el sistema SF₆, que permite mediciones en condiciones más cercanas al comportamiento natural del bovino, aunque con mayor variabilidad experimental (Pinares-Patiño et al., 2013); este método consiste en liberar un gas trazador en el rumen. Usando esta técnica se reportaron emisiones que pueden oscilar entre 250 y 600 g CH₄/día según el sistema de alimentación y manejo ofrecido a los animales.

(Bonilla & Lemus Florez, 2012) Este método consiste en recolectar el gas producido en el rumen mediante una fístula de 2 cm de diámetro conectada a un contenedor de nylon tipo globo fijado al lomo del animal. En el estudio se empleó en una vaca Holstein de aproximadamente 550 kg de peso vivo. El gas fue recolectado durante periodos de 24 horas y la concentración de metano (CH₄) se determinó cada 6 horas. Los autores reportaron una producción diaria promedio de gas de 911.7 L, con concentraciones de CH₄ entre 20 y 32 %, lo que correspondió a una emisión promedio de 247 L de CH₄ por día.

Hristov et al. (2015) aplicó el sistema GreenFeed, donde el animal introduce la cabeza en un sistema automatizado que captura gases. Con esta metodología reportaron emisiones de metano cercanas a 400–500 g CH₄/día en vacas lecheras bajo condiciones experimentales controladas, observando además una reducción aproximada del 30 % mediante el uso de inhibidores de metanogénesis ruminal. Estos resultados evidencian la influencia directa de la dieta y el manejo alimenticio sobre la producción de metano entérico.

Chagunda et al., 2009, utilizó un equipo láser similar para medición de gas metano, encontrando una baja precisión por factores ambientales y conductuales de los animales

reportando 1,4 veces mayores que los animales en reposo y 1,1 veces mayores que los animales alimentándose, el trabajo de Chagunda se enfocó en demostrar la utilidad del detector láser para monitorear emisiones en tiempo real y no en establecer un único valor absoluto de CH₄.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo realizado en la Granja Experimental de la CORHUILA muestran coherencia con lo reportado en la revisión bibliográfica desarrollada por Carmona, Bolívar y Giraldo (2005), quienes describen que la producción de metano en bovinos está altamente influenciada por factores como el tipo de dieta, la calidad nutricional del forraje, el nivel de consumo y las condiciones fermentativas del rumen. En su estudio, los autores señalan que dietas basadas en forrajes fibrosos y de baja calidad incrementan la producción de CH₄ debido a una mayor proporción de fermentación acetogénica, lo cual favorece la metanogénesis y genera mayores pérdidas energéticas para el animal.

En relación con lo anterior, los resultados experimentales obtenidos en CORHUILA evidencian que el bovino mantenido en confinamiento (corral) durante 24 horas con alimento disponible presentó el valor más alto de eliminación de metano, registrando un total de 66.561 ppm (3,33 L). Este resultado sugiere que la disponibilidad constante de alimento y la menor actividad física del animal pueden favorecer la fermentación entérica continua y, por lo tanto, incrementar la producción y acumulación de gases en el rumen. Estos hallazgos respaldan el planteamiento de Carmona et al. (2005), quienes afirman que el consumo de materia seca y la dinámica fermentativa son factores determinantes en la producción de metano.

Por otra parte, el ejemplar evaluado durante 6 horas en el brete sin disponibilidad de alimento, presentó un valor total de 15.188,92 ppm (0,76 L), lo que corresponde aproximadamente al 16,2% de lo emitido por el animal confinado durante 24 horas. Esta diferencia puede sugerir impacto directo del consumo sobre la producción de metano, ya que la

ausencia de alimento reduce la actividad fermentativa y la disponibilidad de sustratos necesarios para la metanogénesis. Este resultado concuerda con la literatura, donde se explica que la fermentación de carbohidratos estructurales es el principal motor de producción de metano, por lo que una disminución del consumo afecta directamente las emisiones de gas metano.

En el caso del ejemplar evaluado en libre pastoreo durante 12 horas, se obtuvo un valor total de 569 ppm (0,028 L), lo cual es considerablemente inferior frente a los valores registrados en confinamiento. Este hallazgo podría relacionarse con lo descrito por Carmona et al. (2005), quienes mencionan que los sistemas de pastoreo mejorado y las estrategias orientadas a incrementar la calidad nutricional de la dieta pueden disminuir la producción de metano debido a una mayor eficiencia digestiva. Sin embargo, en el presente estudio debe considerarse que el método utilizado en pastoreo fue no invasivo mediante pistola láser, lo cual limita la precisión de la cuantificación debido a la volatilización del gas y la dispersión por corrientes de aire.

La comparación entre ambos trabajos permite evidenciar que los resultados obtenidos en la granja experimental CORHUILA son coherentes con los planteamientos de Carmona et al. (2005), quienes indican que la producción de metano en bovinos depende en gran medida del manejo alimenticio, la disponibilidad de sustratos fermentables y las condiciones propias del sistema productivo. De este modo, el presente estudio aporta información práctica en condiciones tropicales, mostrando que el confinamiento con suministro continuo de alimento se asocia con mayores valores de emisión de metano, mientras que escenarios de menor consumo o evaluaciones en pastoreo reflejan concentraciones más bajas, ya sea por diferencias reales en la fermentación ruminal o por limitaciones en la precisión de los métodos de medición empleados. En consecuencia, estos resultados resaltan la necesidad de considerar tanto los factores

nutricionales como los aspectos metodológicos al analizar emisiones de metano en bovinos, especialmente en sistemas productivos bajo condiciones de pastoreo.

Conclusiones

Se determinó que el entorno y la rutina diaria influyen significativamente en las emisiones. El mayor nivel de producción de metano se registró en condiciones de estabulación con alimentación constante, lo que sugiere que la disminución de movilidad en el animal favorece la acumulación y posterior eliminación de gas metano.

El proceso de rumia, intensificado durante los periodos de descanso (especialmente en la noche y madrugada para los animales en pastoreo o corral), coincide con picos de eliminación de gas, confirmando que la actividad fisiológica digestiva del animal no es constante y varía según las actividades del animal.

La captura de gas mediante cánula intraruminal parece ser más eficaz para la cuantificación exacta en este estudio preliminar. Por el contrario, la pistola láser, aunque útil por su carácter no invasivo, presenta dificultades de precisión en campo abierto debido a factores climáticos que dispersan el gas antes de ser detectado.

Bibliografía

- Aire, C. C. (2021). Obtenido de Climate & clean air coalition:
<https://www.ccacoalition.org/es/short-lived-climate-pollutants/methane>
- Benavides, & Leon. (2007). *Informacion tecnica sobre gases efecto invernadero y el cambio climatico*. IDEAM.
- Bonilla, J. A., & Lemus Florez, C. (2012). Emision de metano enterico por rumiantes y su contribucion al calentamiento global al cambio climatico. *Mex cienc pecu*.
- Borisoff, L. (2015). EXPLORACIÓN DEL APARATO DIGESTIVO DE LOS BOVINOS. En *Manual de semiología de los animales domésticos* (págs. 693 - 705). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Carmona, J., Bolivar, D., & Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo . *Revista Colombiana de ciencias pecuarias*.
- CORHUILA. (s.f.). *Granja experimental*. Obtenido de <https://corhuila.edu.co/granja-experimental/>
- Correa, H. J., & Jaimes, L. J. (2023). *El Tiempo*. Obtenido de El metodo que crearon en Medellin para medir emisiones de metano: <https://share.google/cS16hDtwOTHNpjulP>
- DANE. (2002). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/>
- Enrique, R. A., & Alberto, M. G. (Edicion 2002 - 2003). *Fisiologia digestiva y metabolica de los rumiantes* . Facultad de ciencias veterinarias UNLP.
- Fedegan. (2002). *Federación Colombiana de Ganaderos*. Obtenido de <https://www.fedegan.org.co/>

- Finca. (s.f.). *Finca*. Obtenido de <https://www.finca.co/productos/ganaderia/renta-leche>
- G, K. B. (2019). Cunningham's Textbook of Veterinary Physiology. En E. P. B, & Jiang H, *Postnatal Growth and Development of the Rumen: Integrating Physiological and Molecular Insights* (pág. 269). Biology.
- Galindez, R. (2021). *Agrotendencia*. Obtenido de <https://agrotendencia.tv/ganaderia/ganaderia-regenerativa/>
- Garduño, R. (2004). ¿Qué es el efecto invernadero? En J. Martinez, & A. F. Bremautz, *Cambio climatico: una vision desde Mexico* (págs. 29-40). Instituto nacional de ecologia. Secretaria del Medio Ambiente y recursos naturales .
- HENANZHONGAN, S. (s.f.). *Telemetroláser portátil de metano S350AS*. Obtenido de https://www.zadetector.com/product/S350AS_Handhold__laser_methane_telemeter.html
- Kang, K., Cho, H., Jeong, S., Jeon, S., Lee, M., Lee, S., . . . Seo, S. (2022). Aplicacion de un detector laser portatil de metano para medir las emisiones de metano enterico del ganado en la ganaderia intensiva . *National Library of Medicine* .
- Karasov, W. H. (2013). Comparative Digestive Physiology. *Compr Physiol*.
- McCaughey, Wittenberg, & Corrigan. (1997). *Methane production by steers on pasture* . Can J An Sc; 76 (3): 519-524.
- Neiva, A. d. (s.f.). *Economia* . Obtenido de Alcaldia de Neiva: <https://www.alcaldianeiva.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Núñez, L. G. (2004). *Loa gases efecto invernadero y sus emisiones en México* . Mexico.
- Palencia, L. G., Pulido, A. S., Quitian, H. M., Triana, C. F., & Luna, D. M. (2021).

INTENSIDAD DE EMISIONES POR UNIDAD DE PRODUCTO PARA LA GANADERIA

BOVINA EN COLOMBIA. Grupo Cambio Global – Subdirección de estudios Ambientales-IDEAM.

Pfau, A. (2020). Como podemos medir las mediciones de metano de las explotaciones agrícolas comerciales . *Lacteos division de extencion* .

Rivera, M. A. (2021). *SISTEMA DE DETECCION DE METANO* . Bogota .

Somex. (s.f.). *Somex*. Obtenido de https://somex.com.co/wp-content/uploads/2025/04/CalciLeche_12_Info.pdf

Tatiane Fernandes, E. M. (2020). *Short communication: Influence of sorghum cultivar, ensiling storage length, and microbial inoculation on fermentation profile, N fractions, ruminal in situ starch disappearance and aerobic stability of whole-plant sorghum silage*. *Animal Feed Science and Technology*.

Klein, B. G. (2019). *Cunningham's Textbook of Veterinary Physiology* (6th ed.). Elsevier.

Pokhrel, B., & Jiang, H. (2024). *Postnatal Growth and Development of the Rumen: Integrating Physiological and Molecular Insights*. *Biology*, 13(4), 269.

Almeida, K. V., Brito, A. F., & Oliveira, A. S. (2022). *Production performance, nutrient use efficiency, and predicted enteric methane emissions in dairy cows under confinement or grazing management system*. *Translational Animal Science*, 6(2).

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>

Hammond, K. J., Crompton, L. A., Bannink, A., Dijkstra, J., Yáñez-Ruiz, D. R., O’Kiely, P., Kebreab, E., Eugène, M., Yu, Z., Shingfield, K. J., Schwarm, A., Hristov, A. N., & Reynolds, C. K. (2016). Review of current in vivo measurement techniques for quantifying enteric methane

emission from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 13–30.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.018>

Pinares-Patiño, C. S., & Clark, H. (2013). Reliability of the sulfur hexafluoride tracer technique for methane emission measurement from individual animals.

Chagunda, M. G. G., et al. (2009). Use of a laser methane detector in measuring enteric methane emissions from cattle.

Alexander N. Hristov, A. N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T. W., Harper, M. T., Weeks, H. L., Branco, A. F., Moate, P. J., Deighton, M. H., Williams, S. R. O., Kindermann, M., & Duval, S. (2015). *An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34), 10663–10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>