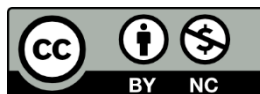


ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO POR FERMENTACION
ENTERICA DEL GANADO BOVINO EN LA HACIENDA GUATIQUELA UBICADA EN
LA VEREDA VERACRUZ, CUMARAL-META



CAROLINA HERRANZ RAMÍREZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE METANO POR FERMENTACION
ENTERICA DEL GANADO VACUNO EN LA HACIENDA GUATIKUILA UBICADA
EN LA VEREDA VERACRUZ, CUMARAL-META

CAROLINA HERRANZ RAMÍREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental

Asesor

Mg. CESAR AUGUSTO RIVEROS ROMERO

Maestría Agroforesteria Tropical

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

INGENIERIA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2018

Autoridades Académicas

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

CESAR AUGUSTO RIVEROS ROMERO

Director Trabajo de Grado

ANGÉLICA MARÍA BUSTAMANTE ZAPATA

Jurado

HENRY CONTRERAS LEÓN

Jurado

Villavicencio, Octubre de 2018

Contenido

	Pág.
Resumen.....	11
Abstract	12
Introducción	13
Planteamiento Del Problema.....	14
Descripción del Problema	14
Formulación en Torno al Problema	15
Hipótesis	16
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Justificación	18
Alcance	19
Antecedentes	21
Marco De Referencia	24
Marco Teórico.....	24
Nutrición Animal	24
Factor de Conversión a Metano (Ym)	25
Marco Conceptual	26
Metano	26
Dióxido de Carbono Equivalente (CH ₄ - eq)	26
Fermentación entérica.....	27
Marco Legal	27
Metodología	29
Fase 1 Caracterización de la población de ganado bovino presente en la hacienda Guatiquila.	29
Fase 2 Estimación de las emisiones de metano entérico para los dos niveles de aplicación.	30
Fase 3 Estrategias de mitigación y compensación de las emisiones de CH ₄	40
Resultados y Análisis	41

Fase 1. Caracterización de la población de ganado bovino presente en la hacienda Guatiquila.	41
.....	41
Sistema productivo.	41
Caracterización del ganado.....	41
Alimentación	42
FASE 2. Estimación de las emisiones de metano entérico para los dos niveles de aplicación.	45
.....	45
FASE 3. Estrategias de mitigación y compensación de las emisiones de CH ₄	53
Sistema Racional Voisin.....	55
Sistemas Silvopastoriles	59
Bancos Forrajeros	60
Árboles Dispersos en Potrero	62
Cercas Vivas	64
Conclusiones	67
Referencias Bibliográficas	69
Anexos	74

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Factores de Conversión de CH ₄ (Y _m).....	25
Tabla 2. Nomenclatura.....	29
Tabla 3. Categorías de Ganado	30
Tabla 4. Parámetros para el desarrollo de los Factores de Emisión.....	31
Tabla 5. Factores de emisión por defecto para cada Región.....	31
Tabla 6. Coeficientes para calcular la energía neta para mantenimiento (NEm).....	33
Tabla 7. Coeficientes de actividad correspondientes a la situación alimentaria de los animales	34
Tabla 8. Caracterización de ganado	41
Tabla 9. Distribución del ganado	43
Tabla 10. Estimación de la emisión de CH ₄ entérico de Nivel 1	46
Tabla 11. Estimación de las Emisiones de Metano (CH ₄) metodología IPCC Nivel 2.....	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización Geográfica de la Zona de Estudio Hacienda Guatiquila.....	20
Figura 2. Asociación de las características de las pasturas con las emisiones de CH ₄	25
Figura 3. Sistema Rotacional del ganado bovino en el Lote 1 de la Hacienda Guatiquila.	44
Figura 4. Sistema Rotacional del ganado en el Predio 2.....	45
Figura 5. Requerimientos de Energía Neta para Mantenimiento por Categoría.....	48
Figura 6. Requerimientos de Energía Neta para Crecimiento por Categoría	49
Figura 7. Medias de Energía Bruta por Categorías.....	50
Figura 8. Requerimientos de energía neta entre las categorías Vacas en Estado Reproductivo y Vacas Adultas. Fuente Carolina Herranz Ramírez, 2018.	51
Figura 9. Estimación de la emisión de CH ₄ mediante la metodología de Nivel 1 Vs Nivel 2.	52
Figura 10. Encharcamientos generados en la Hacienda Guatiquila por lluvias prolongadas. .	55
Figura 11. Ganado en pastoreo con poca cobertura Vegetal que proporcione sombra en la Hacienda Guatiquila. Fuente Carolina Herranz Ramírez, 2018	57
Figura 12. Estrategias para Reducir las Emisiones de Metano Mediante Prácticas de Manejo del Alimento.....	58
Figura 13. Plantación de Veranera en una finca del Piedemonte llanero	61
Figura 14. Cultivo establecido de maní forrajero	61
Figura 15. Hoja y Flor de Orejero.....	62
Figura 16. Follaje del Cedro Amarillo	63
Figura 17. Árbol de Yopo	63
Figura 18. Árbol de Jobo	64
Figura 19. Plantación de Nacedero en proceso de poda.	65
Figura 20. Árbol de Matarratón como cerca viva	65
Figura 21. Estacón de Anauco utilizado como cerca viva	66

Lista de Ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1 Emisión de CH ₄ por categorías	32
Ecuación 2 Emisión Total de CH ₄	32
Ecuación 3 Energía neta para Mantenimiento (NE _m)	33
Ecuación 4 Energía neta para Actividad (NE _a).....	34
Ecuación 5 Energía neta para lactancia (NE _l).....	34
Ecuación 6 Energía neta para Preñez (NE _p)	35
Ecuación 7 Energía neta para Crecimiento (NE _g).....	35
Ecuación 8 (REM)	35
Ecuación 9 (REG).....	36
Ecuación 10 Requerimiento de Energía Bruta.....	36
Ecuación 11 Ingesta de alimentos para Vacas Reproductivas y Novillos Adultos.....	37
Ecuación 12 Ingesta de alimentos para Vaca Adulta.....	37
Ecuación 13 Ingesta de alimentos para Terneros (as) y Novillos (as).....	37
Ecuación 14 Factor de conversión a CH ₄ (Y _m)	38
Ecuación 15 Factor de emisión CH ₄	38

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Delimitación de la Hacienda Guatiquila (Zona de estudio)	74
Anexo 2. Formato utilizado para la recolección de datos del ganado bovino presente en la Hacienda Guatiquila	75
Anexo 3. Bromatológicos del Pasto Brachiaria Humidicola presente en la Hacienda Guatiquila	76

Resumen

Las emisiones de gases de efecto invernadero han incrementado drásticamente en las últimas décadas debido a las actividades desarrolladas por el hombre. Estas actividades han contribuido en gran manera al cambio climático, generando así altas afectaciones en la temperatura regular de la tierra. Por tal razón se han venido desarrollando estrategias para la mitigación y adaptación a esta problemática ambiental; una de estas actividades son los inventarios de gases de efecto invernadero que proporcionan información acerca de las actividades que causan los diferentes gases y en qué proporción. Los objetivos del presente trabajo fueron en primer lugar calcular la estimación de la emisión de metano generada por el ganado bovino presente en la Hacienda Guatiquila ubicada en el municipio de Cumaral – Meta. Se contrastaron las metodologías de Nivel 1 y Nivel 2 expuestas por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), donde se obtuvo una emisión de metano entérico de 19880 kg CH₄/año y 20157,02 kg CH₄/año respectivamente. Este estudio arrojó una diferencia del 1,37% debido principalmente a la similitud de los datos obtenidos del ganado bovino presente en la hacienda con los arrojados por el IPCC, como la Digestibilidad del alimento y el factor de conversión a metano las cuales son variables determinantes de las emisiones de metano por fermentación entérica del ganado bovino. Se evidencio igualmente la influencia de la energía neta requerida por los animales para su mantenimiento y para actividades tales como el crecimiento, la preñez y la lactancia con la emisión de metano; esto, evidencia que un mayor requerimiento de energía conlleva a un aumento en el consumo de alimento para suplir esas necesidades, lo que genera una mayor emisión de metano entérico. Con el fin de crear estrategias para reducir las emisiones de metano por fermentación entérica sin afectar la producción ganadera, una buena medida es la adopción de sistemas silvopastoriles como los bancos forrajeros a través de leguminosas, las cuales se caracterizan por su alta digestibilidad y buen valor nutricional para el ganado permitiendo reducir la actividad fermentativa de las bacterias que producen metano.

Palabras clave: Gas efecto invernadero, fermentación entérica, inventarios, producción ganadera, energía neta.

Abstract

Greenhouse gas emissions have increased dramatically in recent decades due to human activities, thus contributing to climate change. For this reason strategies have been developed for mitigation and adaptation to this environmental problem, one of these activities is the inventories of greenhouse gases that provide information about the activities that cause the different gases and in what proportion. The objectives of the present work were firstly to calculate the estimation of the methane emission generated by cattle present in the Guatiquila Hacienda located in the municipality of Cumaral - Meta contrasted the Level 1 and Level 2 methodologies exposed by the Intergovernmental Panel of Experts on Climate Change (IPCC) where an enteric methane emission was obtained of 19880 kg CH₄ / year and 20157.02kg CH₄ / year respectively. This study showed a difference of 1.37%, mainly due to the similarity of the data obtained from the bovine cattle present in the hacienda with those released by the IPCC, such as the Digestibility of the feed and the conversion factor to methane, which are determining variables of the methane emissions by enteric fermentation of cattle, it was also possible to demonstrate the influence of the net energy required by animals for their maintenance and for activities such as growth, pregnancy and lactation with the emission of methane, especially since a greater energy requirement leads to an increase in the consumption of food to meet those needs, resulting in a greater emission of enteric methane. In order to create strategies to reduce methane emissions by enteric fermentation without affecting livestock production, a good measure is the adoption of silvopastoral systems such as forage banks through legumes which are characterized by high digestibility and good nutritional value for cattle, allowing reducing the fermentative activity of the bacteria that produce methane.

Key words: Gas greenhouse, enteric fermentation, inventories, livestock production, net energy.

Introducción

El cambio climático ha estado transformando los ecosistemas de la tierra y amenazando el bienestar de la generación actual y las futuras generaciones (González, 2016). Con el fin de mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2°C y evitar cambios climáticos peligrosos urge la necesidad de recortar sustancialmente las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) (Organizaciones de las Naciones Unidas (ONU), 2009).

A través de la información suministrada por los diferentes inventarios de emisiones se ha evidenciado que el sector ganadero mundial contribuye con una parte importante de las emisiones de GEI al generar bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (NO₂) a lo largo de todo el proceso productivo. La emisión de metano se debe principalmente a la fermentación entérica la cual tiene lugar en el sistema digestivo que poseen los animales, siendo el ganado bovino el principal responsable (Cambra, Rebollar, Estellés, & Torres, 2008). Las características de la dieta de los bovinos tienen un efecto significativo en la producción de CH₄ a nivel global, ya que países con pocas limitaciones alimenticias para el ganado han reportado menores emisiones y mayor eficiencia energética. (González, 2016)

El objetivo de este trabajo es realizar la estimación de metano producida por el ganado bovino en una finca del Departamento del Meta a través de la metodología del IPCC¹ de Nivel 1 la cual se basa en factores de emisión por defecto y en la población de ganado y de Nivel 2 donde se toman en cuenta variables como el sexo, edad, peso, nutrición, digestibilidad del alimento y factor de conversión de metano los cuales son determinantes en la producción de metano entérico, con el fin de obtener una estimación acertada al comparar las dos metodologías y donde se pueda evidenciar la importancia de crear estrategias para la mitigación de este gas de efecto invernadero y fuerte contribuyente al cambio climático.

¹ Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)

Planteamiento Del Problema

Descripción del Problema

Durante las últimas décadas la concentración de gas metano en la atmosfera ha aumentado drásticamente, cerca de 500 millones de toneladas métricas/ año ingresan a la atmosfera debido a las actividades realizadas por el hombre (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005) y representa aproximadamente el 16% del calentamiento global antropogénico. Su porcentaje de concentración solo es superado por el dióxido de carbono el cual representa el 76% de las emisiones, (IPCC, 2014) sin embargo el metano se está incrementado rápidamente y puede que con el tiempo llegue a ser predominante, además su efecto contaminante es de 21 a 30 veces mayor que el dióxido de carbono. (Carmona, Bolívar, & Giraldo, 2005)

La causa principal del aumento de los gases de efecto invernadero a la atmosfera se debe especialmente a las actividades que realiza el hombre dentro las cuales la ganadería cumple un papel importante, según la base de datos de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el 56% de las emisiones mundiales generadas por el sector agropecuario se deben a la ganadería por la fermentación entérica y la gestión del estiércol. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2014) El sector ganadero se ha ido transformando rápidamente en las últimas décadas debido al aumento en la demanda de alimentos, es el sector que más rápido crece en la economía agropecuaria y es responsable de la mayor parte de uso mundial de tierras ya que representa el 80% de todas las zonas rurales. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2016)

En el caso de Colombia, la producción ganadera representa gran importancia en la economía del país siendo el Meta uno de los cinco departamentos que se destacan por tener mayor cantidad de ganado vacuno, según el Censo Bovino realizado en el 2017 el Meta concentro un hato de 1'734.106 cabezas. (Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 2017) Al ser el departamento del Meta uno de los mayores productores de ganado también es uno de los fuertes contribuyentes de las emisiones de gas metano a la atmosfera, en el estudio realizado por la Financiera del Desarrollo (FINDETER) en el municipio de Villavicencio las emisiones de gas

metano (CH_4) por el sector ganadero fueron de 5.240,06 toneladas para el año 2014 y se posiciona como la segunda fuente principal de las emisiones contaminantes del municipio. (FINDETER, 2014)

Las investigaciones que se han realizado hasta el momento sobre las emisiones de metano por la ganadería bovina se han asentado principalmente en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero en Colombia que son presentados a la Convención Marco de las Naciones Unidas; en el cual su último reporte fue a través de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático realizado por el IDEAM (1990-2012) en donde se evidencio que el Meta se posiciona en el segundo lugar por su alta contribución a la emisión de GEI del País. El departamento está caracterizado por emisiones asociadas a actividades forestales y agropecuarias. La pérdida de bosque natural que se convierte en pastizales y a otras tierras forestales representa el 63% de las emisiones. La población bovina corresponde al 7,25% del total nacional y son responsables del 11% de las emisiones por metano entérico. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2012).

Estos inventarios brindan información acerca del total de las emisiones generadas en todo el País por los diferentes sectores productivos a un nivel muy general, debido a que se basan en el Nivel 1 de las directrices que ha desarrollado el IPCC para la estimación de gas metano en la ganadería; ya que para aplicar el Nivel 2 se necesita de información detallada sobre los procesos productivos de la ganadería que hasta el momento no se encuentran disponibles. Por consiguiente, las estimaciones no son lo suficientemente exactas en cuanto a la cantidad total de metano producido por la ganadería a nivel nacional y departamental.

Formulación en Torno al Problema

¿Cuál es la variabilidad de las emisiones de metano generadas por el ganado vacuno dependiendo del nivel de análisis en la Hacienda Guatiquila ubicada en el departamento del Meta?

Hipótesis

La presente investigación parte de la siguiente hipótesis:

Las emisiones de metano entérico están asociadas con los requerimientos de energía neta que necesita el ganado bovino para sus diferentes actividades como: mantenimiento, crecimiento, lactancia y preñez.

Objetivos

Objetivo General

Estimar las emisiones de metano entérico del ganado bovino en la Hacienda Guatiquila ubicada en la Vereda Veracruz, Cumaral – Meta, aplicando el Nivel 1 y 2 establecido por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Objetivos Específicos

- Caracterizar la población de ganado bovino de acuerdo al sistema de producción de la hacienda Guatiquila en el municipio de Cumaral - Meta.
- Estimar las emisiones de metano generadas en la hacienda a través de la metodología del IPCC de Nivel 1 y posteriormente del Nivel 2 en la Hacienda Guatiquila en el municipio de Cumaral - Meta.
- Generar estrategias de mitigación y compensación de las emisiones de metano en la hacienda Guatiquila en el municipio de Cumaral - Meta.

Justificación

Los estudios realizados hasta el momento a nivel Nacional como el Inventario Nacional y Departamental de GEI y a nivel local con el estudio realizado por FINDETER, se han realizado con metodología de Nivel 1 del (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. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

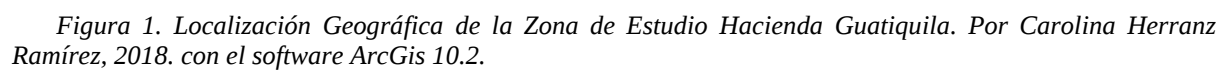
Esta investigación tiene como fin obtener información acerca de la cantidad de gas metano que es emitido por la ganadería bovina en la Hacienda Guatiquila ubicada en el Departamento del Meta, aplicando la metodología de Nivel 1 y Nivel 2 que se plantean en las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Estas metodologías requieren de información detallada más específicamente el alcance de Nivel 2, además se realizará la estimación con datos específicos de la producción de ganado en la hacienda a fin de respaldar una estimación confiable. Lo anterior debido a que en las directrices del IPCC se utilizan datos generales globales para la estimación de ingesta de alimentos, digestibilidad y para el factor de conversión de Metano.

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.

Alcance

El estudio se realizó en el Departamento del Meta el cual es uno de los 32 departamentos de Colombia, se encuentra localizado en la región centro-oriental del país; es el cuarto departamento más extenso de Colombia. Su principal fuente de riqueza es la explotación de hidrocarburos, seguida de la ganadería de extensión y la agricultura (Departamento del Meta, 2015). Específicamente el hato de estudio se encuentra ubicado en el Municipio de Cumaral ya que el sector agropecuario es la base de su economía y la mayor fuente de generación de empleo. Debido a la variedad topográfica de su territorio, se encuentran diversos tipos de explotaciones agropecuarias, predominando la Ganadería en el sector pecuario con una cabaña bovina de 58.245 animales en el municipio. (Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 2017) El municipio de Cumaral se encuentra localizado en la parte Noroccidental del Departamento del Meta. Tiene una extensión total de 580 km² y se encuentra a 26 km de Villavicencio. (Municipio de Cumaral, 2009)

El estudio se realizó en la Hacienda Guatiquila la cual asentaba un hato de 355 cabezas de ganado para el año 2017, la Hacienda tiene un área total de 125 hectáreas divididas en dos predios en donde el primero cuenta con 99 ha de las cuales 11 ha son de cobertura vegetal y 85 ha son destinadas para la producción de ganado bovino las 3 ha restantes corresponden al área de construcción como la casa, la vía y el corral. Con respecto al predio dos; cuenta con 26 hectáreas donde 20 ha son destinadas al ganado y 6 ha corresponden a la cobertura vegetal; la hacienda cuenta con un acueducto construido de 7 km para uso doméstico y para el suministro del ganado a partir de la fuente hídrica Caño La Abeja que pasa por la hacienda. (Ver anexo1. Delimitación de la Hacienda Guatiquila)



Antecedentes

Con el fin de diseñar respuestas y crear estrategias para la mitigación y adaptación del cambio climático es necesario obtener información cualitativa y cuantitativa a través de evaluaciones detalladas de las emisiones generadas en las diferentes actividades antrópicas; Marcela Poulain Zapata realizó un estudio en el 2006 en el cual se estimaron las emisiones de gases de efecto invernadero y la propuesta de una estrategia para su reducción y captura en la Región de Aysén (Chile); Uno de los cálculos fue el realizado en el sector no-energía² el cual indicó para el año 2003 en el módulo agricultura la emisión de 462,34 Gg CO₂-equivalente generados principalmente por la fermentación entérica del ganado (62%), suelos agrícolas (34%), manejo del estiércol (4%) y en menor medida la quema de residuos agrícolas (0,02%).

Zapata en su investigación resalta la importancia de fortalecer la recolección de datos, monitoreo e investigación en vulnerabilidad y adaptación y además la necesidad de promover y fortalecer los mecanismos de participación social, en cuanto a la generación y acceso a la información pública. (Zapata, 2006)

En la Revista de Investigaciones Agropecuarias fue publicado un artículo por Guzmán y Sager, en el cual se realizó un inventario de metano entérico de los sistemas de producción de carne para San Luis (Argentina) en el año 2009, después de revisar y realizar un análisis crítico de los últimos inventarios de los informes presentados a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) los cuales mostraron que el sector agropecuario Argentino representa el 50% aprox. del total de los GEI, de los cuales más del 35% correspondía al metano producto por la fermentación entérica del ganado vacuno. Se consideró apropiado la mejora de los datos de fuentes base, integrándola no solo con la categoría animal sino también con los sistemas de producción y ofertas forrajeras propias del país; con el fin de evitar el uso de los factores por defecto propuestos por el IPCC.

La estimación para el año 2009 en San Luis fue de 2.128,82 Gg CO₂eq; según Guzmán y Sager el aporte a la emisión total es bajo, pero resaltan que a la provincia le significa un costo

² Sector no-energía: Comprende las actividades de agricultura, silvicultura, cambio de uso de la tierra y gestión de residuos. (Zapata, 2006)

social de 13,04 Kg CO₂eq/kg carne. En consecuencia, los autores exponen la importancia de buscar estrategias de cambio en los sistemas de producción, que transformen la cadena de la carne de la provincia sustentable en lo ambiental, social y económico. (Guzman & Sager, 2013)

A través de diferentes estudios se ha evidenciado la fuerte y alta contribución de las diferentes actividades antrópicas al aumento de las emisiones de GEI como es el caso de Colombia en el que se evidencio a través de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático con su Inventario Nacional y Departamental de Gases de efecto Invernadero – Colombia realizado por el IDEAM (1990- 2012).

Este inventario se llevó a cabo con el fin de cumplir con el compromiso que adquirió Colombia en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) el cual fue reportar periódicamente sus emisiones de gases de efecto invernadero en cada uno de los módulos que contempla el IPCC (Energía, Residuos, Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU) y Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU)), el inventario se realizó siguiendo las orientaciones metodológicas desarrolladas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC-2006) la cual se basa en datos de actividad provenientes de las estadísticas nacionales y departamentales, y en factores de emisión.

Los resultados obtenidos en el informe muestran que el Meta es el segundo departamento con mayores emisiones de GEI, en el departamento los municipios que generan mayor cantidad de emisiones son Puerto Gaitán, Mapiripán, Puerto Rico y la Macarena seguidos por Villavicencio, Uribe, Vista Hermosa y Puerto Concordia. Siendo el sector agropecuario el responsable del 21,13% de las emisiones totales del departamento. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2012)

En el informe elaborado por FINDETER (2014) en el cual se realizó un Estudio de Mitigación de Cambio Climático para el municipio de Villavicencio Meta se planteó una hoja de ruta de mitigación al año 2050. Como primer objetivo se realizó un diagnostico cuantitativo y cualitativo de las emisiones de gases de efecto invernadero provocados por actividades antropogénicas el cual se basa en un inventario que sigue la metodología GPC Basic+ (versión 2014) y se realizó para el año base 2014 y para el 2005.

Según los resultados del estudio para el 2014 el sector AFOLU (Agricultura, Silvicultura y otros usos del suelo) representa el segundo lugar aportando el 26% de las emisiones antropogénicas totales en Villavicencio, además que en el sector AFOLU la ganadería es la actividad que emite mayor cantidad de gas metano, contribuyendo con 5.240,06 ton para el 2014 suponiendo un 53% sobre el total de las emisiones en el sector debido a que el municipio cuenta con una zona agropecuaria con ganadería bovina extensiva que para el año en estudio fueron aproximadamente 92.917 cabezas. (FINDETER, 2014)

Marco De Referencia

Marco Teórico

Nutrición Animal

En la revisión bibliográfica presentada por Vargas, Cárdenas, Pabón & Carulla (2012) se evaluaron los diferentes aspectos que determinan las emisiones de metano en rumiantes en pastoreo; dentro de las cuales se encuentran:

- Tipo de pastura
- Manejo de la pastura

En cuanto al tipo de pastura existen contrastes entre especies con respecto a la emisión de metano que están asociadas a diferencias en:

- Concentraciones de fibra: Cuando el alimento tiene altas concentraciones de fibra es más difícil que el animal pueda digerir rápidamente el alimento ocasionando que se demore más tiempo en el rumen dando lugar a la fermentación entérica la cual produce metano.
- Variaciones en las tasas de paso: El contenido de materia orgánica en el rumen está directamente relacionado con la producción de metano. Entre mayor sea la tasa de paso menor producción de metano.
- Consumo de materia seca: El consumo de materia seca es el principal factor que influye sobre la producción de CH₄ entérico, en las diferentes investigaciones han encontrado una estrecha relación entre la producción de metano con la cantidad de alimento y la digestibilidad de la dieta. Debido a que se presenta una mayor producción de CH₄ en dietas de baja digestibilidad a un nivel de consumo para mantenimiento, mientras que en dietas con alta digestibilidad y un consumo tres veces mayor al de mantenimiento disminuyo la producción de CH₄. (Vargas, Cárdenas, Pabón, & Carulla, 2012)

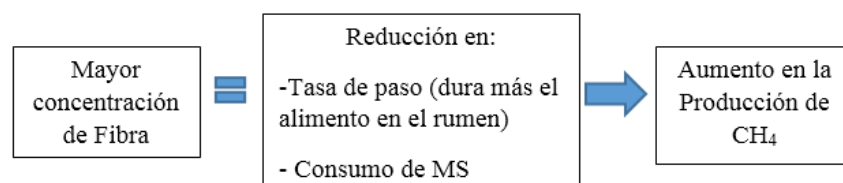


Figura 2. Asociación de las características de las pasturas con las emisiones de CH₄. Adaptado de (Vargas et al. 2012)

Factor de Conversión a Metano (Y_m)

El IPCC define el factor de conversión de metano como “El grado en el que la energía del alimento se convierte en metano (CH₄)”. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006). El IPCC plantea unos valores para Y_m como orientación respecto a las características de la alimentación y las prácticas de producción en general de diferentes países desarrollados y en desarrollo (Tabla 1.) Lo anterior en caso de que en la zona de estudio no se encuentren datos específicos del País para Y_m. La elección del valor para el factor se basa principalmente en el tipo de alimentación del ganado. Cuando se suministra una buena alimentación (con alta digestibilidad y altos valores de energía), se deben utilizar los límites inferiores, por otro lado cuando la alimentación es más pobre se utilizan los límites superiores. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

Tabla 1. Factores de Conversión de CH₄ (Y_m)

CATEGORÍA DE GANADO	Y _m ^b
Vacunos alimentados a corral ^a	3,0% ± 1,0%
Lecheras y su progenie	6,5% ± 1,0%
Otros vacunos que se alimentan fundamentalmente con desechos y subproductos agrícolas de baja calidad	6,5% ± 1,0%
Otros vacunos – en pastoreo	6,5% ± 1,0%

^a Cuando los alimentos utilizados contienen un 90% o más de concentrados.

^b Los valores ± representan el rango

Nota: Adaptado de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 10 Emisiones Resultantes de la Gestión del Ganado y del Estiércol. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

(Cambra, Rebollar, Estellés, & Torres, 2008) Realizaron una revisión de los valores disponibles de Y_m en rumiantes, con el fin de desarrollar ecuaciones de predicción a partir de la digestibilidad de la dieta. Ellos exponen que existe una relación negativa entre el Y_m y la

digestibilidad, por lo tanto a medida que aumenta la digestibilidad disminuye el factor de conversión a metano.

Marco Conceptual

Metano

Se ha estimado que el metano es 21 veces más efectivo que el dióxido de carbono (CO_2) en atrapar calor (el PCG del metano es 21) (IPCC, 1994). La fuente más importante de metano es la descomposición de materia orgánica en sistemas biológicos:

- Las actividades agrícolas relacionadas con: a) fermentación entérica como consecuencia del proceso digestivo de los herbívoros; b) descomposición en condiciones anaerobias (sin oxígeno) del estiércol generado por especies pecuarias; c) cultivos de arroz bajo riego y d) quemas de sabanas y residuos agrícolas.
- Disposición de residuos sólidos.
- El tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales.

El metano es removido de la atmósfera por reacción con radicales hidroxilos (OH) convirtiéndose finalmente en CO_2 . (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007) 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. 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)

Dióxido de Carbono Equivalente (CH_4 - eq)

La contribución del metano al efecto invernadero a escala global es muy alta debido al mayor potencial de calentamiento que caracteriza a este gas. En efecto, los GEI presentan diferente capacidad de atrapar calor en la atmósfera. Por esta razón el IPCC (1994) ha definido el concepto de Potencial de Calentamiento Global (PCG) de diferentes gases, tomando como referencia al CO_2 (IPCC, 1994). Las emisiones de CO_2 equivalente constituyen un valor de referencia y una métrica útil para comparar emisiones de GEI diferentes.

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 sus PCG respectivos para tener en cuenta los distintos tiempos que se mantienen en la atmósfera. (Oficina Catalana del Cambio Climático, 2011)

Fermentación entérica

El proceso mediante el cual se produce metano es durante el proceso digestivo de los animales. La cantidad de metano producida y excretada depende fundamentalmente de dos factores: el tipo de animal, y el tipo de dieta a la que los animales están sujetos. El tipo de sistema digestivo es el factor más determinante de las cantidades de metano producidas y emitidas. Los rumiantes (ganado vacuno, ganado ovino) son los que producen mayores cantidades debido a la fermentación entérica que tiene lugar en el rumen durante la digestión (Baethgen & Martino, 2000) la cual se da por un grupo altamente especializado de microorganismos, los cuales son anaerobios obligados.

La producción de CH_4 por estos microorganismos es parte de su metabolismo energético, y la mayoría utilizan dióxido de carbono (CO_2) como su aceptor terminal de electrones en la respiración anaeróbica, convirtiéndolo a CH_4 ; el donador de electrones utilizado en este proceso es generalmente el dihidrógeno (H_2). Las condiciones anaerobias, la ausencia de luz y la presencia de Nitrato (NO_3), Azufre (S) y Sulfato (SO_4) que caracterizan la fermentación de materia orgánica (MO), conducen a la formación de metano. (Cárdenas & Flores, 2012)

Marco Legal

La 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 a). *Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropógenas 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; b). 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 antropógenas 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 de 1994 "Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", 1994)

El 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. (Decreto 298, 2016)

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 COMPES 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. (Compes 3700, 2011)

Metodología

Fase 1 Caracterización de la población de ganado bovino presente en la hacienda Guatiquila.

1. Se realizaron visitas de reconocimiento y recolección de información del hato con el fin de:
 - 1.1 Caracterizar y zonificar la Hacienda Guatiquila

A partir de la georeferenciación de las coordenadas que limitan las zonas de interés se realizó la siguiente clasificación:

- Linderos de la hacienda
- Fuente hídrica
- Área destinada para el ganado
- Numero de lotes para ganado
- Cobertura vegetal

Posteriormente se realizó el recorrido guiado por el encargado de la hacienda donde se georeferenciaron espacialmente las coordenadas planas en el GPSMAP 64s Garmin y se le asignaron las siguientes nomenclaturas:

Tabla 2. Nomenclatura

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN
DP_001	Delimitación del Predio objeto de estudio
LG_001	Lotes destinados para la producción ganadera bovina
Fh_001	Fuente hídrica que colinda con el Predio
Cv_001	Cobertura vegetal presente en el Predio

Nota: Zonas de interés delimitadas, por Carolina Herranz Ramírez, 2018

- 1.2 Crear una base de datos con la información necesaria para la estimación de metano entérico producido por la ganadería bovina presente en la hacienda Guatiquila.

- 1.3 Inicialmente se realizó una entrevista semiestructurada con el Señor Ariel Jiménez propietario de la hacienda Guatiquila donde se compilo la información suministrada con el fin de construir el inventario del número de cabezas de ganado; la situación alimentaria, tipo de producción de la hacienda y categorizar los animales por sexo, edad y peso.

Posteriormente se categorizo el ganado de acuerdo al manejo y al tipo de producción del hato de la siguiente manera:

Tabla 3. Categorías de Ganado

HEMBRAS	MACHOS
Terneras	Terneros
Novillas	Novillo de Levante
Vacas Etapa Reproductiva	Novillo Adulto
Vacas Adultas	

Nota: Categorización de ganado presente en la hacienda Guatiquila, por Carolina Herranz, 2018

Finalmente, de acuerdo a lo establecido por el IPCC las variables necesarias para calcular la estimación de metano entérico producido por el ganado bovino son:

- Número de cabezas de ganado
- Vacas lactando (#)
- Vacas preñadas (#)
- Peso Vivo BW (kg)
- Aumento de peso por día WG (kg)
- Peso Maduro MW (kg)
- Situación Alimentaria de los bovinos
- Producción Diaria de leche (kg/día)
- Contenido Graso (%)
- Digestibilidad de Alimentos (%)

Fase 2 Estimación de las emisiones de metano entérico para los dos niveles de aplicación.

La estimación se realizó en primera medida para el Nivel 1 y posteriormente para el nivel 2 de la siguiente manera:

2.1 Estimación de Nivel 1: Es un método simplificado que se basa en la población promedio anual de ganado vacuno y en factores de emisión por defecto. La metodología se basó en dos etapas (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006):

2.1.1 Elección del factor de emisión por defecto: Están establecidos por el IPCC 2006 y representan de forma amplia las tasas de emisión dentro de cada una de las regiones descritas expuestas en la (Tabla 4).

Para seleccionar el factor de emisión se identificó la región que más se asemeja a las condiciones y características del ganado bovino presente en el hato de estudio como el peso, situación alimentaria y producción de leche debido a que estos fueron los parámetros utilizados por el IPCC 2006 para desarrollar los factores de emisión de cada región. (Ver tabla No. 4 y 5)

Tabla 4. Parámetros para el desarrollo de los Factores de Emisión

Región	Peso Kg	Situación alimentaria	Leche Kg día ⁻¹	% Preñadas	Digestibilidad de alimentos	Factor conversión CH ₄ (Ym)
América del Norte	600	Engorde Establo	23,0	90%	75%	6,5%
Europa Occidental	600	Engorde Establo	16,4	90%	70%	6,5%
Europa Oriental	550	Engorde Establo	7,0	80%	60%	6,5%
Oceanía	500	Pastura/ Prado	6,0	80%	60%	6,5%
América Latina	400	Pastura/ Prado	2,2	80%	60%	6,5%
Asia	350	Engorde Establo	4,5	80%	60%	6,5%
África	275	Engorde Establo	1,3	67%	60%	6,5%
Subcontinente Indio	275	Engorde Establo	2,5	50%	55%	6,5%

Nota: Adaptado de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 10 Emisiones Resultantes de la Gestión del Ganado y del Estiércol. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

Tabla 5. Factores de emisión por defecto para cada Región

FACTORES DE EMISION POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA DE NIVEL 1 PARA GANADO BOVINO		
Regiones	Categoría de ganado	Factor de Emisión (kg ch ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹)
América del Norte	Lechero	121
	Otros vacunos	53
Europa Occidental	Lechero	109
	Otros vacunos	57
Europa Oriental	Lechero	89
	Otros vacunos	58

Tabla 5. Continuación

Oceanía	Lechero	81
	Otros vacunos	60
América Latina	Lechero	63
	Otros vacunos	56
Asia	Lechero	61
	Otros vacunos	47
África y Oriente Medio	Lechero	40
	Otros vacunos	31
Subcontinente Indio	Lechero	51
	Otros vacunos	27

Nota: Adaptado de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 10 Emisiones Resultantes de la Gestión del Ganado y del Estiércol. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

2.1.2 Emisión Total: En primer lugar se estimó la emisión de metano por fermentación entérica del ganado bovino ($\text{Kg CH}_4 \text{ año}^{-1}$) por cada categoría a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 1

Emisión de CH₄ por categorías

$$\text{Emisiones} = \text{EF}_{(T)} * (\text{N}_{(T)})$$

Donde:

$\text{EF}_{(T)}$ = Factor de emisión para la población de ganado, $\text{Kg CH}_4 \text{ cabeza}^{-1} \text{ año}^{-1}$

$\text{N}_{(T)}$ = Número de cabezas de ganado por categoría

T = Categoría de Ganado

Por ultimo para obtener las emisiones totales de metano ($\text{Kg CH}_4 \text{ año}^{-1}$) en el hato se realizó la sumatoria de las emisiones de todas las categorías.

Ecuación 2

Emisión Total de CH₄

$$\text{Total CH}_4 = \sum_i E_i$$

Dónde:

E_i = Emisiones de las i^{th} categorías de ganado

2.2 Estimación para el Nivel 2: La estimación se basa principalmente en la productividad animal y en la calidad y cantidad de la dieta, el procedimiento para la estimación se dividió en cuatro pasos:

2.2.1 Cálculos de la energía Bruta: Los datos sobre el comportamiento y la dieta animal se emplean para estimar la ingesta de alimentos, es decir, la cantidad de energía (MJ/día) que necesita un animal para su mantenimiento y para actividades tales como el crecimiento, la lactancia y la preñez. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006).

- Mantenimiento (NE_m): energía neta requerida para mantenimiento; es decir, la cantidad de energía necesaria para mantener a un animal en equilibrio sin que se gane ni se pierda energía corporal.

Ecuación 3

Energía neta para Mantenimiento (NE_m)

$$NE_m = Cf_i * (Peso)^{0,75}$$

Dónde:

NE_m = Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento, MJ día⁻¹

Cf_i = Coeficiente que varía para cada categoría (Tabla 6.) MJ día⁻¹Kg⁻¹

Peso = Peso vivo del animal; Kg

Tabla 6. Coeficientes para calcular la energía neta para mantenimiento (NE_m)

Categoría Animal	Cf_i (MJ d ⁻¹ kg ⁻¹)	Comentarios
Bovinos (No en lactancia)	0,322	---
Bovinos (en lactancia)	0,386	Este valor es un 20% más alto para mantenimiento durante la lactancia.
Toros	0,370	Este valor es un 15% más alto para mantenimiento de machos enteros

Nota: Adaptado de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 10 Emisiones Resultantes de la Gestión del Ganado y del Estiércol. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

- Actividad (NE_a): La energía que necesitan los animales para obtener su alimento, agua y refugio. Se basa en su situación alimentaria más que en las características del alimento en sí.
-

$$\text{Ecuación 4}$$

$$\text{Energía neta para Actividad (NE}_a\text{)}$$

$$\text{NE}_a = C_a * \text{NE}_m$$

Dónde:

NE_a = Energía neta para la actividad animal, MJ día⁻¹

C_a = Coeficiente correspondiente a la situación alimentaria del animal (Tabla 4.)

NE_m = Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento, MJ día⁻¹

Tabla 7. Coeficientes de actividad correspondientes a la situación alimentaria de los animales

SITUACIÓN	DEFINICIÓN	C _a
Compartimiento	Los animales están confinados en una pequeña superficie de lo que resulta que gastan muy poca o ninguna energía en procura de alimento.	0,00
Pastura	Los animales están confinados en áreas con suficiente forraje, lo que exige un escaso gasto de energía en procura del alimento.	0,17
Grandes superficies de pastoreo	Los animales pastan a campo abierto o en terrenos accidentados y gastan una cantidad significativa de energía en procura de su alimento.	0,36

Nota: Adaptado de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, Capítulo 10 Emisiones Resultantes de la Gestión del Ganado y del Estiércol. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

- Lactancia (NE_l): La energía neta para lactancia se expresa como función de la cantidad de leche producida y su contenido graso expresado como porcentaje (%).

$$\text{Ecuación 5}$$

$$\text{Energía neta para lactancia (NE}_l\text{)}$$

$$\text{NE}_l = \text{Leche} * (1,47 + 0,40 * \text{Grasa})$$

Dónde:

NE_l = Energía neta para lactancia, MJ día⁻¹

Leche = Cantidad de leche producida, Kg de leche día⁻¹

Grasa = Contenido graso de la leche, % por peso

- Preñez (NE_p): Es la energía neta para la preñez. El total de requerimiento de energía para la preñez durante un período de gestación de 281 días, promediado para todo un año, se calcula como el 10% de la Energía neta para mantenimiento (NE_m).

Ecuación 6

Energía neta para Preñez (NE_p)

$$NE_p = C_{\text{preñez}} * NE_m$$

Donde:

NE_p = Energía neta para la preñez, MJ día⁻¹

C_{preñez} = Coeficiente de preñez (0,10)

NE_m = Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento, MJ día⁻¹

- Crecimiento (NE_g): Es la energía neta necesaria para el crecimiento (es decir, para ganar peso).

Ecuación 7

Energía neta para Crecimiento (NE_g)

$$NE_g = 22,02 * \left(\frac{BW}{C * MW} \right)^{0,75} * WG^{1,097}$$

Donde:

NE_g = Energía neta para crecimiento, MJ día⁻¹

Bw= 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 día⁻¹

- Relación entre la energía neta disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (REM).

Ecuación 8

(REM)

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

Donde:

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

- Relación entre la energía neta disponible en la dieta para crecimiento y la energía digerible consumida (REG).

Ecuación 9

(REG)

$$REG = [1164 - (5160 * 10^{-3} * DE\%) + \{1308 * 10^{-5} * (DE\%)^2\} - (\frac{37,4}{DE\%})]$$

Dónde:

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

- Energía bruta (EB): El requerimiento de EB se deriva sobre la base de la suma de los requerimientos de energía neta y las características de disponibilidad de energía del alimento. Sólo se utilizan los términos correspondientes a cada categoría animal.

Ecuación 10

Requerimiento de Energía Bruta

$$EB = \left[\frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_p}{REM} \right) + \left(\frac{NE_g}{REG} \right)}{\frac{DE\%}{100}} \right]$$

Dónde:

EB = Energía bruta, MJ día⁻¹

NE_m = Energía neta requerida por el animal para su mantenimiento MJ día⁻¹

NE_a = energía neta para la actividad animal, MJ día⁻¹

NE_l = energía neta para lactancia, MJ día⁻¹

NE_p = energía neta requerida para la preñez, MJ día⁻¹

REM = relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida

NE_g = energía neta para el crecimiento, MJ día⁻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.

Una vez calculados los valores de la Energía bruta (GE) para cada subcategoría animal, debe calcularse la ingesta de alimento en kilos de materia seca por día (kg día⁻¹).

- 2.2.2 Estimación de Ingesta de alimentos (DMI):** La ingesta de alimentos se mide en términos de energía bruta MJ día⁻¹ o de materia seca kg día⁻¹. La materia seca es la cantidad de alimentos consumidos (kg) una vez corregida por el contenido de agua de la dieta completa. La predicción de la ingesta de materia seca se estima sobre la base de peso corporal y de la concentración dietaria de energía neta (NE_{ma}) o de los valores de

energía digerible (DE%) (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006). Para esta estimación se utilizaron ecuaciones diferentes para cada categoría de ganado.

- Vacas en estado reproductivo y para Novillos Adultos

$$\begin{array}{c} \text{Ecuación 11} \\ \text{Ingesta de alimentos para Vacas Reproductivas y} \\ \text{Novillos Adultos} \\ DMI = BW^{0,75} * \left[\frac{(0,0119 * NE_{ma}^2 + 0,1938)}{NE_{ma}} \right] \end{array}$$

Dónde:

DMI = Ingesta de materia seca, kg día⁻¹

BW = Peso vivo, kg

NE_{ma} = Concentración de energía neta dietaria estimada

- Vaca adulta

$$\begin{array}{c} \text{Ecuación 12} \\ \text{Ingesta de alimentos para Vaca Adulta} \\ DMI = \left[\frac{\left(\frac{(5,4 * BW^2)}{500} \right)}{\left(\frac{(100 - DE\%)}{100} \right)} \right] \end{array}$$

Dónde:

DMI = Ingesta de materia seca, kg día⁻¹

BW = Peso vivo, kg

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

- Ternera, Novilla, Ternero, Novillo

$$\begin{array}{c} \text{Ecuación 13} \\ \text{Ingesta de alimentos para Terneros (as) y Novillos (as)} \\ DMI = BW^{0,75} * \left[\frac{(0,2444 * NE_{ma} - 0,0111 * NE_{ma}^2 - 0,472)}{NE_{ma}} \right] \end{array}$$

Dónde:

DMI = Ingesta de materia seca, kg día⁻¹

BW = Peso Vivo, kg

NE_{ma} = Concentración de energía neta dietaria estimada

2.2.3 Factores de emisión: Los factores de emisión para cada categoría de ganado se estimaron sobre la base de la ingesta de energía bruta y el factor de conversión a metano correspondiente a cada categoría.

- Obtención del factor de conversión en metano: Es el grado en el que la energía de los alimentos se convierte en y depende de varios factores alimentarios. Para obtener el factor de conversión se aplicó la siguiente ecuación establecida por (Cambra, Rebollar, Estellés, & Torres, 2008)

Ecuación 14

Factor de conversión a CH₄ (Y_m)

$$Y_m = -0,0038 * DE^2 + 0,3501 * DE - 0,8111$$

Dónde:

Y_m= Factor de conversión de CH₄, expresado como la fracción de la Energía Bruta (EB) del alimento que se transforma en CH₄

DE= Digestibilidad de la energía (%ED)

- Desarrollo de factores de emisión: Son el coeficiente que relaciona los datos de actividad con la cantidad del compuesto químico que constituye la fuente de las últimas emisiones. (IPCC Anexo 3, 2006)

Ecuación 15

Factor de emisión CH₄

$$EF = \left[\frac{GE * \left(\frac{Y_m}{100} \right) * 365}{55,65} \right]$$

Dónde:

EF = Factor de emisión, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

GE = Ingesta de energía bruta, MJ cabeza⁻¹ día⁻¹

Y_m = factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano

El factor 55,65 (MJ/kg CH₄) es el contenido de energía del metano.

2.2.4 Emisión Total: Para estimar las emisiones totales, los factores de emisión seleccionados se multiplicaron por la población animal asociada y se sumaron

- Emisiones por fermentación entérica de una categoría de ganado.

Ecuación 1. <i>Emisión de CH₄ por categorías</i> $\text{Emisiones} = \text{EF}_{(T)} * (\text{N}_{(T)})$

Dónde:

EF_(T) = Factor de emisión para la población de ganado, Kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

N_(T) = Número de cabezas de ganado por categoría

T = Categoría de Ganado

- Emisiones totales por fermentación entérica del ganado vacuno.

Ecuación 2. <i>Emisión Total de CH₄</i> $\text{Total CH}_4 = \sum_i E_i$

Dónde:

E_i = Emisiones de las ith categorías de ganado

3. Análisis Estadístico

A partir de los datos obtenidos anteriormente para la metodología de Nivel 1 y Nivel 2

1.1 Se creó una base de datos mediante el paquete estadístico SPSS versión 24.0

1.2 Se segmentaron los datos por categorías, posteriormente se sacaron las medias y se graficaron los resultados para cada uno de los requerimientos de energía neta, energía bruta y posteriormente para el factor de emisión de metano.

1.3 Se realizó un análisis descriptivo del comportamiento de las variables objeto de estudio

Fase 3 Estrategias de mitigación y compensación de las emisiones de CH₄

Se realizó una búsqueda y recopilación de información secundaria asociada a las emisiones de metano a través de (artículos de revistas científicas, informes de investigación, tesis de maestría) la cual suministro información que permitió el planteamiento de las estrategias de mitigación y compensación de las emisiones de metano en la hacienda Guatiquila que tuvieron en cuenta:

- Alternativas de mitigación sin afectar la producción ganadera
- Plantas con características adaptativas a la región con potencial del servicio ambiental de provisión y regulación

Resultados y Análisis

Fase 1. Caracterización de la población de ganado bovino presente en la hacienda Guatiquila.

Sistema productivo.

La hacienda Guatiquila emplea un sistema productivo de ciclo completo que consiste en la cría³, levante⁴ y ceba⁵ de Cebú Comercial, el ciclo productivo es “*Un proceso prolongado en el tiempo que involucra distintas etapas desde que el ternero nace hasta que está listo para la comercialización del producto final*” (Contexto Ganadero, 2016); donde el producto final en la hacienda Guatiquila es la carne para consumo humano.

Caracterización del ganado

La hacienda Guatiquila cuenta con un hato de 355 cabezas de ganado las cuales se caracterizaron en siete categorías de acuerdo al sexo, edad y peso: 10,9% Terneras, 15,2% Novillas, 9 % Vacas en estado reproductivo, 40,2% Vacas adultas, 9,8% Terneros, 11,8% Novillos de levante y 2,8% Novillos Adultos. La categoría con mayor número de animales es la Vaca Adulta; debido al sistema productivo de la hacienda, estos animales no son destinados para sacrificio sino para cría. En cuanto al menor número de animales se encuentra el Novillo Adulto ya que en esta edad alcanzan el peso requerido para sacrificio. (Tabla 8.)

Tabla 8. *Caracterización de ganado*

CATEGORIZACIÓN DE GANADO	EDAD	POBLACIÓN
Tenera	0-8 meses	39
Novilla	8-24 meses	54
Vaca en Estado Reproductivo	24-36 meses	32

³ Etapa de producción temprana, va desde el nacimiento hasta los 6 meses de edad

⁴ Desde el séptimo mes hasta los 18 meses, esta etapa es determinada por el peso (animales que estén por debajo de los 230 kilos)

⁵ Desde los 19 meses hasta los 24 -36 meses de edad. El límite lo define el peso de los animales, cuando alcanzan 450 kg a 470 kg los cebadores lo envían a un matadero (Contexto Ganadero, 2016)

Tabla 8. Continuación

CATEGORIZACIÓN DE GANADO	EDAD	POBLACIÓN
Vaca Adulta	> 36 meses	143
Ternero	0-8 meses	35
Novillo de Levante	8-18 meses	42
Novillo Adulto	18- 27 meses	10
TOTAL POBLACIÓN		355

Nota: Categorización de la población de ganado en la Hacienda Guatiquila, por Carolina Herranz Ramírez, 2018.

Alimentación

El ganado es alimentado con pasto *Brachiaria humidicola* esta gramínea ha sido aceptada por una gran cantidad de productores ganaderos en el departamento del Meta debido a su alta adaptabilidad y acondicionamiento a los suelos ácidos que caracterizan al departamento y a sus prolongados periodos tanto de sequía como de lluvia ya que posee excelentes cualidades que permiten su adaptación a diferentes condiciones como suelos ácidos y pobres en nutrientes; además por que soporta altas cargas de animales en pastoreo, asimismo presenta una ventaja comparativa con respecto a otras gramíneas ya que tiene un alto potencial para soportar condiciones adversas como periodos de sequía prolongados así como encharcamiento, produciendo en condiciones de buen manejo cantidades permanentes y suficientes de biomasa forrajera. (Orozco, Angulo, Pérez, & Liodoro, 2012)

La hacienda Guatiquila maneja un sistema de pastoreo rotacional el cual consiste en dividir los dos predios en 88 lotes mediante alambrados electrificados. Los lotes son pastoreados en forma gradual con el fin de darle tiempo a las de pasturas de veinte (20) días para recuperarse mientras el ganado está en continuo movimiento en otros lotes. El predio uno (1) cuenta con 86 lotes los cuales son distribuidos en seis grupos de ganado que se muestran en la (Tabla 9). Es necesario dividir el hato en grupos de acuerdo a sus necesidades alimenticias, su capacidad de movimiento, edad y función; esto con el fin de que la calidad del forraje a ofertar y a

consumir sea de acuerdo a los requerimientos de cada grupo. El movimiento de los animales por los lotes para el predio 1 se presenta en la Figura 3.

Tabla 9. Distribución del ganado

NUMERO	GRUPO
1	Próximas a parir y recién paridas
2	Hembras Vacías (Receptoras)
3	Hembras Preñadas
4	Novillas de levante
5	Hembras vacías con cría
6	Enfermería

Nota: Distribucion del ganado presente en la hacienda Guatiquila en grupos, Carolina Herranz Ramírez, 2018.

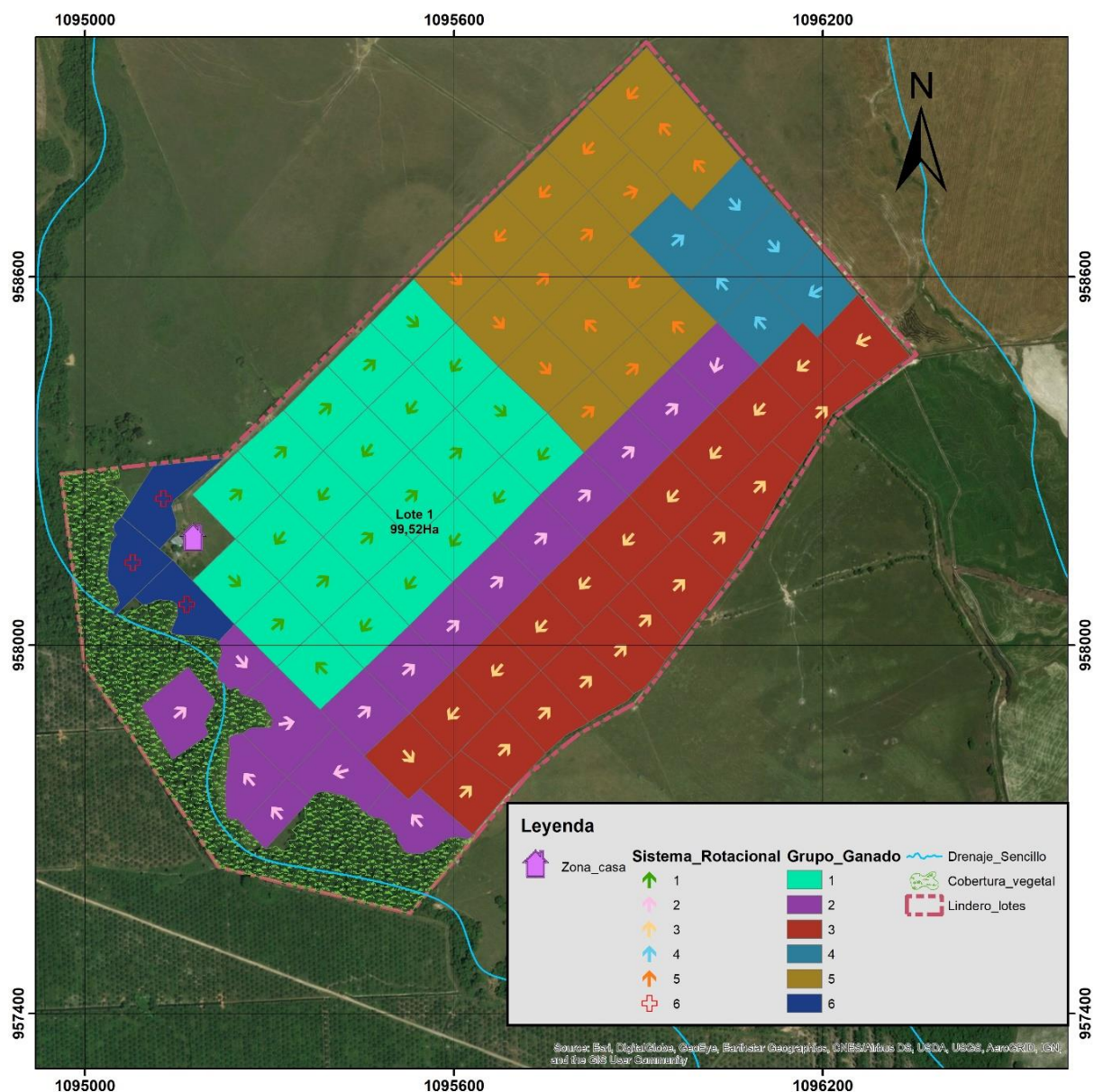


Figura 3. Sistema Rotacional del ganado bovino en el Lote 1 de la Hacienda Guatiquila. Por Carolina Herranz Ramírez, 2018. Elaborado con el software ArcGis 10.2.

El Lote dos (2) cuenta con dos parcelas de 20 ha las cuales son destinadas para Machos de levante y de ceba tanto destetos como adultos; la rotación es alternada en los dos lotes para permitir el crecimiento de la pastura, en este predio la estadía de los animales en cada lote es mayor que en los lotes del predio 1 debido a que la extensión del terreno es mayor en cada uno de los dos lotes, además que el número de cabezas es menor por lo tanto la pastura no sufre mucha presión, como es el caso del predio 1.

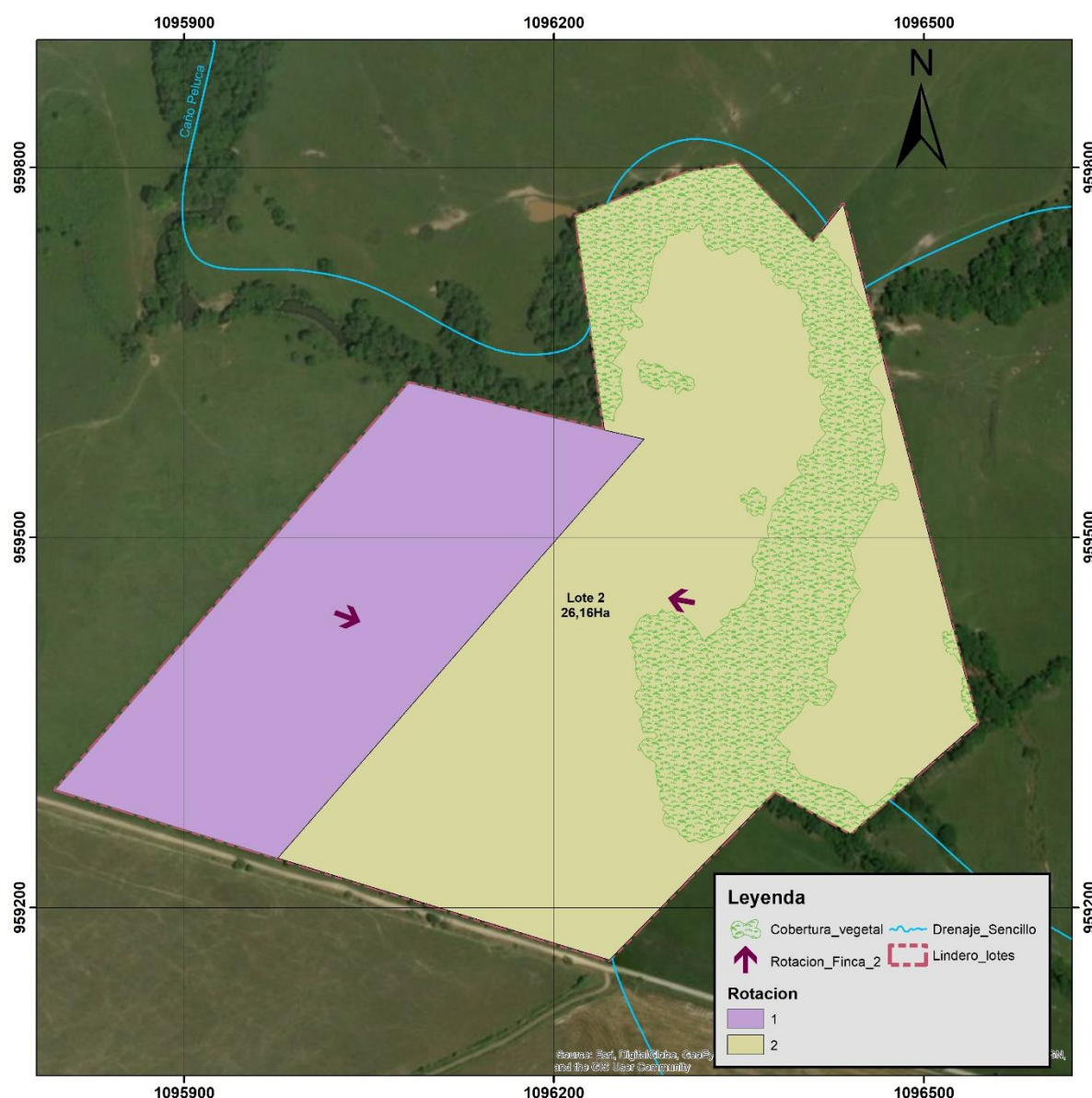


Figura 4. Sistema Rotacional del ganado en el Predio 2, por Carolina Herranz Ramírez, 2018. Elaborado con el software ArcGis 10.2.

FASE 2. Estimación de las emisiones de metano entérico para los dos niveles de aplicación.

NIVEL 1

La estimación se realizó en primera medida para el Nivel 1 que consiste en la población de ganado presente en la hacienda y del factor de emisión por defecto establecido por el IPCC para América Latina, el cual corresponde a 56 kg CH₄ /cab/año⁶ para bovinos no lecheros (ver Tabla 5 y 6); con este factor se estimaron las emisiones de metano por fermentación entérica

⁶ Factor Promedio: Factor de emisión de metano producido por cabeza de ganado al año

del ganado bovino presente en la hacienda Guatiquila el cual fue de 19.880 Kg CH₄/año (ver Tabla 10). Donde la mayor emisión de CH₄ fue para la categoría de Vacas Adultas debido al mayor número de animales presentes en la hacienda, siendo los Novillos adultos los que contribuyen con menos emisiones de CH₄.

Al realizar una estimación de las emisiones de metano a partir del Nivel 1 en el municipio de Cumaral el cual cuenta con una población de 58.245 cabezas de ganado según el censo bovino realizado por el ICA⁷ para el año 2017; la emisión estimada fue de 3'261.720 kg CH₄/año; siendo las Vacas Adultas la categoría con mayor emisión puesto que en el Municipio de Cumaral representan el 25,93% de la población total de ganado bovino. De acuerdo a la emisión estimada en Cumaral la hacienda Guatiquila estaría contribuyendo con el 0,64% de las emisiones totales del municipio.

Tabla 10. Estimación de la emisión de CH₄ entérico de Nivel 1

Categoría de Ganado	Nº de cabezas de ganado	Factor de emisión* (kg CH ₄ /cab/año)	Emisión de metano (kg CH ₄ /año)
Ternereras	39	56	2184
Novillas	54	56	3024
Vacas E. Reproductivo	32	56	1792
Vacas Adultas	143	56	8008
Terberos	35	56	1960
Novillos Levante	42	56	2352
Novillos Adultos	10	56	560
TOTAL	355	56	19880

*Nota: * Factor de emisión establecido por el IPCC de 2006 para América Latina. Por Carolina Herranz Ramírez, 2018.*

NIVEL 2

La estimación de la emisión de Metano producto de la fermentación entérica del ganado bovino presente en la Hacienda Guatiquila utilizando la metodología de Nivel 2 propuesta por el IPCC, fue de 20.157 kg CH₄ / año (503.925,6 kg CO₂-eq⁸ / año) con un promedio ponderado de 56,780 kg CH₄ /cabeza/año. (Ver Tabla 11.)

⁷ ICA: Instituto Colombiano Agropecuario

⁸ CO₂-eq / año : Dióxido de Carbono equivalente

Tabla 11. Estimación de las Emisiones de Metano (CH₄) metodología IPCC Nivel 2

CATEGORIA	Factor Promedio kg CH ₄ /cabeza/año	Emisión por categoría (kg CH ₄ /año)	Emisión por categoría (kg CO ₂ -eq /año)
Ternereras	30,42	1.186,3	29.659,5
Novillas	51,54	2.783,1	69.579
Vacas Reproductivas	77,92	2.493,5	62.337,6
Vacas Adultas	68,69	9.822,6	245.566,7
Terneros	29,47	1.031,4	25.786,2
Novillos Levante	50,18	2.107,5	52.689
Novillos Adultos	73,23	732,3	18.307,5
TOTAL	56,780	20.157	503.925,6

Nota: Estimación de las Emisiones de Metano (CH₄) del ganado bovino presente en la Hacienda Guatiquila a través de la metodología IPCC Nivel 2, por Carolina Herranz Ramírez, 2018.

Teniendo como referencia los resultados obtenidos anteriormente en la Tabla 11 es necesario conocer el comportamiento de los siguientes factores que intervienen en la emisión de GEI; ya que para la estimación de CH₄ mediante el Nivel 2 se requirieron datos del comportamiento animal y tipo de producción además de la cantidad y calidad de la dieta propia del ganado bovino de la Hacienda Guatiquila.

Energía Bruta

En la energía neta requerida para mantener a un animal en equilibrio la categoría de Vaca adulta es la que necesita de mayor energía, principalmente por el mayor peso corporal vivo de esta categoría ya que en promedio en la Hacienda Guatiquila corresponde a 500 kg; por lo tanto a mayor peso corporal mayor requerimiento de energía del animal para mantenerse, además el mayor requerimiento de energía en las Vacas Adultas también se debe al coeficiente utilizado para calcular la energía neta de mantenimiento, puesto que para bovinos en lactancia este valor es mayor en un 20% con respecto a los bovinos (no en lactancia); donde en la Hacienda Guatiquila los bovinos en lactancia corresponden al 28% de las vacas adultas.

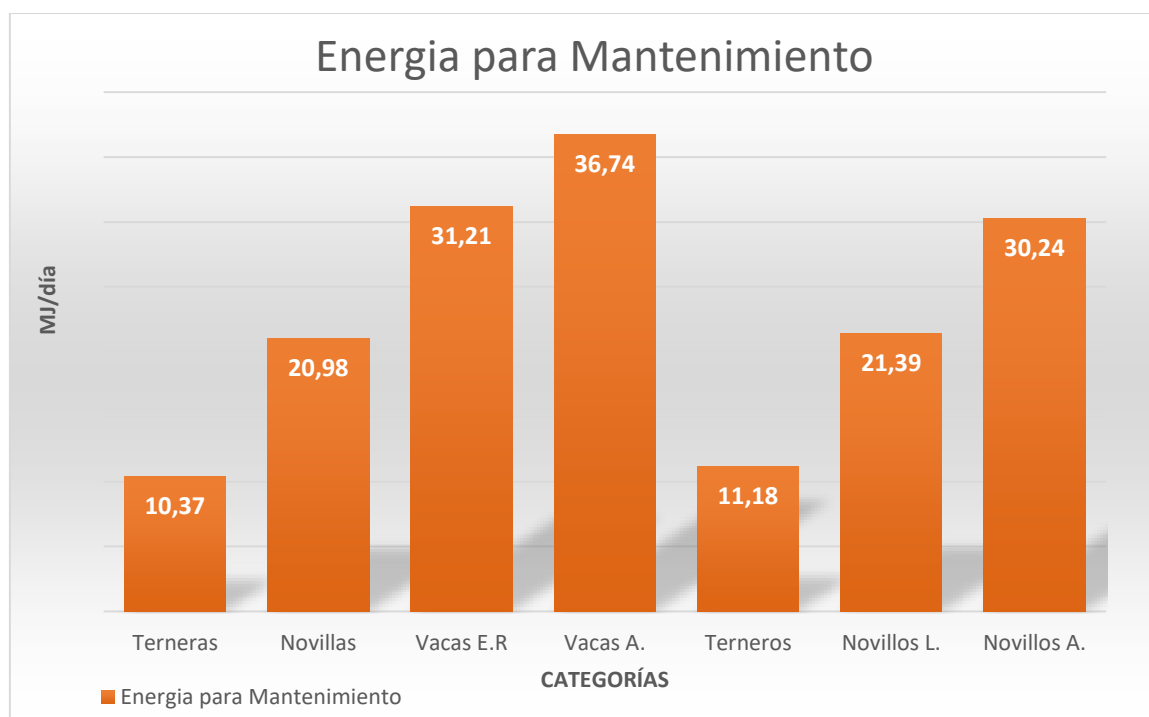


Figura 5. Requerimientos de Energía Neta para Mantenimiento por Categoría, por Carolina Herranz Ramírez, 2018.

Con respecto a la energía neta para crecimiento el Novillo Adulto es el que requiere de mayor energía debido a que los machos en promedio alcanzan un peso de 700 kg cuando se ha completado el desarrollo óseo del animal es decir la madurez, mientras que las hembras alcanzan un peso promedio de 500 kg. La categoría de Vacas Adultas tiene un requerimiento de energía para crecimiento igual a cero (0) debido a que en esta edad ya han alcanzado el peso maduro promedio generando una pauta de crecimiento sin embargo en ocasiones suben o bajan de peso por diferentes situaciones, como la preñez, la lactancia y condiciones del clima que llegan a afectar el alimento y la disponibilidad del agua.

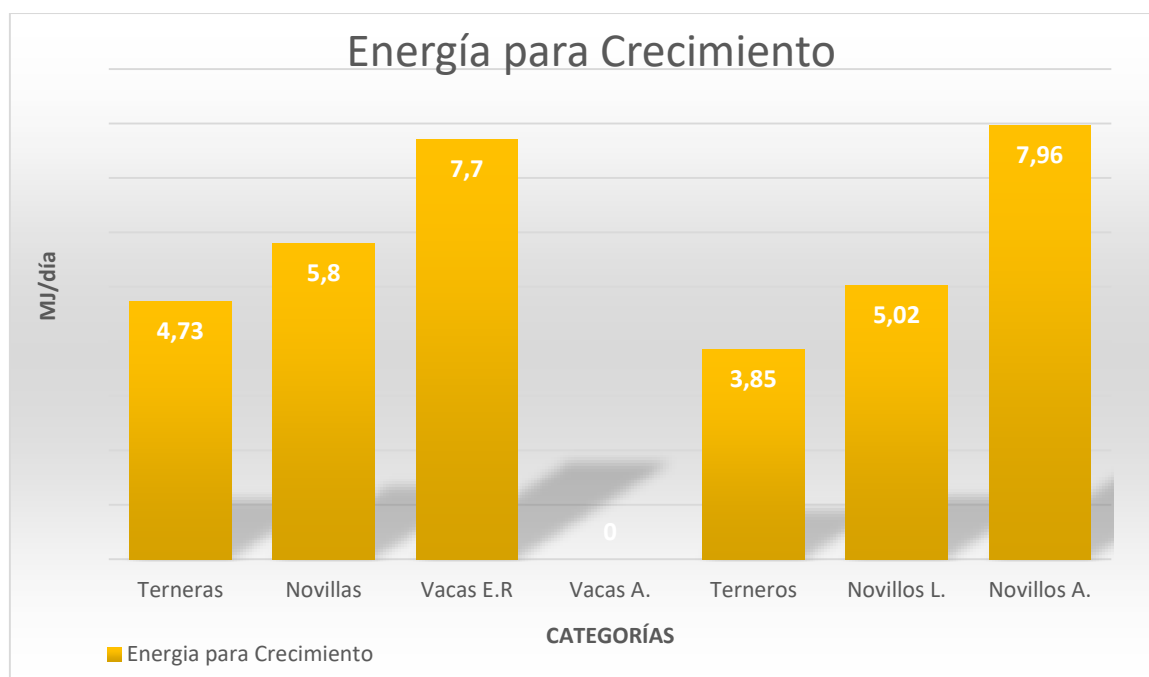


Figura 6. Requerimientos de Energía Neta para Crecimiento por Categoría, por Carolina Herranz Ramírez, 2018.

El menor requerimiento de energía presentado en todas las categorías de ganado es el requerido para actividad, ya que los animales se encuentran distribuidos en grupos conformados estratégicamente con el fin de que cada grupo de animales tenga los mismos requerimientos alimenticios, capacidad de movimiento, edad y función; ubicados en lotes de aproximadamente una (1) hectárea donde se les proporcione el alimento que necesitan de acuerdo también al número de animales; por lo tanto el ganado se encuentra confinado en áreas no muy extensas pero con suficiente forraje donde se genera un escaso gasto de energía por parte de los animales para buscar su alimento, además que la hacienda Guatiquila cuenta con un acueducto de 7 km para abastecer al ganado mediante bebederos portátiles cada vez que los animales son rotados por los diferentes lotes.

En promedio el mayor requerimiento de energía bruta según la suma de todos los requerimientos de energía neta es de 180,71 MJ/día que corresponde a la categoría de Vacas en Estado Reproductivo seguido por la categoría de Novillos Adultos (169,83 MJ/día). El requerimiento de energía bruta es mayor en las Vacas Reproductivas principalmente por el alto gasto de energía que necesitan las hembras para mantenerse durante la preñez y aún más para la lactancia.

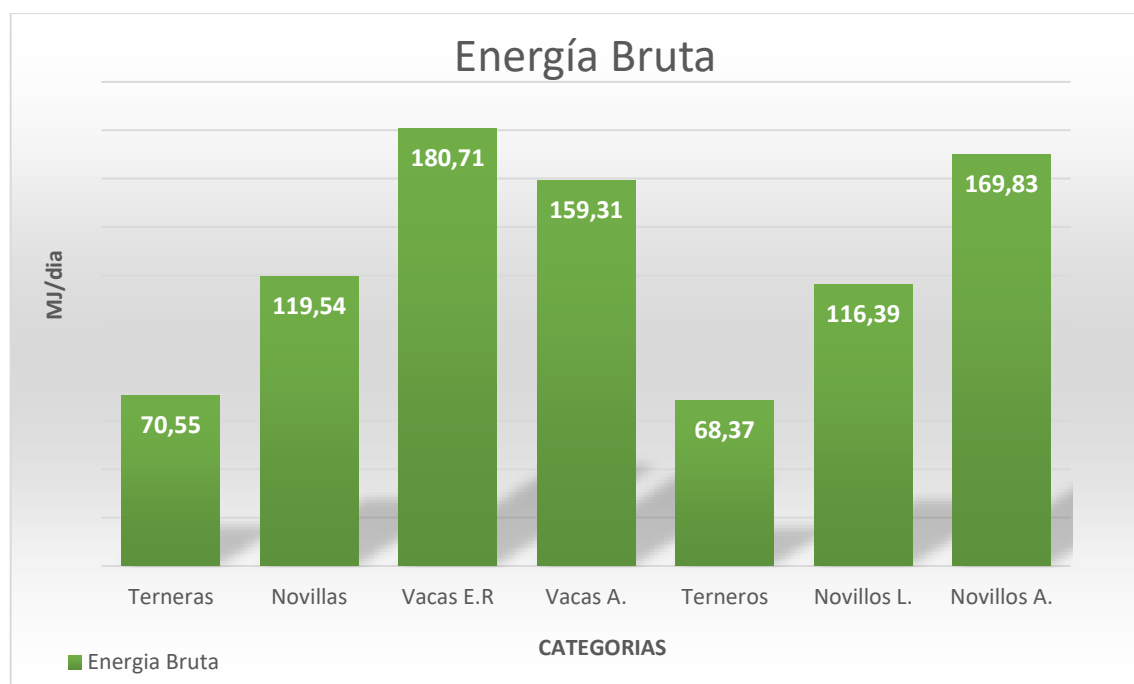


Figura 7. Medias de Energía Bruta por Categorías, por Carolina Herranz Ramírez, 2018.

En general las Vacas Adultas son las que obtuvieron mayores requerimientos de energía neta para Mantenimiento, Actividad, Preñez y Lactancia con respecto a las Vacas en Estado Reproductivo pero con mayor requerimiento de energía bruta; la diferencia entre estas dos categorías se debe principalmente a la energía requerida para crecimiento puesto que en las Vacas Adultas ya se genera una pauta en el crecimiento donde la energía requerida es igual a cero (0), mientras que las Vacas en Estado Reproductivo aún se encuentran en crecimiento ya que no han alcanzado el peso corporal de una hembra adulta.

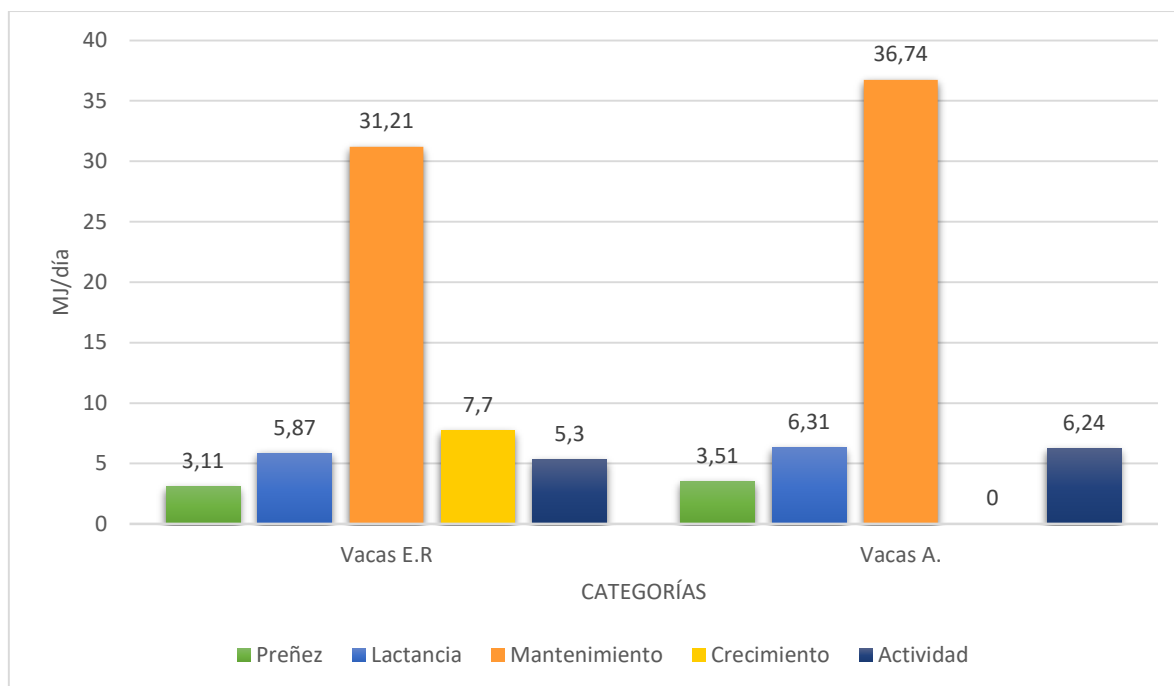


Figura 8. Requerimientos de energía neta entre las categorías Vacas en Estado Reproductivo y Vacas Adultas. Por Carolina Herranz Ramírez, 2018.

Las emisiones obtenidas mediante la metodología de Nivel 1 fueron menores en un 1,37% con respecto a lo estimado a partir del Nivel 2 (Ver Figura 9). La diferencia se debe principalmente al porcentaje de digestibilidad de la energía (DE%)⁹; el IPCC toma un porcentaje de digestibilidad del 60% para la obtención del factor por defecto para América Latina (Ver Tabla 4.), mientras que el DE% utilizado en la metodología de Nivel 2 fue de 59,43% (CORPOICA, 2017); este valor se tomó a partir del tipo de pastura presente en la hacienda Guatiquila el cual corresponde a la gramínea *Brachiaria humidicola*. Los dos valores se encuentran entre el rango de 55 – 75% que corresponde a “*Animales alimentados con buenas pasturas y forrajes bien conservados*” según los rangos establecidos por el (IPCC, 2006) como orientación para las digestibilidades alimentarias representativas para ganado bovino según el tipo de alimentación.

⁹ Digestibilidad (%): La parte de la energía bruta contenida en el alimento que no se excreta con las heces se conoce como alimento digerible. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

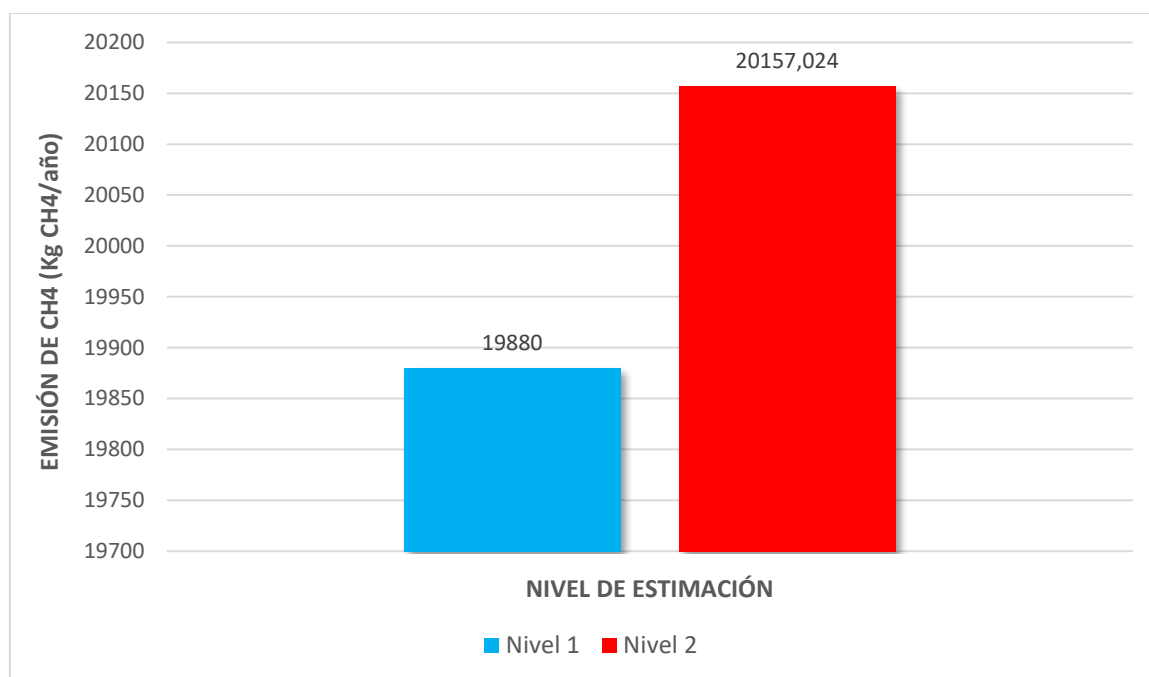


Figura 9. Estimación de la emisión de CH₄ mediante la metodología de Nivel 1 Vs Nivel 2, por Carolina Herranz Ramírez, 2018.

El porcentaje de digestibilidad de la energía (DE%) a través de diferentes estudios se ha demostrado que es un factor determinante en las emisiones de metano entérico para la predicción del factor de conversión de CH₄ (Ym¹⁰), la cual es una variable que afecta directamente el cálculo del factor de emisión de metano según el IPCC (Ecuación 15.); se ha encontrado una correlación negativa entre la digestibilidad y el Ym donde raciones de alimento de mejor calidad, alta digestibilidad y valor energético generara un menor valor de Ym, mientras que con raciones más pobres de menor calidad los valores de Ym se incrementan, (Cambra et al., 2008).

En la estimación el Ym dio un valor general de 6,57 el cual según los rangos del IPCC genera un alto grado de conversión de la energía del alimento en CH₄, generando así una mayor emisión de metano entérico debido principalmente a la baja digestibilidad del alimento suministrado al ganado bovino en la hacienda Guatiquila que corresponde a la pastura *Brachiaria humidicula*; además la calidad nutritiva de esta pastura es baja. Especialmente en términos de proteína cruda la cual a partir de análisis bromatológicos (ver Anexo 3) realizados en la hacienda Guatiquila corresponde a 5,36%, afectando el consumo voluntario y la ganancia de peso del animal. Estos resultados corresponden con los realizados por diferentes autores en

¹⁰ Ym: Factor de conversión de metano: el grado en el que la energía del alimento se convierte en metano (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006)

los cuales exponen que las emisiones de metano se correlacionan negativamente con la eficiencia del alimento donde se deben tener en cuenta la cantidad y calidad de la dieta y también el grado de procesamiento del alimento en el rumen; este último se refiere al proceso de degradación del alimento el cual no solo depende de las características químicas y físicas de la dieta sino también de su tiempo de retención (tasa de pasaje) en el rumen.

Según McAllister *et al.*, (1996b) expone que es ampliamente aceptado que las propiedades del forraje con menor porcentaje de digestibilidad y que por ende extienden su permanencia en el rumen, aumentan la cantidad de metano producido por la fermentación entérica y por el contrario, la producción de metano disminuye con el aumento de las tasas de pasaje por el rumen (Gómez, 2013). Asimismo, otros autores han expuesto que cuando se duplica el consumo voluntario de materia seca por encima del necesario para cubrir las necesidades energéticas del ganado como mantenimiento, crecimiento, lactancia y preñez se disminuye la producción de metano (Blaxter & Clapperton, 1965; citado por Vargas *et al.*, 2012, p.60).

En teoría cuando se incrementa el consumo de alimento la producción total de metano aumenta, pero la cantidad de energía que se pierde en forma de metano por unidad de alimento consumido disminuye en un 12-30% cuando la dieta es de buena calidad y alta digestibilidad. (Blaxter & Wainman, 1961; citado por Marín, 2013).

Debido a la fuerte incidencia del alimento en las producciones de metano entérico una buena alternativa para disminuir las emisiones y beneficiar la economía de los productores ganaderos es aumentar la productividad animal (al disminuir las pérdidas energéticas) a partir de dietas de mejor calidad, alto valor nutritivo y porcentajes altos de digestibilidad lo cual aumentaría el consumo voluntario de alimento y las tasas de paso del mismo con el fin de reducir la actividad fermentativa de las bacterias presentes en el rumen, disminuyendo al mismo tiempo el impacto ambiental al reducir las emisiones de metano a la atmósfera. (Neely *et al.*, 2009; citado por Vargas *et al.*, 2012) (Beltran, Álvarez, Pinos, & Contreras, 2016)

FASE 3. Estrategias de mitigación y compensación de las emisiones de CH₄

El sector agropecuario es el segundo en donde se reportan mayores emisiones brutas del país con un 26%, cuya principal causa se debe a la fermentación entérica del ganado que representa el 31% de estas emisiones. El departamento del Meta se posiciona como el tercer

departamento con mayores emisiones en el sector agropecuario, caracterizado por emisiones asociadas a actividades forestales y agropecuarias, la población bovina corresponde al 7,25% del inventario nacional y que es responsable del 11% de las emisiones por metano entérico y óxido nitroso. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2012)

Al ser el Departamento del Meta una fuente de emisión considerable de metano entérico también está contribuyendo al cambio climático y es afectado por el mismo. Con los cambios inesperados y prolongados de la variabilidad climática (temperatura, lluvias), se ha evidenciado que en épocas de lluvia los suelos se saturan de agua ocasionando problemas en la disponibilidad de forrajes, compactación y erosión del suelo así mismo en la época seca este periodo tiende a ser más largo y con mayor temperatura afectando la cantidad y calidad del alimento disponible, mortalidad de animales lo cual genera pérdidas para el ganadero y disminución de la calidad de la tierra. (Villanueva & Ibrahim, (s.f.)). Por lo tanto, urge la necesidad de implementar estrategias para mitigar las emisiones de metano entérico y para la adaptación al cambio climático que a su vez generara una mayor producción para los ganaderos.

Los sistemas de producción de ganado tradicionales como es el caso de la Hacienda Guatiquila se basan principalmente en el uso de pasturas en monocultivo que presentan baja tolerancia a las sequías y lluvias prolongadas generando alimentos de baja calidad, los cuales disminuyen el consumo voluntario de materia seca; por lo tanto los animales no logran cubrir los requerimientos de energía necesarios para su mantenimiento, además de generar pérdidas energéticas por el estrés calórico a la ausencia de sombra.

En las lluvias prolongadas el consumo de materia seca disminuye debido a la poca accesibilidad y disponibilidad del alimento a causa del barro y encharcamiento de las pasturas. En la figura 10 se pueden observar los encharcamientos que se producen en la hacienda Guatiquila debido a la compactación y amasado del suelo por excesivo pisoteo por parte del ganado, dando lugar a una menor infiltración, aumentando el tiempo de permanencia del agua en el suelo y prolongando la recuperación de las pasturas.



Figura 10. Encharcamientos generados en la Hacienda Guatiquila por lluvias prolongadas. Por Carolina Herranz Ramírez, 2018.

En la hacienda Guatiquila se maneja el ganado a partir del sistema rotacional, el cual según lo expuesto por Michael Rúa en su trabajo titulado “Las leyes Universales de André Voisin para el Pastoreo Racional” tiene diversas desventajas:

- Aunque el pastoreo es controlado, el ganado aún tiene mucha libertad de consumir el pasto que desee debido a la baja carga animal por potrero que maneja el sistema, lo cual permite al animal seleccionar el alimento. El ganado prefiere consumir el pasto que está rebrotando al pasto maduro y las malezas. Por lo tanto una buen porcentaje de la pastura del terreno se perderá por falta de consumo además del que se pierde por el pisoteo, la orina, el estiércol y donde se acuestan, entre otros. Lo anterior genera una mayor proliferación de malezas disminuyendo la productividad de la pastura
- Los animales en pastoreo rotacional tienen una mayor permanencia en cada potrero lo cual no le permite a la pastura recuperarse, ya que no se deben establecer tiempos fijos de reposo para las pasturas, debido a que su ciclo fenológico cambia entre un pastoreo y el siguiente. (Rúa, 2009) (Fernández, 2007)

Sistema Racional Voisin

Una alternativa viable para mejora las condiciones del suelo que conllevan a una mayor productividad y menores emisiones de metano entérico en la Hacienda Guatiquila es a partir de la implantación del Sistema Racional Voisin definido por su creador André Voisin como: “La más avanzada y eficiente técnica de manejo de pastos, basada en armonizar los principios de la fisiología vegetal con las necesidades cualitativas de los animales, con el mejoramiento

creciente del suelo, a través de los procesos bióticos, bajo la intervención del hombre”. Con lo anterior el hombre es quien dirige el sistema pastoril, no es el animal quien selecciona lo que se va a comer, cuando, donde y como quiere. (Fernández, 2007)

Objetivos del Sistema Racional Voisin:

- Mejoramiento y cuidado del suelo
- Reducción de la erosión
- Aumento en la fertilidad del suelo
- Mayor producción de pasto
- Mejorar las condiciones ambientales
- Lograr un forraje de mayor calidad

Existen cuatro leyes importantes a tener en cuenta para el manejo de las pasturas en sistema racional Voisin (Fernández, 2007) :

1. Ley de Reposo: para que el pasto cortado por el diente del animal y consumido por este pueda dar su máxima productividad es necesario que pase el tiempo suficiente para volver a ser pastoreado de modo que permita almacenar en sus raíces los nutrientes para un nuevo rebrote. El ingresar a los animales al lote antes de tiempo no permitirá la formación de suficientes reservas en las raíces, disminuyendo la calidad del forraje de igual forma cuando se ingresan los animales de forma tardía se obtendrá un pasto excesivamente fibroso lo cual genera un menor porcentaje de digestibilidad.
2. Ley de ocupación: El tiempo de ocupación de los animales en los lotes debe ser lo suficientemente corto para que el pasto que es cortado por el animal al inicio de la ocupación del lote, no vuelva a ser cortado en el mismo periodo. En el instante en que es cortado el pasto inicia nuevamente el proceso de recuperación, si este se vuelve a cortar consecutivamente en poco tiempo dará lugar a la reducción del pasto.
3. Ley de rendimientos máximos: se debe ayudar a los animales con mayor exigencia alimenticia para que puedan cosechar la mayor cantidad de pasto y de mejor calidad, son los animales que ingresarían primero a los lotes. Menos trabajo en busca de alimento mayor consumo del mismo.
4. Ley de rendimientos regulares: para obtener rendimientos regulares es necesario que los animales no permanezcan más de tres días en un mismo lote, y será aún mayor el rendimiento si no permanecen más de un día.

A partir de lo anteriormente mencionado el pastoreo debe realizarse saltando siempre al lote que ya alcanzó su punto óptimo sin importar que no sea el siguiente en orden consecutivo al

que está siendo pastoreado; por lo tanto debe ser cosechado antes de perder calidad. (Rúa, 2009)

Por otro lado en temporadas de sequía los animales sufren pérdidas de peso a causa de la poca disponibilidad y calidad del alimento, de agua y por las pérdidas energéticas a causa del estrés calórico por las altas temperaturas y poca oferta de sombra como se muestra en la Figura 11. Por lo tanto urge la necesidad de crear estrategias que permitan mejorar el bienestar de los animales a través de la inclusión de forrajes que tengan buena adaptabilidad a las condiciones del suelo y variabilidad climática presente en la hacienda y que a su vez sean de buen valor nutritivo para el ganado. Siendo este último una de las variables más importantes a tener en cuenta en las emisiones de metano.



Figura 11. Ganado en pastoreo con poca cobertura Vegetal que proporcione sombra en la Hacienda Guatiquila, por Carolina Herranz Ramírez, 2018

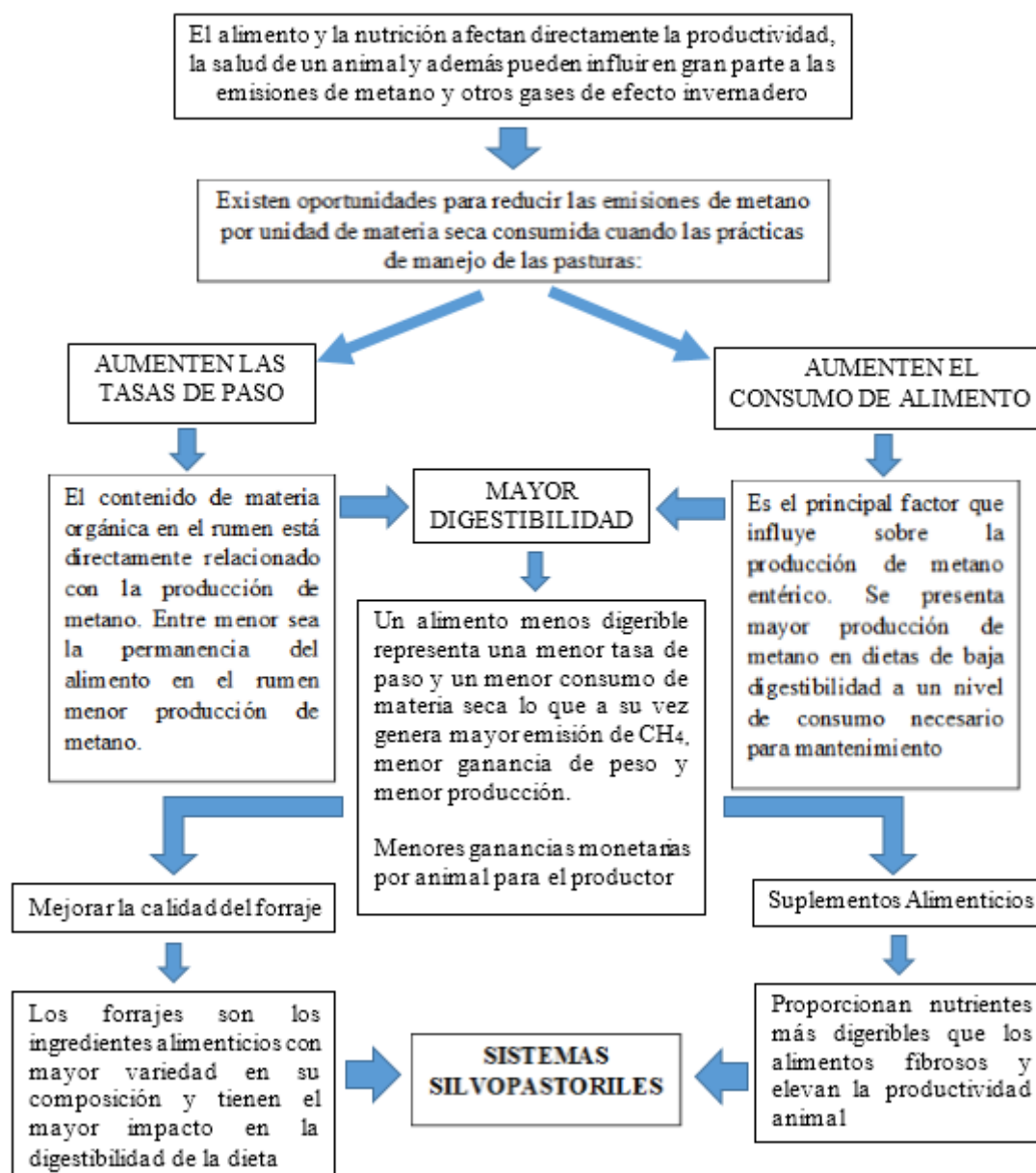


Figura 12. Estrategias para Reducir las Emisiones de Metano Mediante Prácticas de Manejo del Alimento. Adaptado de (Vargas et al. 2012) (Global Research Alliance (GRA), 2013)

La alternativa más eficiente para mitigar las emisiones de metano entérico es aumentar la productividad animal a través del suministro de dietas de mayor calidad y digestibilidad; lo cual permitirá aumentar las tasas de paso y el consumo voluntario de materia seca, como se muestra en la figura 12. En la investigación realizada por Vargas *et al.*, (2012) se mencionan algunos de los componentes de los alimentos que caracterizan las dietas de mejor calidad para los bovinos, como lo son las dietas a base de carbohidratos no estructurales y con menos contenido de fibra; las cuales permiten una mayor digestibilidad del alimento produciendo

menores proporciones de metano; además los alimentos con mayor concentración de azúcares y proteína cruda disminuyen hasta un 13% la producción de metano por unidad de producto.

Dentro de las dietas de mejor calidad por contener los componentes anteriormente mencionados y con alto potencial para mitigar las emisiones de metano entérico están:

- Las dietas a base de concentrados: El alto valor nutricional de los concentrados seguramente disminuiría las emisiones de metano entérico, especialmente cuando el consumo de materia seca se superior al 40 %. No obstante, según la FAO (2013) el suplemento concentrado no debería sustituir los forrajes ni ser la única fuente de alimento, Además por el alto consumo de concentrado necesario en la dieta para obtener reducciones significativas de metano este no sería una alternativa económicamente viable para muchos productores.
- Dietas a base de forrajes: Son los ingredientes alimenticios con la mayor variedad en su composición y tienen el mayor impacto en la digestibilidad de la dieta. Los forrajes con mayor aporte nutricional son las leguminosas ya que contienen de 9 a 16% de proteína cruda, aproximadamente el doble que las gramíneas; además que se caracterizan por sus efectos positivos para el medio ambiente como su contribución a la fertilidad y regeneración del suelo a partir de la fijación de nutrientes. Cuando las dietas a base de gramíneas (que se caracterizan por sus bajos niveles de proteína y digestibilidad) son asociadas o balanceadas con leguminosas y otras especies arbóreas tienden a incrementar su valor nutritivo.

Carmona *et al.*, (2005) habla en su investigación sobre el efecto positivo que tiene el balance de dietas con leguminosas y otras especies arbóreas en la producción de metano entérico a través de la implementación de Sistemas Silvopastoriles; los cuales se caracterizan por la inclusión de leguminosas rastreras, arbustivas y arbóreas con buen valor nutricional, además son una alternativa de amplia viabilidad en animales bajo pastoreo de gramíneas tropicales de baja calidad.

Sistemas Silvopastoriles

La implementación de sistemas Silvopastoriles son una alternativa para la mitigación y adaptación al cambio climático debido a que estos complejos sistemas ofrecen múltiples beneficios en la productividad de la finca y en la generación de servicios ambientales (Villanueva & Ibrahim, (s.f.)). Estos sistemas integran el manejo de árboles y arbustos con la producción ganadera. Los árboles pueden ser de vegetación natural o plantada con fines

maderables, frutales, forrajeros, para productos industriales o árboles multipropósito. (Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN), 2012). Por otro lado, según Villanueva la implementación de sistemas silvopastoriles generan un impacto en el balance hídrico del sistema, la temperatura presente bajo la copa de los árboles provoca una disminución en la tasa de transpiración y evaporación. Esto puede retrasar o evitar el estrés hídrico característico del periodo seco además las leñosas perennes afectan la dinámica del agua (Villanueva & Ibrahim, (s.f.)):

1. Actuando como barreras que reducen la escorrentía.
2. Reducen el impacto de las gotas (cobertura).
3. Mejorando el suelo al incrementar la infiltración y la retención del agua. Todo depende del tamaño del árbol, su altura y cobertura de copa.

Como posibles alternativas de Sistemas silvopastoriles a implementar en la Hacienda Guatiquila, de acuerdo a sus condiciones productivas y a las condiciones del suelo se encuentran:

Bancos Forrajeros

Son cultivos intensivos para la producción de grandes volúmenes de tallos y hojas para alimentación animal. Además, constituyen una alternativa para reducir la presión de pastoreo la cual desencadena la degradación de las pasturas. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2018)

Objetivo

Producir forrajes frescos en la finca para alimentación de animales de manera sostenible; mejorar la cobertura y estructura del suelo, aumentar la materia orgánica y disponibilidad de nutrientes en el suelo. (Villanueva & Ibrahim, (s.f.))

Manejo

Pueden ser utilizados bajo:

- Corte, acarreo y posteriormente suministro como alimento para el ganado
- Ramoneo (de tres a cuatro horas por día) con el fin de que los animales puedan consumir la cantidad suficiente de proteína para cubrir sus requerimientos de mantenimiento y producción
- Ramoneo más pastoreo
- El consumo puede llegar hasta el 0,5% del peso vivo del animal.

La gran diversidad de especies leñosas como árboles y arbustos son una buena alternativa para manejarse como bancos forrajeros debido a su alta adaptabilidad a zonas de baja y alta disponibilidad de agua, con buen valor nutricional y potencial suplementación para el ganado (Villanueva & Ibrahim, (s.f.)).

En las Sigüientes fichas se encuentran algunas de las posibles Leguminosas que pueden ser utilizadas como Bancos Forrajeros por sus diferentes características nutritivas, contribución ambiental y adaptabilidad a los suelos del Departamento del Meta.

VERANERA Leguminosa forrajera arbustiva	
Nombre científico: <i>Cratylia argentea</i>	
Familia: Leguminosae	
Origen: Nativa de la Amazonia de la parte central de Brasil, Perú y nordeste de Argentina.	
Altura: 1.5m – 3m	
Ventajas: ✓ Buena capacidad de rebrote durante época seca (hasta de 6 meses) ✓ Potencial para elaboración de ensilaje ✓ Al ser suministrada con una fuente de energía (caña de azúcar) puede sustituir el uso de concentrados comerciales lo cual es una excelente alternativa para alimentación de bovinos de mediana producción.	

Figura 13. Plantación de Veranera en una finca del Piedemonte llanero, Tomado de: (C. Lascano; A. Rincón, 2002)

MANÍ FORRAJERO PERENNE Leguminosa Herbácea Rastrera	
Nombre científico: <i>Arachis pinto</i>	
Familia: Fabaceae	
Origen: América del Sur	
Altura: 20 – 40 cm	
Ventajas: ✓ Alto valor nutritivo en términos de proteína y digestibilidad ✓ Favorece la rápida incorporación de nutrientes al suelo por la pronta descomposición de la hojarasca ✓ Rápido reciclaje de nutrientes ✓ La producción de forraje aumenta cuando crece asociada con una gramínea ✓ Buena capacidad para crecer bajo sombra	

Figura 14. Cultivo establecido de maní forrajero

✓ Con potencial para la recuperación de pasturas	Tomado de (Andrade, Lima, Vargas, & Vargas, 2016)
--	---

OREJERO Arbóreo forrajero	
Nombre científico: <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	
Familia: Fabaceae	
Origen: América tropical	
Altura: 20 m – 30m	
Ventajas:	
✓ Complemento alimenticio para ganado bovino ✓ Semillas (36% de proteína) ✓ Maderable ✓ Recuperación de terrenos degradados ✓ Conservación del suelo ✓ Fijación de nitrógeno	
Figura 15. Hoja y Flor de Orejero, Tomado de (Universidad EIA, 2014)	

Árboles Dispersos en Potrero

Objetivo

Son arboles establecidos con el fin de proporcionar beneficios tanto ambientales como productivos como fijación de nitrógeno, sombra para el ganado, madera, frutos, leña y forraje, funcionan también como piedras de salto para la biodiversidad. (Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN), 2012) La respuesta de los animales en carne o leche dependerá de la cantidad, composición de especies y distribución espacial de los árboles en los potreros.

Las pasturas con una cobertura arbórea entre 20% y 30% ofrecen beneficios a nivel económico y ecológico en comparación con pasturas degradadas con pocos o sin árboles. (Villanueva & Ibrahim, (s.f.))

Beneficios

Económicos → La sombra genera menor temperatura ambiental lo cual reduce el estrés calórico del ganado, asociada a una baja tasa respiratoria; permite gastar menos energía y consumir más alimento.

Alimenticios (frutos) → Son consumidos por los animales en época seca cuando se reduce la disponibilidad y calidad del pasto. (La respuesta de los animales depende de la cantidad, composición de especies y distribución espacial de los árboles).

Ambientales → en potreros arbolados y con buena cobertura de la pastura se reduce la escorrentía superficial, incrementa la biodiversidad, mayor secuestro de carbono, los arboles contribuyen en el mejoramiento de la fertilidad del suelo por medio del reciclaje de nutrientes.

CEDRO AMARILLO Arbórea

Nombre científico: *Albizia guachapele*

Familia: Fabaceae

Origen: Nativo de México a Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela

Altura: 25 m

Ventajas:

- ✓ Sombrío para ganado
- ✓ Alimentación para ganado
- ✓ Recuperación de suelos y áreas degradadas
- ✓ Fijación de nitrógeno
- ✓ Maderable



Figura 16. Follaje del Cedro Amarillo, Tomado de (Universidad EIA, 2014)

YOPO Arbóreo

Nombre científico: *Anadenanthera peregrina*

Familia: Mimosaceae

Origen: Suramérica y el Caribe

Altura: 3 m – 18 m

Ventajas:

- ✓ Sombrío para ganado
- ✓ Alta capacidad de recuperación de suelos degradados y compactados
- ✓ Favorece el crecimiento de las gramíneas



Figura 17. Árbol de Yopo, Tomado de (Useche & Azuero, 2013)

JOBO	
Nombre científico: <i>Spondias mombin</i>	
Familia: Anacardiaceae	
Origen: América tropical	
Altura: 20 m	
Ventajas: ✓ Árbol para sombra ✓ Proporciona forraje para ganado en potreros y sabanas ✓ En época de verano sus frutos son consumidos por el ganado ✓ Maderable	

Figura 18. Árbol de Jobo, Tomado de (Duarte, 2005)

Cercas Vivas

Se definen como líneas de árboles o arbustos establecidos en reemplazo de postes muertos de madera, cemento u otros materiales (Bueno & Pérez, 2014)

Objetivo

Establecer límites de las fincas o entre potreros, lo cual permite tener un control y un manejo estratégico en las zonas delimitadas en cuanto al desplazamiento de animales y de personas. Se establecen en altas densidades y gran diversidad de especies que pueden ser forrajeras. Son sistemas de fácil propagación y por lo general se establecen a partir de estacas vivas y dependen de podas regulares.

Beneficios

- Aprovechamiento como forraje para el ganado
- Facilitan los desplazamientos de la fauna entre fragmentos de bosques
- Corredores biológicos (si no se podan constantemente) contribuyen a la conservación de una porción importante de la biodiversidad

NACEDERO Árbol o arbusto**Nombre científico:** *Trinchantera gigantea***Familia:** Acanthaceae**Origen:** Colombia, Venezuela, Panamá, Brasil y Bolivia**Altura:** 4 m – 12m**Ventajas:**

- ✓ Excelente fuente de alimentación para ganado (buena digestibilidad y alto en proteína)
- ✓ Conservación de suelos



Figura 19. Plantación de Nacadero en proceso de poda.
Tomado de (Melgar, 2014)

MATARRATÓN**Nombre científico:** *Gliricidia sepium***Familia:** Fabaceae**Origen:** Desde el sur de México, por toda América Central hasta Colombia, Venezuela y las Guyanas**Altura:** 4,5 m**Ventajas:**

- ✓ Proporciona sombra
- ✓ Alto potencial de producción de biomasa para el consumo y elevado valor nutritivo
- ✓ Utilizado para reforestar en hatos sin cobertura vegetal para mejorar las pasturas
- ✓ Maderable
- ✓ Fijación de nitrógeno



Figura 20. Árbol de Matarratón como cerca viva
Tomado de (Duarte, 2005)

ANAUCO	
Nombre científico: <i>Erythrina fusca</i>	
Familia: Fabaceae	
Origen: América del Sur	
Altura: 9 m	
Ventajas: ✓ Sus hojas son de un buen forraje para el ganado ✓ Cerca viva y Barrera cortavientos ✓ Sombrío para ganado ✓ Madera para construcción	

Figura 21. Estación de Anauco utilizado como cerca viva, Tomado de (Duarte, 2005)

Conclusiones

- La emisión es mayor en el Nivel 2 que en el Nivel 1 debido a que en este último se toma un factor general para todas las categorías de ganado mientras que en el nivel 2 se tienen en cuenta el estado productivo, las condiciones físicas, y los requerimientos de energía para cada categoría de ganado dependiendo de la edad, sexo y producción.
- Según los resultados obtenidos la categoría que presenta menor emisión de CH₄ es la de terneros (29,47 kg CH₄ cab⁻¹año⁻¹) puesto que los animales más jóvenes presentan menor tasa de conversión de CH₄ debido al menor número y actividad de bacterias presentes en el rumen encargados de la fermentación ya que la eliminación de metano vía eructo en el ganado inicia aproximadamente a los 30 días de vida, cuando los alimentos sólidos empiezan a ser retenidos en el rumen, iniciando así la fermentación y la producción de metano y otros gases. Mientras que la categoría con mayor emisión de CH₄ es la de Vacas en Estado Reproductivo (77,92 kg CH₄ cab⁻¹año⁻¹) dado que los requerimientos de energía en esta etapa del animal son mayores que para las otras categorías.
- Un mayor requerimiento de energía bruta produce un aumento en la ingesta de alimentos por parte del animal para poder suplir sus necesidades, lo que conlleva a un incremento en la emisión de metano debido a la baja calidad del alimento suministrado en la hacienda Guatiquila. Donde a partir de la implantación de estrategias que mejoren la calidad nutritiva del alimento aumenten el consumo voluntario y las tasas de paso generando que las bacterias metanogénicas tengan menos tiempo para fermentar el alimento, dando lugar a una disminución en la producción de metano.
- Una buena y eficiente alternativa para mitigar las emisiones de metano en la hacienda Guatiquila es aumentar la calidad del alimento suministrado a los animales a través de la asociación del pasto *Brachiaria humidicola* (presente en la hacienda) con la leguminosa rastrera Maní Forrajero (*Arachis pintoi*) lo cual generaría una disminución del 29,6% en la emisión de Metano debido a que el nivel de proteína cruda aumentaría a un 9% incrementando el consumo voluntario de forraje de los animales en pastoreo

- La adopción de sistemas silvopastoriles en la hacienda Guatiquila es una buena oportunidad para mejorar la producción del negocio ganadero a través de estrategias amigables con el medio ambiente, ya que la implementación de árboles dispersos en potreros y arbustos como cercas vivas y bancos forrajeros traen beneficios tanto ambientales como económicos; como el aumento de la productividad animal debido a la mejor calidad nutritiva de las leguminosas como fuente de alimento para el ganado, la garantía de tener alimento todo el año, reducción en el gasto de energía requerido para la producción de metano, proporción de sombra para el ganado además contribuir con la conservación de bosques nativos en la hacienda, mejorar la calidad de los suelos y las fuentes de agua.
- En Colombia ya existen proyectos que incentivan la implementación de sistemas silvopastoriles como es el Proyecto de Ganadería Sostenible que brinda a los ganaderos que decidan ser parte del proyecto beneficios como el Pago por Servicios Ambientales PSA el cual es un pago por mejorar el medio ambiente, además de ayudar con asistencia técnica del proyecto para que se puedan implementar prácticas de ganadería sostenible.

Referencias Bibliográficas

- Andrade, V., Lima, R., Vargas, J., & Vargas, S. (2016). *Situación actual y perspectiva del multiuso de Arachis pintoi en agro_ecosistemas dedicados a la producción animal*. Obtenido de Centro Agrícola: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852016000300010
- Baethgen, W. E., & Martino, D. L. (2000). *Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero e Implicancias en los Sectores Agropecuario y Forestal de Uruguay*. Obtenido de researchgate.net/: https://www.researchgate.net/publication/260399867_Cambio_Climatico_Gases_de_Efecto_Invernadero_e_Implicancias_en_los_Sectores_Agropecuario_y_Forestal_del_Uruguay/download
- Beltran, M., Álvarez, G., Pinos, J., & Contreras, C. (2016). Emisión de metano en los sistemas de producción de leche bovina en el Valle de San Luis. *Agrociencia*, , 50(3), p.297-305. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n3/1405-3195-agro-50-03-297-en.pdf>
- Blaxter, K., & Clapperton, J. (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Brit J Nutr*, p.511-522. Obtenido de <https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/prediction-of-the-amount-of-methane-produced-by-ruminants/3EA1DFB58D1A6E6959E61525CFC7AFAC>
- Bueno, G., & Pérez, O. (2014). *Integración de árboles en un arreglo de cercas vivas para los sistemas ganaderos del piedemonte llanero*. Villavicencio: Corpoica - Ecopetrol.
- C. Lascano; A. Rincón. (2002). *Cultivar Veranera (Cratylia argentea)*. Villavicencio, Colombia: CIAT- CORPOICA.
- Cambra, Rebollar, Estellés, & Torres. (2008). *Estimación de las emisiones de los rumiantes de los rumiantes en España: El Factor de Conversión de Metano*. España. Obtenido de http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/21_17_10_d.pdf
- Cárdenas, J. B., & Flores, C. L. (2012). *Emisión de Metano Entérico por Rumiantes y su Contribución al Calentamiento Global y al Cambio Climático*. Mexico. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v3n2/v3n2a6.pdf>
- Cardozo, J. (2013). El Matarraton (Gliricidia sepium) En la alimentacion de rumiantes. *Monografía de grado*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional abierta y a distancia. Obtenido de

- <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/1076/1/93117211.pdf>
- Carmona, Bolívar, & Giraldo. (2005). El Gas Metano en la Producción Ganadera y Alternativas para Medir sus Emisiones y Aminorar su Impacto a Nivel Ambiental y Productivo. *Colobiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), p.49-63. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>
- Compes 3700. (2011). *Estrategia Institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Obtenido de <http://oab2.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Compes3700.pdf>
- Contexto Ganadero. (17 de Junio de 2016). Informe: Así funcionan los ciclos productivos de las ganaderías. *Contextoganadero*. Obtenido de Gandería Sostenible: <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/informe-asi-funcionan-los-ciclos-productivos-de-las-ganaderias>
- CORPOICA. (2017). *Alimentro*. Obtenido de Reporte de Análisis: <http://www.corpoica.org.co:8086/NetCorpoicaMVC/AlimenTro/Estadisticas/ReporteAnalisis>
- Decreto 298. (24 de Febrero de 2016). *Por el cual se establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático*". Bogotá, Colombia: Diario Oficial No. 49.796. Recuperado el 03 de Octubre de 2017, de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_0298_2016.htm
- Departamaneto del Meta. (01 de Abril de 2015). *Meta Tierra de Oportunidades*. Recuperado el 30 de Octubre de 2017, de <http://www.meta.gov.co/web/content/nuestro-departamento>
- Duarte, L. E. (2005). *Plantas Útiles de la Cuenca del Orinoco*. Colombia: Exploration Company.
- Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN). (2012). *Ganadería Colombiana Sostenible*. Obtenido de [fedegan.org.co/](http://www.fedegan.org.co/): <http://www.fedegan.org.co/programas/ganaderia-colombiana-sostenible>
- Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN). (2012). *Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible*. Obtenido de [es.slideshare.net/](https://es.slideshare.net/Fedegan/convocatoria-segunda): <https://es.slideshare.net/Fedegan/convocatoria-segunda>
- Fernández, C. (2007). *Sistema de Pastoreo Racional*. Obtenido de Agromercado Temático: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/68-racional.pdf
- FINDETER. (2014). *Estudio de Mitigación de Cambio Climático*. Villavicencio (Meta).

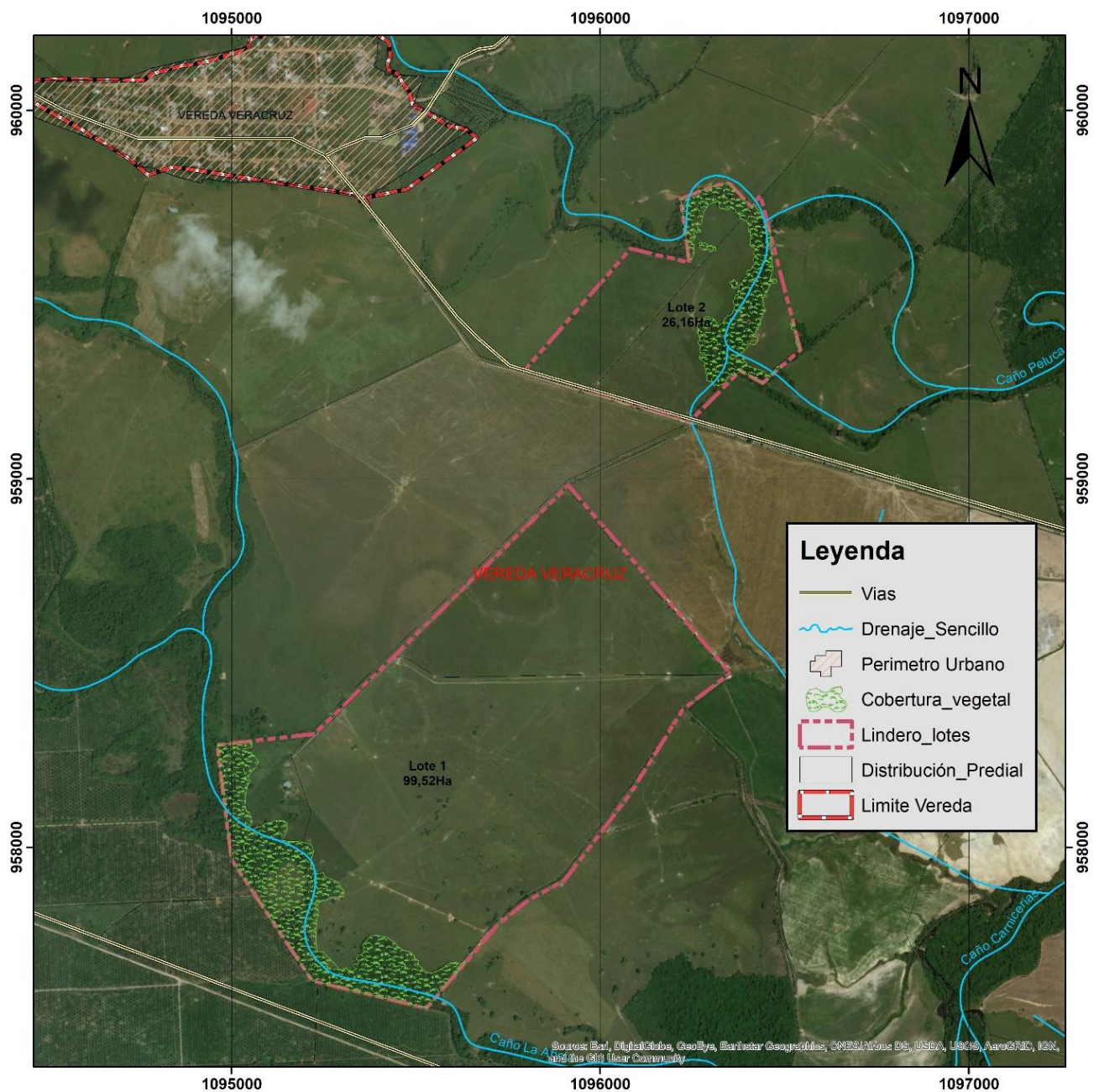
- Global Research Alliance (GRA). (2013). *Reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería*. New Zealand (Agricultural Greenhouse GAS Research Centre).
- Gómez, A. M. (2013). *Estimación del inventario de emisiones de metano entérico en ganado lechero en el departamento de Antioquia, Colombia*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- González, N. Z. (2016). *Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano*. El cerrillo Piedras Blancas Toluca - México.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (1994). *Radiative Forcing of Climate Change*. Ginebra: IPCC. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-06.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2006). *Emisiones Resultantes de la Gestión del ganado y del estiércol*. Ginebra: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2006). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre (GLOSARIO)*. Ginebra: IPCC. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.html
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático*. Ginebra: IPCC. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/Cclimatico/informe_ipcc.aspx
- Guzman, M., & Sager, R. (2013). Inventario de metano entérico de los sistemas de producción de carne para San Luis en el año 2009. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(1), p.88-94. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142013000100013&script=sci_abstract
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017). *Censo Bovino*. Villavicencio - Meta: Instituto Colombiano Agropecuario.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). *Información Técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el Cambio Climático*. Bogotá: IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2012). *Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero - Colombia*. Bogotá: IDEAM.

- Juliarena, P. (22 de Abril de 2013). *Gases de efecto invernadero. ¿Por qué estudiar el metano?* Recuperado el 09 de Octubre de 2017, de unicen.edu.ar: <http://www.unicen.edu.ar/content/gases-de-efecto-invernadero-%C2%BFpor-qu%C3%A9-studiar-el-metano>
- Ley 164 de 1994 "Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático". (28 de Octubre de 1994). Recuperado el 03 de Octubre de 2017, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21970>
- Melgar, O. P. (24 de Junio de 2014). *El nacedero (Trichanthera gigantea), un arbol forrajero adaptable al trópico de Guatemala*. Obtenido de Engormix: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/nacedero-trichanthera-gigantea-arbol-t31273.htm>
- Municipio de Cumaral. (20 de Junio de 2009). *Municipio de Cumaral*. Recuperado el 31 de Octubre de 2017, de juntoscumaral.blogspot.com.co: <http://juntoscumaral.blogspot.com.co/2009/06/municipio-de-cumaral.html>
- Oficina Catalana del Cambio Climático. (Junio de 2011). *Metodología de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI)*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/politiques/inventaris_demissions/mes_informacio_sobre_metodologies/metodologia_annex_es.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). *Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. Producción y Sanidad Animal*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3288s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (10 de Abril de 2014). *Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra*. (FAO) Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de [fao.org/](http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/218658/): <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/218658/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (18 de Julio de 2016). *FAO: Agricultura comercial generó casi el 70 % de la deforestación en América Latina*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de [fao.org/](http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/425614/): <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/425614/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2018). *Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrarios (TECA)*. Obtenido de teca.fao.org: <http://teca.fao.org/es/read/8012>
- Organizaciones de las Naciones Unidas (ONU). (2009). *Conferencia de las Partes informe de la Conferencia sobre su 15º período de sesiones, Copenhague*. ONU. Obtenido de

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Orozco, Angulo, Pérez, & Liodoro. (2012). Aspectos fisiológicos y bromatológicos de *Brachiaria humidicola*. *CES Med Vet Zootec*; , 7(1), p.87-98. Obtenido de <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/2708>
- Rúa, M. (2009). *Las Leyes Universales de André Voisin para el Pastoreo Racional*. Obtenido de Cultura Empresarial Ganadera: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/115-Voisin.pdf
- Universidad EIA. (2014). *Fabaceae - Enterolobium cyclocarpum*. Obtenido de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/129>
- Useche, F., & Azuero, S. (2013). Yopo , Acacia y Melina tres especies arbóreas propicias para los sistemas silvopastoriles en el piedemonte llanero. *Trabajo de grado*. Acacias, Meta, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/1416/1/Monografia.pdf>
- Vargas, Cárdenas, Pabón, & Carulla. (2012). Emisión de Metano Entérico en Rumiantes en Pastoreo. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 3(2), p.215-246. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v3n2/v3n2a6.pdf>
- Villanueva, C., & Ibrahim, M. ((s.f.)). Sistemas silvopastoriles: Una herramienta para la adaptación al cambio climático de las fincas ganaderas en América Central. *Buenas prácticas agrícolas para la adaptación al cambio climático*, p.383-419.
- Zapata, M. P. (2006). Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero y proposición de una estrategia para su reducción y captura. Caso XI región de Aysén. *Tesis de maestría*. Santiago, Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <https://docplayer.es/9800919-Estimacion-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-y-proposicion-de-una-estrategia-para-su-reduccion-y-captura-caso-xi-region-de-aysen.html>

Anexos

Anexo 1. Delimitación de la Hacienda Guatiquila (Zona de estudio)



Fuente Carolina Herranz Ramírez, 2018

Anexo 2. Formato utilizado para la recolección de datos del ganado bovino presente en la Hacienda Guatiquila

FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS											
CATEGORIA	Edad	Población	Peso vivo (BW) Kg	Peso al sacrificio (Kg)	Aumento peso por día (WG) Kg	Peso Maduro (MW) Kg	Situación Alimentaria	Producción leche (Kg/día)	Contenido Graso (%)	Digestibilidad de alimentos (%)	Densidad de energía de alimento
TERNERA											
NOVILLA											
VACA E. REPR.											
VACA ADULTA											
TERNERO											
NOVILLO DE LEVANTE											
NOVILLO ADULTO											

Fuente Carolina Herranz Ramírez, 2018

Anexo 3. Bromatológicos del Pasto Brachiaria Humidicola presente en la Hacienda Guatiquila

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN NUTRICIÓN MINERAL CINMEX
 LABORATORIO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO
 EL SANTUARIO, ANTIOQUIA. Tel/Fax: 5465516-5463800



Código muestra: 551-15

Fecha recepción de Muestra: 27/11/2015
 Fecha de Impresión Informe: 04/12/2015

RESULTADO DE ANÁLISIS

Nombre del Interesado: Departamento Técnico SOMEX S.A.
 Descripción: PASTO (BRAQUIARIA HUMIDICOLA)

Potrero: N/R

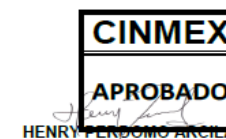
Hacienda: GUATIQUEILA
 Propietario: ARIEL JIMENEZ
 Ubicación: Vda. VERACRUZ, CUMARAL - META
 Zona: 15

Explotación: CRIA, LEVANTE Y CEBAS DE CEBU COMERCIAL

MUESTRA	ANÁLISIS	RESULTADO	Unidades	Método de Análisis
551-15	Calcio	0,27	%	Espectrofotometría AA (NTC 5151)
551-15	Magnesio	0,27	%	Espectrofotometría AA (NTC 5151)
551-15	Cobre	3,57	ppm	Espectrofotometría AA (NTC 5151)
551-15	Fósforo	0,20	%	Colorimetría
551-15	Sodio	0,27	%	Espectrofotometría AA (NTC 5151)
551-15	Proteína cruda	5,36	%	Kjeldahl

OBSERVACIONES

Resultados expresados en base seca
 Los resultados están relacionados con la muestra de ensayo
 Este resultado no se puede reproducir en forma parcial
 Factor de conversión para la proteína: 6,25



Fuente: Hacienda Guatiquila 2015