

Identificación de microorganismos en el rumen de búfalos en una población de La Dorada, Caldas

Angie Tatiana Díaz Villalobo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental

2022

Identificación de microorganismos en el rumen de búfalos en una población de La Dorada, Caldas

Angie Tatiana Díaz Villalobo

Proyecto de Investigación para optar al título de: Ingeniero Ambiental

Línea de Investigación: Proyecto de investigación

Asesor: Claudia Lorena Betancur

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Programa Ingeniería Ambiental

2022

Agradecimientos

Principalmente a Dios, quien ha estado presente siempre en todos los escenarios del diario vivir, me ha guiado, llenado de sabiduría y preparado en batallas duras para crecer, madurar y aprender en muchas áreas de mi vida, recordando siempre que las situaciones se dan no por qué si no para qué.

A mis padres por figurar en mi formación integral, por apoyarme en los momentos decisivos presentados en algún espacio de mi vida. Son el pilar de mis ganas de superarme.

A mi gran amigo y hermano, por enseñarme que ante cualquier adversidad siempre se debe creer que todo es posible.

Del mismo modo agradezco enormemente a mi asesora de Tesis Claudia Betancur por su intervención para finalizar el presente trabajo, por compartir conmigo parte de su conocimiento y experiencias, además por ser una especie de bastón en mi periodo académico.

A mi universidad por brindarme la posibilidad de superarme académicamente y demostrarme que la modalidad a distancia es solo un paradigma del fracaso, porque si se puede.

Resumen

El cambio climático es una causa directa del calentamiento global que afecta a seres humanos y ecosistemas; dicho fenómeno es una variación global del clima en el planeta tierra producto de actividades naturales pero que tiene mayor influencia en las actividades antrópicas, desencadenando así una generación desbordada de gases de efecto invernadero (GEI), al mismo tiempo el calentamiento desmedido de la temperatura del mundo. (Conde, C. 2006). La producción de metano es uno de los gases que hacen parte de los GEI, este es emitida sobre todo por los rumiantes y se deriva de manera natural a partir del proceso digestivo de éstos, el cual en términos ambientales contribuye al cambio climático global y de allí a la pérdida definitiva de diferentes especies. (Hincapié & Caicedo., 2013).

El objetivo general de este proyecto es la identificación de los microorganismos que se encuentran en el rumen de una población de búfalos con diferencias de emisiones de metano en la Dorada Caldas, dicha identificación permitirá conocer cuáles de estas especies de microorganismos se encuentran asociadas a la descomposición de metano, las muestras fueron obtenidas de búfalos provenientes de la hacienda la Americana ubicada a 35 minutos de La Dorada, se tomarán 40 muestras en total, se realizará cultivo, análisis e identificación de los microorganismos presentes en el rumen, el análisis de datos fue realizado mediante el análisis de frecuencia y regresión logística haciendo uso del software Statgraphics Centurion XV. Los resultados de esta investigación se esperan contribuyan al conocimiento de microorganismos degradadores de metano, que pueden aportar en la generación de cambios que mitiguen el impacto de la ganadería extensiva sobre el medio ambiente debido a su efecto sobre el aumento de GEI, además de ser un peldaño en el avance hacia posibles soluciones al aumento de la temperatura en el planeta.

Palabras Claves: Análisis de frecuencia y regresión logística, Metano, Microorganismos, rumen

Abstract

Climate change and global warming is a direct cause affecting humans and ecosystems; this phenomenon is a global variation of the climate on planet earth product of natural activities but that has greater influence on anthropic activities, thus triggering an overflowing generation of greenhouse gases (GHGs), at the same time the excessive warming of the world's temperature. (Conde, C. 2006). The production of methane is one of the gases that are part of the GHGs, this is emitted mainly by ruminants and is derived naturally from the digestive process of these, which in environmental terms contributes to global climate change and from there to the definitive loss of different species. (Hincapié & Caicedo., 2013).

The general objective of this project is the identification of the microorganisms that are in the rumen of a population of buffaloes divergent for methane emissions in the Dorada Caldas, this identification will allow to know which of these species of microorganisms are associated with the decomposition of methane, the samples will be obtained from buffaloes from the Hacienda la Americana located 35 minutes from La Dorada, 40 samples will be taken in total, culture, analysis and identification of the microorganisms present in the rumen will be carried out, the data analysis will be carried out by means of frequency analysis and logistic regression using the Statgraphics Centurion XV software. The results of this research are expected to contribute to the knowledge of methane degrading microorganisms, which can contribute in the generation of changes that mitigate the impact of extensive livestock farming on the environment due to its effect on the increase.

Keywords: Frequency analysis and logistic regression, Methane, Microorganisms, rumen

Tabla de contenido

Introducción	11
Identificación de microorganismos en el rumen de búfalos en una población de La Dorada, Caldas	
1. Planteamiento del problema	13
1.1 Planteamiento del problema	13
2. Justificación	18
3. Objetivos	21
3.1 Objetivo General	21
3.2 Objetivos Específicos	21
4. Marco Conceptual y Teórico	22
4.1 Cambio Climático y su Origen	22
4.2 Causas y Efectos del Calentamiento Global	27
4.3 Repercusión del Calentamiento Global en los Arrecifes de Coral	32
4.4. Calentamiento global y especies en vía de extinción en el departamento de Caldas	33
4.5 Los océanos grandes aliados para combatir el calentamiento global	35
4.6 Distribución de GEI por sectores	35
4.7 Agricultura y Calentamiento global	36
4.8 Cambio y climático y los efectos negativos de la ganadería	37
4.9 Producción de metano en los rumiantes	39
4.9.1 El Rumen	40
4.9.2 Medio ambiente ruminal	40

4.9.3 Comunidad microbiana ruminal	41
4.10 Metabolismo microbiano ruminal	45
4.11 Metodologías empleadas para medir la producción y emisiones de metano derivadas del ganado	45
4.1.2 Diferencias entre especies bufalinas y bovinas	46
5 Metodología	47
5.1 Localización del Lugar de Muestreo	47
5.2 Muestreo líquido ruminal	48
5.3 Caracterización mediante cultivo microbiano	49
5.4 Preparación del Líquido Ruminal	50
5.5 Condiciones para crecimiento de Microorganismos Anaerobios	50
5.6 Cultivos e Identificación de Microbiológicos en el Laboratorio	51
5.7 Cultivos e Identificación de Microbiológicos en el Laboratorio	51
5.8 Identificación bioquímica por medio de espectrofotometría	52
5.9 Análisis de datos	53
6. Resultados	55
7. Análisis de Resultados	56
8. Conclusiones	57
9. Recomendaciones	58
10. Bibliografías	59

Lista de Figuras

Figura 1. Sectores causantes de Gases de Efecto Invernadero en 2012 en Colombia	36
Figura 2. Fermentación ruminal a partir de glucosa	42
Figura 3. Clasificación morfológica de bacterias en el complejo retículo-rumen	43
Figura 4. Hongos degradando el sustrato en el complejo retículo- rumen.	44
Figura 5. Protozoarios que permanecen en el complejo retículo- rumen	45
Figura 6. Localización Hacienda La Americana	47
Figura 7. Muestreo líquido ruminal	48
Figura 8. Cámara de araeobis	50
Figura 9. Identificación bioquímica	52
Figura 10. Obtención del líquido Ruminal	53
Figura 11. Crecimiento microbiológico empleando agar nutritivo incubadas a 40°C y en condiciones anaerobias	54
Figura 12. Colonias con tinción de Gram Tratamiento 2.	55
Figura 13. Muestras 82443-80567 citratos de Simmons- Tratamiento 3.	56
Figura 14. Tratamiento 4: Prueba bioquímica Agar LIA	57

Lista de tablas

Tabla 1. Colonias bacterianas obtenidas de búfalos	54
--	----

Introducción

Los científicos han venido estudiando y registrando el incremento de la temperatura desde 1880 (NASA, 2011), estos registros han demostrado un incremento térmico muy demarcado por causa de actividades antropogénicas, debido a la generación de gases contaminantes que contribuyen a los gases de efecto invernadero, dichas actividades comprenden desde procesos industriales como quema de combustibles fósiles, tráfico y transporte, agricultura entre (Vargas et al., 2011).

Entre los gases partícipes que han generado un estrés climático planetario, se encuentra el dióxido de carbono, el metano, óxidos de nitrógeno, clorofluorocarbonos, ozono, etc. Estos gases se encuentran acumulados en la atmósfera y como consecuencia desencadenan el calentamiento global (Vargas et al., 2011).

Se asocia que el metano generado por la actividad pecuaria especialmente bovinos, tiene gran incidencia en el aumento de la temperatura del planeta, esto debido a varios factores, destacándose por ejemplo la ejecución del proceso digestivo, en donde microorganismos especializados anaerobios degradan la materia orgánica en el rumen de los animales y como resultado se emite metano entérico; este metano se vuelve 23 veces más potente que una molécula de dióxido de carbono (Vargas et al., 2011)., además el incremento en la demanda del consumo de carne y leche agita la participación de la ganadería extensiva en el mundo.

En los últimos años, la carne de búfalo se ha considerado como una alternativa de desarrollo económico más amigable con el ambiente, debido no solo a su capacidad de adaptación a terrenos áridos y alimentación escasa sino a la diferencia marcada en producción de metano muy inferior a rumiantes del género Bos, (PAI, 2010). Por la razón anterior surge la necesidad de investigar y comprender la actividad microbiana ruminal para conocer cuáles

microorganismos presentes en el rumen de búfalos, se encuentran asociados a la descomposición de metano.

Planteamiento del problema

La sobrepoblación y el consumismo han hecho que la humanidad tenga una interacción imprescindible con los recursos naturales debido al afán de suplir sus necesidades, situación que ha ejercido una presión sobre el planeta tierra, como por ejemplo el calentamiento global puede producir aumento o disminución de temperatura, puesto que las actividades que realizan generan residuos de todo tipo (sólidos, gaseosos y líquidos), entre los residuos gaseosos se encuentra generación de gases contaminantes provenientes de distintas actividades, destacándose la agricultura especialmente el área agropecuaria. (Sagols, 2014: 118-119)

El metano se origina por una actividad entérica que realiza el rumiante, en donde la materia orgánica es descompuesta por unos microorganismos que trabajan en ausencia de oxígeno, al realizar el proceso se elimina metano por el tracto digestivo posterior, sin embargo es el eructo el que contiene mayor cantidad del mismo. Este gas es dirigido hacia a la atmósfera contribuyendo a los GEI alejándose por mucho tiempo y creando una acumulación del mismo, haciendo que la temperatura planetaria se desequilibre. (FAO, 2015)

Con la investigación que se realizó se espera conocer las especies de bacterias metanógenas que emiten mayor cantidad de CH₄, siendo el primer paso para conocer la genómica de dichas especies y así poder iniciar con proyectos que tenga en cuenta alternativas para controlar o detener el incremento de la temperatura.

Planteamiento del Problema

El planeta tierra ha venido presenciando uno de los fenómenos más preocupantes que ha desencadenado el ser humano a causa de sus actividades en los últimos tiempos, dicha problemática es el cambio climático y el calentamiento global, calificado así como un fenómeno

desarrollado que exhibe escenarios drásticos en diferentes escalas, debido a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera; este proceso está cambiando el ritmo del clima y como consecuencia la afectación a seres humanos, además de poblaciones de fauna como anfibios, reptiles, mamíferos y demás grupos taxonómicos, dentro de los cuales se encuentran especies catalogadas como vulnerables o amenazadas cuyas situaciones se vuelven irreversibles (FAO, 2015).

India posee un 57% de la población de búfalos del mundo (13% de la población pecuaria mundial), los cuales contribuyen en un 42% del total de las emisiones de metano (CH_4) procedentes de la fermentación entérica del ganado indio; la reducción de este tipo de fermentación ha sido identificada como una forma clave para disminuir emisiones de CH_4 , de ahí el énfasis en la investigación que recientemente se ha enfocado en el desarrollo de métodos para inhibir la metanogénesis ruminal en búfalos de la especie Nili – Ravi, usando técnicas de secuenciación para identificar los microorganismos que se encuentran en el rumen y cuya producción de metano parece ser menor a la de los rumiantes del género Bos. (Chandramoni, 2000).

En consecuencia, Gerber et al (2013) consideran que:

El sector de agricultura mundialmente aporta 30% de los gases de efecto invernadero, donde el 18% corresponde a los rumiantes con un 44% del proceso entérico, este a su vez tiene un promedio del 39,1% de metano, el 27% es dióxido de carbono y el 29% dióxido nitroso, el ganado vacuno es el principal contribuyente de emisiones de GEI en el área agropecuaria con al menos 4,6 gigatoneladas de CO_2 –eq, figurando el 65% de todas las emisiones.

Los impactos negativos que está generando el sector pecuario a nivel global en el medio ambiente están llegando a los extremos, debido a la presencia del uso industrial de animales por

parte de los seres humanos, que tiene gran incidencia en el cambio climático, así mismo en la alteración del suelo y agua, en la contaminación atmosférica, y en la pérdida de la biodiversidad (Steinfeld, H., 2006). Por ello se hace importante resaltar que la generación de metano contribuye a la producción de gases de efecto invernadero, siendo un proceso que se deriva de la fermentación entérica sobre todo por la digestión de los rumiantes y monogástricos, el metano se genera en el rumen durante la descomposición anaerobia de materia orgánica, en donde es realizada por un grupo altamente especializado de microorganismos, los cuales son anaerobios obligados (FAO, 2015).

La Dorada, Caldas debido a sus características geográficas, se destaca por facilitar la producción pecuaria, considerando la ganadería bovina como actividad principal de tipo extensiva, donde sobresale por ser uno de los mayores productores de carne vacuna de todo el país, convirtiéndolo así en uno de los más grandes generadores de metano en Colombia proveniente de bovinos del género Bos; en los últimos años, la carne de búfalo se está fundamentando en una alternativa de desarrollo económico más amigable con el ambiente, debido no solo a su capacidad de adaptación a terrenos áridos y alimentación escasa sino a la diferencia marcada en producción de metano muy inferior a rumiantes del género Bos, (PAI, 2010)

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario mencionar que el cambio climático y el calentamiento global, en cuanto a la práctica ganadera, especialmente extensiva y el proceso digestivo por los rumiantes, es un factor que fragmenta cada vez más los ecosistemas, por ende, el hecho de realizar esta actividad desencadena la alteración de especies, como migración y en casos drásticos la extinción. (FAO, 2015)

Sobre la base de las consideraciones anteriores, en el departamento de Caldas la biodiversidad se encuentra amenazada por fenómenos como el cambio climático global producto de las actividades antrópicas; en el libro rojo de reptiles de Colombia, en Caldas hay incluidas 6 especies bajo alguna categoría de amenaza de extinción (CORPOCALDAS, 2015).

Por otro lado, el aumento progresivo de la temperatura del clima en el planeta tierra, ha traído consecuencias adversas para la salud humana, entre ellas enfermedades infecciosas de tipo vectorial y zoonóticas; de este modo, los climas extremos y la intensidad de eventos en ellos, el aumento del nivel de los océanos por el derretimiento de los polos, que reducen la viabilidad de los terrenos cultivables han provocado muertes, traumas psicológicos y daños a la infraestructura pública (Cerdeña, J., et al, 2008); los cambios en la producción de alimentos mediados por consecuencia de la variación del clima, dan como resultado desnutrición y hambrunas afectando el crecimiento y desarrollo infantil (Steinfeld, H., 2006); en cuanto a la contaminación en el aire, éste desencadena padecimientos como el asma y alergias, trastornos respiratorios agudos crónicos, y muertes (Terán et al, 2009).

El ganado vacuno es el principal generador de emisiones del sector con alrededor de 4,6 gigatoneladas de CO₂ -eq, que representan el 65% de las emisiones provenientes de las actividades pecuarias. (Gerber., et al 2013).

Los cerdos, las aves de corral, los búfalos y los pequeños rumiantes tienen elevaciones de emisión más bajas, que representan, cada uno, entre el 7% y el 10% de las emisiones del sector

La carne de vacuno contribuye con 2,9 gigatoneladas de CO₂ -eq, o el 41% de las emisiones totales del sector, mientras que la leche de vaca lo hace con 1,4 gigatoneladas de CO₂ -eq, o el 20%. Les siguen la carne de cerdo, con 0,7 gigatoneladas de CO₂ -eq, o el 9% las emisiones; la leche y carne de búfalo (8%); la carne de pollo y los huevos (8%), y la leche y carne de los pequeños rumiantes (6%). El resto de las emisiones provienen de otras especies de aves de corral. (Gerber., et al 2013).

Existe una gran diferencia entre la producción de emisiones de carne vacuna el cual tiene los niveles más altos al ser comparada con los rumiantes del género Bubalis, por ello surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los microorganismos presentes en el rumen de dos grupos de búfalos con diferentes emisiones de metano en La Dorada Caldas?

Justificación

Actualmente a nivel mundial, el sector de agricultura y uso del suelo es responsable aproximadamente del 30% de la contribución de los gases de efecto invernadero, de ese valor el 18% es emitido por los rumiantes donde el 44% es metano con una contribución entérica del 39,1%, el 27% es dióxido de carbono y el 29% dióxido nitroso, dicha práctica viene aumentando vertiginosamente la temperatura del clima, debido a la fermentación entérica que realiza los rumiantes por la emisión de grandes cantidades de CH₄ (Gerber., et al 2013). Frente a ésta estimación, se ha considerado tomar medidas que mitiguen los efectos ocasionados por el sector pecuario, en este sentido los GEI, no solo a nivel nacional sino a nivel mundial, tomando compromisos con el objetivo de asegurar un planeta sostenible a mediano plazo.

Colombia, en la cumbre para el cambio climático de Paris llevada a cabo en el 2015, se comprometió a reducir las emisiones en un 30% en cuanto al aporte de GEI visionados hacia el 2030, con el ánimo de lograr el cumplimiento de dicho objetivo, se espera que desde la academia se generen puntos de vista reflexivos, críticos y argumentados a fin de proponer alternativas viables que contribuyan al desarrollo de propuestas concretas de solución a futuro.

El sector pecuario es uno de los causantes principales de la pérdida de biodiversidad en el planeta (el ganado representa cerca del 20% del total de los animales terrestres y ocupa una vasta superficie de lo que alguna vez fueron hábitats silvestres).

Desde un análisis ceñido a lo económico y nutricional, el informe se permitiría afirmar, adicionalmente, que (FAO, 2006)

Los autores en cita estimarían los procedimientos conexos de la ganadería en los siguientes términos, precisando con certeza el grado de participación de la ganadería en el sector primario, en una proporción equivalente a la quinta parte del total producido, así:

“(…) La parte restante se atribuye a la elaboración y el transporte de productos pecuarios. Incluida en la producción de piensos, la expansión de los pastizales y cultivos forrajeros a expensas de los bosques es responsable de aproximadamente el 9% de las emisiones del sector. Considerando todas las categorías, el consumo de combustible fósil a lo largo de las cadenas de suministro pecuario representa alrededor del 20% de las emisiones del sector (…)” (ídem, 2013, p.14)

El presente proyecto pretende generar la adquisición de conocimiento y profundizar en diferentes temáticas, enriqueciendo la investigación de nuevas propuestas en pro del beneficio común, debido a que el cambio climático altera el medio ambiente y a su vez afecta a la humanidad, resaltando que este tema incluye el compromiso de todos, ya que es una investigación de componente social elevado, que desea contribuir frente al conocimiento de los agentes involucrados en la generación de metano que interviene en el calentamiento global.

Por otro lado, se proyecta que la identificación de microorganismos presentes en el rumen de los búfalos, se puede convertir en un eslabón de conocimiento, en este sentido, Martínez (2014) sostiene que:

“Existe una marcada diferencia entre la cantidad de metano producido por el género *Bufo* y la cantidad de metano producida por el género *Bubalis*, cerca del 70% menos de metano es obtenido a partir de los residuos generados por búfalos”

En razón a lo expuesto se permite determinar cuáles de estos microorganismos se encargan de la degradación de metano, lo que sin duda alguna contribuye al conocimiento de especies de alta importancia ambiental, abriendo una ventana de oportunidades para registrar y al mismo tiempo conservar a dichos microorganismos.

La alteración del clima ha afectado el medio ambiente y con ello las actividades cotidianas de cualquier persona, debido a que las sequías son intensas y los veranos prolongados, motivo por el cual la situación cada día se vuelve difícil de tratar, llegando al punto de crear la necesidad de usar electrodomésticos para sobrellevar las altas temperaturas, lo que genera la búsqueda de alternativas que permitan mitigar y detener el incremento de la temperatura del clima.

Objetivos

Objetivo general

Identificar los microorganismos que se encuentran en el rumen de una población de búfalos en el municipio de La Dorada Caldas con diferencia en las emisiones de metano.

Objetivos específicos

Caracterizar la composición microbiológica del líquido ruminal.

Identificar microorganismos presentes en el rumen de los búfalos según su morfología, y sustrato

Caracterizar bioquímicamente los microorganismos presentes en el rumen de los búfalos.

Marco conceptual y teórico

Cambio Climático y su Origen

El cambio climático y el calentamiento global es una problemática que debe considerarse como un fenómeno prolongado que presenta escenarios drásticos en diferentes escalas, teniendo en cuenta desde sucesos climáticos hasta la afectación de seres humanos y la biodiversidad; así mismo, dicho fenómeno es una variación global del clima en el planeta tierra, producto de actividades naturales, pero mayormente antropogénicas, que desencadenan en el calentamiento desmedido de la temperatura del mundo. (Conde, C. 2006).

Como se advertiría, el calentamiento global y el cambio climático se tratan, teóricamente, de conceptos íntimamente relacionados, hasta el punto de ser empleados indistintamente como sinónimos, a raíz de la confusión e imprecisión con ocasión a los entendidos individuales de cada expresión. Lo anterior, resulta comprensible toda vez que ambos fenómenos surgen, parcial o totalmente, en virtud de los eventos auspiciadores del aumento de la concentración de gases de invernadero (GEI) en la atmósfera, que son debidos, directa o indirectamente, a actividades humanas que inciden en la biosfera, tales como el uso de combustibles fósiles y de deforestación.

González Elizondo, M., et al (2003), señalan lo siguiente:

“Estudios científicos indican que el cambio climático ya está teniendo efectos sobre la biosfera. Por su origen relacionado con actividades humanas y porque afectan la vida en todo el planeta, estos problemas ambientales deben ser conocidos y entendidos, no sólo por técnicos y científicos, sino también por la población en general (p.377)

En consonancia a la afirmación anterior, los autores se permitirían realizar definiciones precisas sobre los conceptos de calentamiento global y cambio climático, en los siguientes términos:

Calentamiento global. Aumento progresivo y gradual de la temperatura media de la superficie terrestre, responsable de los cambios en los patrones climáticos mundiales. Aunque en el pasado geológico se ha presentado aumento de temperatura global como resultado de influencias naturales, el término calentamiento global se utiliza más para referirse al calentamiento de la superficie terrestre, registrado desde principios del siglo XX y relacionado con el incremento en la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera.

Cambio climático. El clima nunca es estático, ya que presenta fluctuaciones cíclicas anuales y de mayor periodicidad, así como variaciones ocasionales debidas a fenómenos naturales como la erupción de volcanes. Sin embargo, el uso más apropiado y convencional del término “cambio climático” es para descubrir el cambio significativo que se presenta en la actualidad y que no parece relacionarse con las variaciones cíclicas.

El cambio climático es provocado por el calentamiento global que a su vez tiene su origen total o parcial en el aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, incide sobre los patrones de temperatura y precipitación del planeta, así como en la frecuencia y severidad de eventos extremos como huracanes y sequías (ídem, 2003, p.379).

De acuerdo a estas premisas, la Academia y, en general, los tratadistas advierten como Smith, J. & J. Uppenbrink (2001) que sobre este punto surgen como líneas de investigación de consideración prioritaria, estas:

Análisis de los archivos naturales del clima como anillos de crecimientos de árboles y glaciares.

Bancos de propágulos en el suelo.

Cambios en distribución geográfica, desplazamiento de poblaciones (regeneración).

Ecotonos en gradientes altitudinal y latitudinal: factores determinantes.

Fenología en gradientes altitudinal, latitudinal y temporal.

Interacciones actuales entre organismos y predicción de interacciones futuras.

Estas líneas de investigación prioritarias se consolidarían en virtud de la firma y puesta en vigencia de La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático—CMNUCC—, la cual, en el numeral segundo (2°) de su artículo primero (1°) se permitiría la conceptualización del término de “cambio climático”, así:

Por “cambio climático” se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (ONU, 1992, p.3)

Autores como Miller (2007) estiman al cambio climático desde una visión más simplista conceptualmente hablando y, empero, más condesada al integrar los múltiples elementos que integran la definición marco establecida por la ONU en 1992 de la mano de la CMNUCC, sostiene que:

El cambio climático global se refiere a las modificaciones en cualquier aspecto del clima del planeta, tales como la temperatura, precipitación e intensidad y las rutas de las tormentas.

Por su parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC— califica al cambio climático en los siguientes términos:

Cambio climático: Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos, persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. (IPCC, 2014, p.188)

En oportunidad, la organización precitada (ídem, 2014), evidenciaría que la CMNUCC diferencia entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad atribuible a causas naturales. En dicho sentido, categorizaría al cambio climático, de conformidad a dos (2) condiciones, según sea, abrupto o asegurado:

Cambio climático abrupto: Cambio a gran escala en el sistema climático que tiene lugar en algunos decenios o en un lapso menor, persiste (o se prevé que persista) durante al menos algunos decenios y provoca importantes perturbaciones en los sistemas humanos y naturales.

Cambio climático asegurado: Debido a la inercia térmica del océano y a ciertos procesos lentos de la criosfera y de las superficies terrestres, el clima seguiría cambiando, aunque la composición de la atmósfera mantuviera fijos sus valores actuales. Los cambios en la composición de la atmósfera ya experimentados conllevan un cambio climático asegurado, que continuará en tanto persista el desequilibrio radiactivo y hasta que todos los componentes del

sistema climático se ajusten a un nuevo estado. Los cambios de temperatura sobrevenidos una vez que la composición de la atmósfera se ha estabilizado se denominan variación asegurada de temperatura a composición constante o simplemente calentamiento asegurado. El cambio climático asegurado conlleva también a otros cambios, por ejemplo, del ciclo hidrológico, de los fenómenos meteorológicos extremos, de los fenómenos climáticos extremos y del nivel del mar. Con emisiones constantes aseguradas se llegaría a un cambio climático asegurado resultante de mantener constantes las emisiones de origen antropógeno, y con emisiones nulas aseguradas, se llegaría a un cambio climático asegurado resultante de fijar a cero las emisiones”. (Ídem, 2014, p.187)

De acuerdo a estos lineamientos, la CEPAL (2018) incluiría en su Agenda 2030 dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, un rótulo tendiente a la adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Así, el Objetivo de Desarrollo Sostenible Número Trece (N°13) correspondería al título de “Acción por el Clima”, determinado como sus metas las siguientes:

Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.

Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo

de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible.

Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.

Causas y efectos del calentamiento global

Las causas y principales factores que inciden en el cambio climático, de acuerdo a lo que se ha precisado, obedecen a los factores integrales que afectan los cambios de la temperatura media de la tierra, correspondiendo, así a los cambios en el desnivel del mar, las respuestas climáticas y sus múltiples efectos, el fundamento radiactivo, los efectos de las nubes, la emisión de aerosoles a la atmósfera, el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las consecuentes concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄), óxido de nitroso (N₂O), hidratos de metano, halocarbonos (tratándose del grupo de gases que contienen flúor, cloro o bromo), entre otros.

A efectos de comprender la situación que está presentando el mundo hoy en día, es menester comprender los antecedentes que se han ido gestando en los últimos años. Por ello es menester remontarnos a mediados del Siglo XVIII, período en el que se presenta la Revolución Industrial.

Definida por Landes, D. S. (1979, p.15) como “el complejo de innovaciones tecnológicas que, al sustituir la habilidad humana por la maquinaria y la fuerza humana y animal por energía

mecánica, que provoca el paso desde la producción artesana a la fabril, dando así lugar al nacimiento de la economía moderna”, la Revolución Industrial se comprendió como una interpretación de los procesos de transformación de las sociedades modernas que comprenden la forma adecuada de aprovechar el desarrollo tecnológico, sustituyendo la energía proporcionada por la fuerza de trabajo humana o animal, por la proporcionada por las máquinas.

Coetáneamente a este desarrollo, la necesidad energética así como el correlativo consumo de insumos y recursos energéticos se acrecentó, de forma que el incremento del uso de combustibles fósiles, a partir del Siglo XVIII, fue sumamente elevado, a comparación de otros períodos, impulsando las dinámicas de las principales actividades de los Sectores Industriales y Comerciales, al tiempo que promovían la carrera armamentista y el desarrollo de nuevos medios de transporte que se valiesen del uso constante de hidrocarburos derivados del petróleo.

Como es de esperarse, para el año 1870, los Estados Unidos y las naciones más importantes de Europa, entre éstas principalmente Inglaterra, consumían y producían combustibles fósiles en cantidades exorbitantes. Para Palmer, R. & Colton, J. (1985, p. 11 – 12) esta situación redundaría en la siguiente interpretación:

A comienzos del Siglo XX se calculó que si toda la energía que entonces se obtenía de otras fuentes (que en aquel tiempo consistían principalmente en el carbón) hubiera de ser producida por hombres y animales, se necesitaría cada centímetro cuadrado de la superficie terrestre, incluidos los desiertos y las extensiones árticas, sólo para acoger a tantos seres vivos, y para facilitarles vivienda y alimentación.

En consonancia, Chávez Palacios, J. (2004, p.90) afirmaría que la ingente demanda de energía propició que, hasta el advenimiento de la era eléctrica y nuclear, las principales áreas industriales del mundo estuvieran ubicadas en zonas próximas a las cuencas carboníferas. No

obstante, lo anterior, los procesos propios de la Industrialización traerían consigo múltiples tensiones sociales.

Esta idea de “progreso” ligada a la Industrialización, a mediano y largo plazo generó efectos menos favorables para las sociedades modernas, haciendo mella no sólo en ámbitos socio-culturales sino, también, afectando esferas económicas y ecológicas. Así pues, en los últimos 150 años la temperatura media del planeta se ha elevado alrededor de un 36% en atención a la concentración media global de CO₂ en la atmósfera, lo que quiere decir además que se ha convivido con el calentamiento global cerca de ese periodo. (Castro et al, 2007).

Para el IPCC (2014), la causa básica del cambio climático y el calentamiento global redundan en la huella humana en los gases de efecto invernadero (GEI), los cuales, si bien se producen de manera natural y resultan esenciales para la supervivencia de los seres humanos y de millones de otros seres vivos, al hacer al planeta Tierra habitable, tras más de un siglo y medio de industrialización, deforestación y agricultura a gran escala, se han incrementado y concentrado en niveles nunca antes vistos en más de tres (3) millones de años.

De conformidad a estas prácticas, a saber, la industrialización, deforestación y agricultura, a medida que la población, las economías y el nivel de vida —asociado con el incremento del consumo— crecen, correlativamente también lo hacen los niveles de emisión y concentración de los gases de efecto invernadero, motivo por el cual, los académicos y científicos en esta materia identifican tres (3) hechos concurrentes que inciden y resultan de enorme utilidad para entender la problemática presente:

La concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre está directamente relacionada con la temperatura media mundial de la Tierra.

Esta concentración ha ido aumentando progresivamente desde la Revolución Industrial y con ella, la temperatura del planeta Tierra.

El gas de efecto invernadero (GEI) más abundante, alrededor de dos tercios de todos los tipos de gases de efecto de invernadero (GEI), es el dióxido de carbono (CO₂) que resulta de la quema de combustibles fósiles.

Camino et al (2014) analizarían el Quinto Informe de Evaluación publicado en el año 2014 de la IPCC sobre el papel de la actividad humana en el cambio climático, proporcionando una visión crítica acerca de las evaluaciones exhaustivas realizadas por la IPCC del aumento del nivel del mar, las emisiones acumuladas de dióxido de carbono (CO₂) desde la época preindustrial y la revisión de las estimaciones sobre la cantidad máxima de dióxido de carbono (CO₂) con proyecciones para el año 2065.

Las causas mencionadas anteriormente generan la depredación del mundo natural y a su vez la alteración del clima, desencadenando el calentamiento global que ocasiona la destrucción de ecosistemas, el declive en el número de especies vegetales y animales, algunos de ellos ya categorizados en peligro, peligro crítico incluso extintos; sequías intensas, inundaciones, incendios forestales sin control, huracanes, escasez de alimentos y agua, olas de calor extremas, derretimiento de polos, envenenamiento del agua, entre otros impactos.

De dichos análisis se llegaron a ciertas conclusiones puntuales, con relación al cambio climático y sus circunstancias en la actualidad, tal y como precisaron Camino et al (2014): De 1880 a 2012, la temperatura media mundial aumentó 0,85(°C).

Los océanos se han calentado, las cantidades de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar ha subido. De 1901 a 2010 el nivel medio mundial del mar ascendió 19cm, ya que

Los océanos se expandieron debido al hielo derretido por el calentamiento. La extensión del hielo marino en el Ártico ha disminuido en cada década desde 1979, con una pérdida de $1,07 \times 10^6 \text{ km}^2$ de hielo cada diez (10) años.

Debido a la concentración actual y a las continuas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), es probable que al final de este siglo la temperatura media mundial continúe creciendo por encima del nivel preindustrial. Como resultado, los océanos se calentarán y el deshielo continuará.

Se estima que el aumento del nivel medio del mar será de entre veinticuatro (24) y treinta (30) centímetros para 2064 y de cuarenta (40) a sesentaitrés (63) para 2100 en relación al periodo de referencia de 1986-2005. La mayoría de los efectos del cambio climático persistirán durante muchos siglos, incluso si se detienen las emisiones.

Se han alcanzado —o sobrepasado— varios puntos de inflexión que darían lugar a cambios irreversibles en importantes ecosistemas, así como también en el sistema climático del planeta. Ecosistemas tan diversos como la selva amazónica y la tundra antártica pueden estar llegando a umbrales de cambio drástico debido a su calentamiento y a la pérdida de humedad.

Los glaciares de montaña también están retrocediendo de manera muy preocupante. Además, los efectos producidos por el menor abastecimiento de agua en los mesesecos tendrán repercusiones a muy largo plazo en estos ecosistemas.

Posteriormente, en el año 2018, el IPCC publicaría un informe especial a través del cual haría evidentes los impactos del calentamiento global a una temperatura media mundial de uno punto cinco grados centígrados ($1,5^\circ\text{C}$). Así, el IPCC (2018) indicaría que, de las principales conclusiones de este informe, es menester destacar que limitar el calentamiento global a este límite de temperatura requerirá de cambios rápidos, de gran alcance y sin precedentes en todos

los aspectos de la sociedad, aunados al compromiso de construcción de sociedades más sostenible, equitativas y justas.

En esta ocasión, el IPCC (ídem, 2018) identificó como conclusiones, en virtud de las proyecciones e idealizaciones realizadas, partiendo de la premisa de establecer el límite de calentamiento global en 1,5°C en lugar de 2°C o más, estableciendo así que:

Para 2100 el aumento del nivel del mar a nivel global sería 10cm más bajo con un calentamiento global de 1,5°C.

Las probabilidades de tener un Océano Ártico sin hielo durante el verano disminuirán a una vez por siglo, en lugar de una vez por década, con el máximo en 1,5°C si el límite se establece en los 2°C.

Los arrecifes de coral disminuirían entre un setenta (70) y un noventa (90) por ciento (%) con un calentamiento global de 1,5°C mientras que con 2°C se perdían prácticamente todos.

Repercusión del calentamiento global en los arrecifes de coral

El estrés que está presentando el clima ha provocado que el nivel del mar ascienda debido a causas antrópicas, entre ello, se estima que los ecosistemas costeros están pagando por dichas actividades; este fenómeno amenaza con extinguir diferentes especies marinas, considerando así el colapso de los ecosistemas de los arrecifes de coral. En los últimos 30 años el 50% de todo el coral se ha extinto, producto de las altas temperaturas que alcanza el planeta como consecuencia de los gases de efecto invernadero, también por la acidificación de los océanos y otros factores (ONU, 2016).

Calentamiento global y especies en vía de extinción en el departamento de Caldas

En el departamento de Caldas la biodiversidad se encuentra amenazada por fenómenos como el cambio climático global producto de las actividades antrópicas; entre las especies de vertebrados reportados para Caldas en el Diagnóstico Ambiental Plan de Acción se encuentran bajo alguna categoría de amenaza los siguientes:

Mamíferos.

El mono Araña (*Ateles hybridus brunneus*) en la cuenca del Magdalena, el cual es catalogado en peligro crítico (CR) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN y considerado como uno de los 25 primates más amenazados del mundo, del mismo modo la Marimonda del Maginaren (*Ateles hybridus brunneus*); *Bajo la categoría en peligro (EN)*, se encuentran la Danta de Páramo (*Tapirus pinchaque*) y la Marimonda Chocoana (*Ateles geoffroyi rufi ventris*).

Aves.

El departamento de caldas constituye más del 50% de la avifauna registrada para Colombia, lamentablemente una parte de ese porcentaje registra las siguientes especies así: LaCotorra (*Hapalopsittaca fuertesi*), el Loro Orejiamarillo (*Ognorhynchus icterotis*), el Paujil de Pico Azul (*Crax lberti*) y Tinamú del Magdalena (*Tinamus saltuarius*), son cuatro especies de aves que se encuentran categorizados en peligro crítico; además se observa que el Chango Colombiano (*Hypopyrrhus pyrohypogaster*), el Cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*), la Cotinga de Páramo (*Doliornis remseni*), el Hormiguero Pico de Hacha (*Clytoctante salixii*), el Pato Andino (*Oxyura jamaicensis*), el Tinamú Negro (*Tinamu sosgoodi*), y cinco especies más presentan una calificación de EN (en peligro).

Anfibios

La taxa anfibia en el departamento de Caldas, ocupa a nivel nacional el 16% de la variedad de anfibios, son unas de los grupos que más se han visto afectadas por el fenómeno del calentamiento global, debido a que son animales fácilmente sensibles a las altas temperaturas y la humedad relativa, con poca plasticidad, conduciendo vertiginosamente a la extinción local de las poblaciones; se ha observado que si estas especies se encuentran distribuidas en un solo ámbito geográfico limitado y no se localizan de forma natural en ningún otra parte del país, es muy probable su rápida extinción.

Algunas de las especies de anfibios de Caldas que se encuentran bajo alguna *categoría de peligro de extinción, son:*

En la categoría de peligro crítico se localizan: *Atelopus sonsonensis*, *Niceforonia adenobrachia*, Rana de Lluvia Camuflada (*Pristimantis lichenoides*), Rana de Lluvia Camuflada (*Pristimantis veletis*), Rana de Lluvia de los Torrentes (*Pristimantis torrenticola*) y Rana de Lluvia Ornamentada (*Pristimantis tribulosus*).

En la categoría en peligro (EN), se pueden catalogar: Rana Cornuda de Johnson (*Hemiphractus johnsoni*), Rana de Lluvia de Ojos Rojos y Amarillos (*Pristimantis actinolaimus*), Rana de Lluvia Gargantimanchada (*Pristimantis fallax*) y 12 especies más. (CORPOCALDAS, 2015)

Por las consideraciones anteriores, es claro anotar que no solo la fauna sufre los efectos del calentamiento global, ya que en la actualidad se registran incendios forestales y veranos extensos que ha acabado con varias hectáreas, provocando la pérdida de la flora, entre ellas se encuentran sometidas especies como: *Brosimu mutile* (Kunth) Oken ex J. Presl, *Caryocara migdaliferum* Mutis, *Chamaedorealinear*is y otras 39 especies.

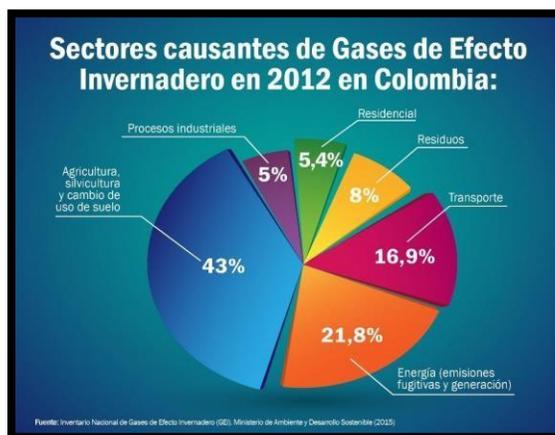
Los océanos grandes aliados para combatir el calentamiento global

Entre las ayudas que ofrecen los océanos para combatir el cambio climático, se encuentran la absorción de CO₂ y reducción de la erosión costera (FAO 2017). De esta forma la importancia de dichos ecosistemas marinos radica en su riqueza biológica, en donde al mismo tiempo cumplen un papel fundamental como grandes constructores de rocas carbonatadas, actividad que demuestra el control que han desplegado y ejercen sobre la concentración del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, uno de los gases que tiene contribución altamente en el calentamiento global. (Bádenas & Aurell, 1999)

Distribución de GEI por sectores

La crisis climática planetaria que se viene analizando, demuestran que el año 2016 fue el periodo más caluroso con una temperatura media de 1,1°C contrastado a con la época industrial, debido a los gases de efecto invernadero que siguen acumulándose en la atmósfera (OMM, 2017); gases que según el portal Web de Departamento Nacional de Planeación en el 2012 para Colombia, se derivarían de los sectores de: Agricultura, silvicultura y cambio de suelo con un 43%; Energía (emisiones fugitivas y generación) 21,8%; Transporte 16,9 %, Residuos 8%, Residencial 5,4% y procesos industriales 5%, como por ejemplo dióxidos de carbono (CO₂), Metano (CH₄), y óxidos nitrosos (NO₂).

Figura 1.

Sectores causantes de Gases de Efecto Invernadero en 2012 en Colombia

Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2015

Dicho lo anterior, se deduce que a nivel mundial el sector de energía (procedentes de las industrias y el sector manufacturero y emisiones fugitivas) aporta un 47%, agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra un 21%, transporte 11%, residencial, comercial e institucional 8%, procesos industriales y uso de disolventes 7% y demás fuentes (combustibles de buques internacionales, residuos y otras fuentes.) 6% (FAO 2016).

Agricultura y Calentamiento global

Los efectos de la agricultura en el clima son significativos, actividades practicadas en esta área liberan gases contaminantes que contribuyendo ampliamente al cambio climático, puesto que comprometen severamente el agua, la tierra y la biodiversidad; entre esas actividades hay diversas razones que promueven la deforestación tropical, la principal es el consumo de carne y

productos derivados de los lácteos, ya que se ha desarrollado un crecimiento desmesurado de los habitantes del planeta, que incrementan el consumo de estos productos en los países principalmente subdesarrollados (Armenteras & Eraso 2014).

Por su lado, la agricultura en particular emite grandes cantidades de metano, dado que existen fuentes que descomponen la materia orgánica presentes en sistemas biológicos; por lo anterior se consideró las siguientes actividades liberadoras de CH₄:

Actividades agrícolas como fermentación entérica producto del proceso digestivo que realiza los herbívoros; descomposición en ausencia de oxígeno de las heces que origina el ganado; cultivo de arroz, debido a que ésta siembra bajo riego, recrea la acción metanogénica a través de bacterias que descomponen la materia orgánica en los campos de arroz inundados. (Baethgen & Martino 2007); los gases de efecto invernadero producto de los procesos biológicos en los arrozales que generan metano, representan al año 60 millones Ton/año del total de las emisiones de la agricultura (Carmona et al; 2005) así mismo, quemas de sabanas y residuos agrícolas, entre otras fuentes.

Cambio y climático y los efectos negativos de la ganadería

Con el paso de los años la actividad ganadera ha incrementado rápidamente a nivel mundial al ser comparada con otras labores del sector agrícola; prácticas como la ganadería extensiva e intensiva recrean un ambiente deplorable en los ecosistemas, ya que se deforestan grandes áreas de bosques (recicladores de CO₂, reguladores de la temperatura planetaria y portadores de fauna y flora) para ubicar el ganado y los pastizales teniendo en cuenta además que el ganado emite CH₄ entérico, generando problemas ambientales; según Bonilla y Lemus (2012) afirman que en términos de energía constituye una pérdida y en términos ambientales aportan al

calentamiento y al cambio climático global. Cabe resaltar que cuando el rumiante se prepara para generar metano entérico, este ostenta una pérdida energética para el animal que representa entre el 2 y el 12% de la energía bruta consumida (Johnson & Johnson, 1995).

Gerber *et al* (2013) sostienen que:

“(…) La ganadería es responsable de generar alrededor del 65% de la emisiones de GEI procedentes de la agricultura, que contribuyen al deterioro de la capa de ozono, calentamiento global y al cambio climático, originado en su mayor parte a la fermentación entérica que es un proceso realizado en el sistema digestivo de los rumiantes exactamente en el rumen, emitiendo gas como el metano (CH₄) en una cantidad abundante (44%), convirtiéndolo en un determinado portador de aproximadamente el 30% de las emisiones que se producen en la agricultura(…)”

Con base en los análisis del Ciclo de vida (ACV), se aprecia que el sector emite alrededor de 7,1 Gt de CO₂-eq/año, o aproximadamente 18 % del total de las emisiones de los GEI antropogénicas, de ahí la producción animal 1,9 Gt CO₂-eq/año, teniendo en cuenta además la fermentación entérica del ganado (metano), y el empleo de combustibles fósiles en las granjas (CO₂); (Lipa, 2017).

Como resultado de las actividades antropogénicas, la atmósfera tiene mucho más CO₂, pero el CH₄ es mucho más impactante, cada molécula de metano equivale a 23 moléculas de CO₂, y del metano existente en la atmosfera casi todo es debido al ganado (Vargas *et al.*, 2011).

Por otro lado, el cálculo en porcentaje de emisiones de metano provenientes del sector ganadero en Colombia para el 2010, se registraba con un 70% aproximadamente en aportes de GEI originado por el ganado lechero y productor de carne, en donde el 95% se emitió a través del tracto digestivo. (Gonzales & Rodríguez, 1999).

De acuerdo a las consideraciones anteriores, se detalla que la ganadería se ha extendido no solamente en Colombia si no en todo el mundo, una de las principales características actualmente, es que cada año las personas están consumiendo más carne y productos lácteos; se estima que para el año 2050 la demanda de carne se elevará el doble, pasará de 229 a 465 millones de toneladas y en cuanto a productos lácteos ascenderá de 580 a 1043 millones de toneladas, aumentando su producción aceleradamente (Amores, 2014); esta actividad no solo genera emisiones antropogénicas como el CH₄, también dióxido de carbono (CO₂) y óxido de nitrógeno (N₂O), que son los gases de efecto invernadero más representativos.

En definitiva, el impacto que genera la contribución ganadera en las emisiones de GEI y la intensidad global de las emisiones por tipo de ganados en millones de toneladas de CO₂-eq, registran unos valores para el ganado vacuno de carne 2945 CO₂-eq y ganado lechero 2128 CO₂-eq (Gerber., *et al* 2013). En este sentido, existen factores fomentadores de la generación de CH₄ como la constitución de la dieta, consumo de alimento, digestibilidad del alimento, preparación del alimento, periodicidad de alimentación y en el mayor de los casos la composición microbiana ruminal.

Producción de metano en los rumiantes

El metano se genera de manera natural a través de la fermentación entérica, exactamente en el rumen (estómago) (Carmona *et al.*, 2005); en efecto, una serie de microorganismos especializados cumplen la función de degradar materia orgánica en un ambiente ausente de oxígeno, dichos microbios descomponen los hidratos de carbono en moléculas simples para que sean digeribles, aquí el CH₄ viene siendo un subproducto de este proceso, el cual hace parte del metabolismo energético del animal utilizando CO₂ como aceptor para terminar convirtiéndolo en

ese gas; en ese transcurso existe unos electrones que donan H_2 para consolidar el proceso (Ochoa *et al.*, 2014). Para conducir a la biogénesis de CH_4 es necesario que se presente situaciones como la deserción de oxígeno, ausencia de luz y la presencia de NO_3 (nitrato), S (azufre) y SO_4 (sulfato), los cuales caracterizan la fermentación de MO (Materia Orgánica) (Denman *et al.*, 2007).

El rumen.

Arias (1983) afirma que concretamente los bovinos, bufalinos, caprinos y demás animales que conserven cuatro estómagos, contienen entre ellos uno en particular, el cual es el rumen, este se encuentra dentro del rumiante en condiciones libres de oxígeno, realizando la tarea de convertir la materia orgánica (alimento) en diferentes sustancias, entre ellas, están el extraer los nutrientes necesarios para el funcionamiento del animal, producir leche, y en este caso emitir metano (...)

Los rumiantes anatómicamente constituyen el rumen como unos de los tres pre-estómagos, que se ubica antes del verdadero abomaso (Sisson y Grossman, 1982).

Medio ambiente ruminal.

El medio ambiente ruminal es el área que ofrece las condiciones adecuadas para el crecimiento de los microorganismos existentes allí; es necesario que el pH esté alrededor de 5.5 y 7.0 y la temperatura entre $39^{\circ}C$ y $40^{\circ}C$, es similar a los escenarios óptimos para varios sistemas enzimáticos.

Cuando el alimento se desplaza a través del esófago, éste llega al rumen de manera periódica en donde se mezcla por el efecto que produce las paredes ruminales (contracción),

generando las condiciones para que los microorganismos se relacionen con la materia orgánica que el animal acaba de digerir, los cuales han sido masticados repetidas veces y humedecidos, por ejemplo:

De esa manera, Warner (1962) define que:

“(…) Cuando se humedece el alimento en el rumen por situaciones como la hidratación del bovino y secreciones producto de la hidratación, se crea un escenario húmedo que facilita la supervivencia e interacción de muchos microorganismos, generando de paso productos residuales de la actividad fermentativa, los cuales son depurados del área a través de la mucosa del retículo y el rumen por absorción o dirigidos hacia las demás secciones, impidiendo que se sature el medio ambiente ruminal y que no crezca los microorganismos, de esta forma se genera la existencia de ellos y parte de protoplasma alrededor de 10% del líquido del rumen (…)”.

Comunidad microbiana ruminal.

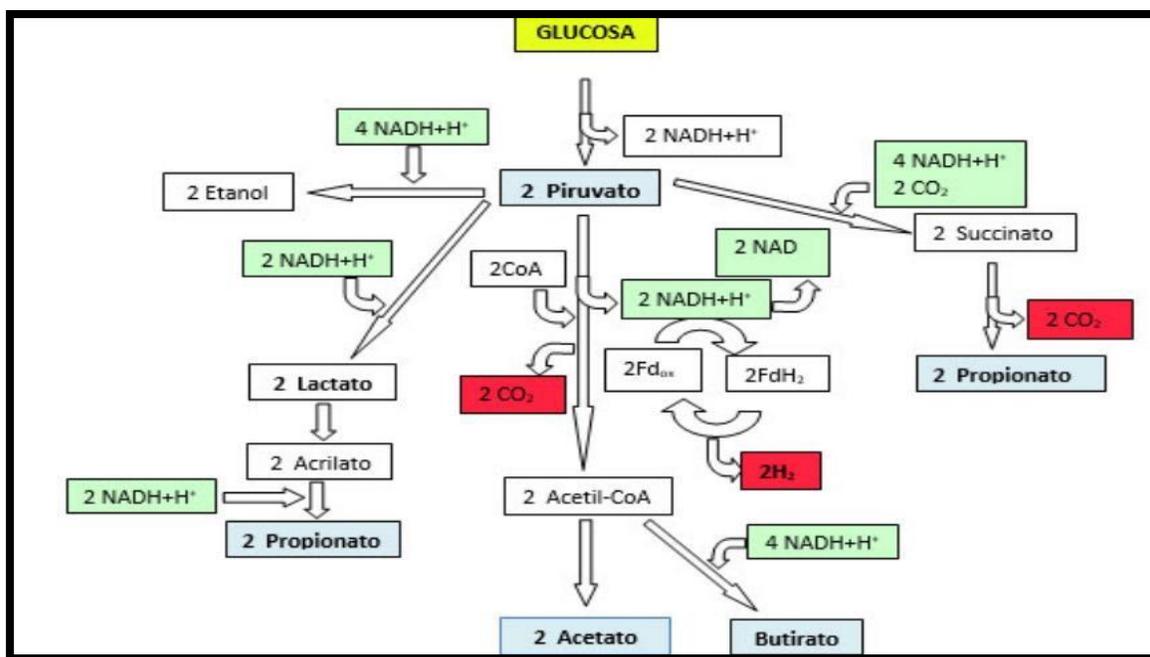
En el medio ambiente ruminal se pueden encontrar diferentes tipos de poblaciones microbianas en donde dominan principalmente bacterias y protozoarios ciliados; gran parte de la comunidad microbiana que permanecen en el rumen trabajan en ausencia de oxígeno.

En efecto, el metano es derivado por microorganismo que hacen parte del dominio Archaea en donde lo comprenden dos reinos: *Euryarchaeota* (metanogénicos, halófilos extremos y algunos hipertermófilos) y *Crenarchaeota* (incluye diferentes miembros no termofílicos). Algunas de las especies que han sido clasificadas son: *Methanobacterium formicicum*, *Methanobrevibacter millerae*, *Methanobrevibacter gottschalkii*, *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobrevibacter arboriphilus*, *Methanobrevibacter smithii*, *Methanomicrobium mobile*, y *Methanosarcina barkeri* (Sundset et al., 2009).

Los microorganismos como las Archeas, se caracterizan por poseer diversidad morfológica y utilizar sustancias simples para extraer energía con el fin de crecer, de allí su destreza por generar CH_4 . Como se presenta una variedad amplia de estructuras orgánicas que se encuentran en la biomasa ruminal, es necesaria una gran diversidad de microorganismos para que se lleve a cabo la fermentación, además de las especies metanogénicas, ya que solo catabolizan un limitado número de sustratos. Es de esta manera como el complejo de microorganismos convierte las proteínas, lípidos y carbohidratos, en mínimas fracciones de peso molecular, donde las bacterias acetógenicas (productoras de H_2) los utilizan para estructurar acetato H_2 y CO_2 y finalmente ser usadas por organismos metanogénicos (Johnson & Johnson, 1995).

Figura 2.

Fermentación ruminal a partir de glucosa.



Fuente: Adaptado de Moss et al.

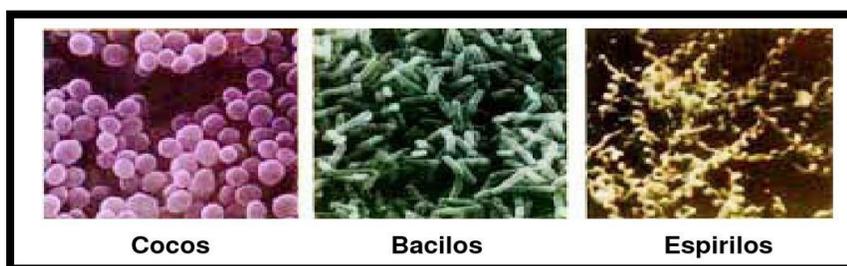
Concretamente Martínez (2011) clasifica los microorganismos del rumen de la siguiente manera:

Bacterias

Este tipo de microorganismos se caracterizan por ser la fauna microbiana más abundante en el retículo- rumen, se clasifican por su morfología o familiaridad por las sustancias contenidas allí. Las bacterias, se encargan de degradar las macromoléculas, almidón, grasas/ aceites y pectina; durante este proceso de metabolización, las bacterias producen calor y gases que van desde CO₂ hasta CH₄ que se ven reflejados como una pérdida de energía en el animal.

Figura 3.

Clasificación morfológica de bacterias en el complejo retículo-rumen.



Fuente: Martínez, 2011

Hongos

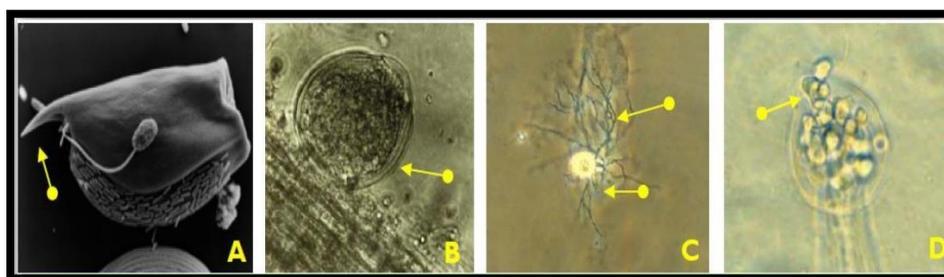
Inicialmente los hongos agotan la conformación de algunos tejidos del alimento que ingresa al rumen (plantas), elevando el área aprovechable para la digestión bacteriana, lo que garantiza la efectividad de la ruminal y degradación de la fibra. Los hongos que habitan en el rumen conforman cerca del 8% del microbiota ruminal, son microorganismos eucariotas, heterótrofos, y juegan un papel muy importante en las primeras cinco horas en la digestibilidad de los alimentos fibrosos después de ingresados al sistema digestivo, ya que origina una enzima- sustrato que hidroliza la

fibra, de forma superior a las principales bacterias celulolíticas, además disuelve un segmento de la lignina.

Se han establecido 6 especies en el retículo- rumen, los cuales son: *Neocallimastix spp*, *piromyces*, *orpinomyces*, *caecomyces*, *shaeromyces* y *cyllamyces*.

Figura 4.

Hongos degradando el sustrato en el complejo retículo- rumen.



Fuente: Martínez, 2011

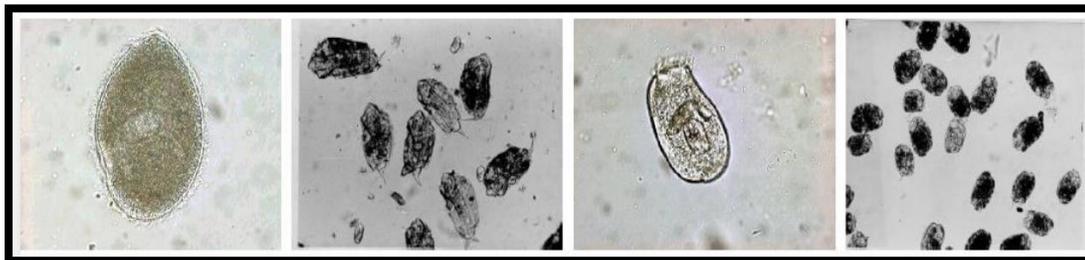
Protozoarios

Estos son microorganismos unicelulares dependientes, conforman aproximadamente el 50% de la fauna ruminal y gran parte de ellos son ciliados, los demás son flagelados. Se caracterizan por ser móviles y envolver bacterias para alimentarse de ellas. (Newbold *et al*, 2015)

Los protozoos están presentes en la actividad fermentativa del retículo- rumen; para lograr la movilización allí, es necesario la adhesión a los cilios para degradar los sustratos. Su morfología y afinidad es esencial para su clasificación al sustrato que degradan. (Martínez, 2011)

Figura 5.

Protozoarios que permanecen en el complejo retículo- rumen



Fuente: Martínez, 2011

Metabolismo microbiano ruminal

Según Arias et al (1983), confirma que es el animal (rumiante) quien proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos ruminales. Los alimentos proveen los C, N, P, S y elementos trazas esenciales para la adecuada alimentación del rumiante, además de generar las condiciones fisicoquímicas adecuadas para la actividad fermentativa, de ese modo se obtiene un equilibrio de la temperatura y pH (...)

Los cambios físicos y biológicos que se presentan en el rumen durante la digestión del alimento, se consolida por la velocidad y cantidad de fermentación de los hidratos de carbono, este proceso genera energía de ATP para la evolución microbiana. (Nava *et al.*, 2001).

Metodologías empleadas para medir la producción y emisiones de metano derivadas del ganado.

Para llevar a cabo la mitigación de emisiones de metano proveniente del ganado, es necesario llevar un seguimiento y cuantificación de dicho gas teniendo en cuenta diferentes

variables. El CH₄, se puede calcular a través de espectroscopia de masa, espectroscopia infrarroja, cromatografía de gas, y técnicas de diodo láser. Se emplea además ecuaciones de regresión de consumo de energía digestible (ED), sin tener en cuenta las relaciones del balance de carbono y de ácidos grasos volátiles. Lo anterior hace que los valores de energía metabolizable (EM) no sean un buen estimativo de la generación de metano.

En cuanto a la medición de metano de manera *in vivo*, se puede realizar de varias formas, ya sea un muestro individual o grupal y puede llevarse a cabo usando técnicas con cámaras cerradas o métodos con trazadores, al igual que métodos fermentativos *in vitro*, ecuaciones de predicción y rumen artificial (Carmona *et al.*, 2005).

Diferencias entre especies bufalinas y bovinas

Según Martínez (2014), cuestiona que existe una marcada diferencia entre la cantidad de metano producido por el género *Bubalus* y la cantidad de metano producida por el género *Bubalis*, cerca del 70% menos metano es obtenida a partir de los residuos de los búfalos; probablemente, esto se deba a la presencia de bacterias degradadoras de metano en el rumen”

Por otro lado, se han propuesto métodos para reducir y mitigar las emisiones de metano, como, por ejemplo: la participación de animales que no sean rumiantes y en el mayor de los casos reducir los de razas metanogénicas, manipular la composición microbiana ruminal y la nutrición de la dieta. (Bonilla & Lemus, 2012).

Metodología

Localización del Lugar de Muestreo

El líquido ruminal utilizado para el aislamiento de las bacterias, se obtuvo de la bufalera de la Hacienda la Americana, la cual posee 2 hatos entre Puerto Boyacá y, La Dorada, se elige esta población debido a que dentro de las consultadas es la única que tiene registro detallado de sus animales y se han hallado los valores de cría para identificación de GEI, lo cual proporciona un valor agregado para el estudio, adicionalmente se cuenta con el aval del ganadero para realizar dichos muestreos teniendo en cuenta los días en los cuáles se realizan los sacrificios.

La identificación de búfalos objeto de este trabajo parten de los resultados obtenidos por Carlos Mario Duque en su tesis doctoral, donde realizó las mediciones de metano para la población objeto de estudio, los individuos a trabajar se encontraban con mediciones de metano de entre 50 y 70gCH₄/día para el grupo de bajas emisiones y entre 90 y 120gCH₄/día para el grupo de mayores emisiones.

Figura 6.

Localización Hacienda La Americana



Fuente: La Autora

Muestreo líquido ruminal

Las muestras del líquido ruminal fueron colectadas con ayuda del médico veterinario encargado, se tranquilizaron los individuos, se introdujo en cada uno una manguera de 3,5m hasta localizarla en el rumen, mediante una bomba de extracción se obtuvo el líquido ruminal de bufalinos, se depositó la muestra en envase estéril de 200 ml. Las muestras se tomaron de forma aleatoria del grupo de bufalinos identificados previamente con mayores y menos emisiones de metano, cada día se colectaron 5 muestras, para un total de 20 en 4 días, 10 muestras del grupo de menores emisiones y 10 del grupo de mayores emisiones de metano, las muestras fueron transportadas en nitrógeno líquido hasta el laboratorio de la Universidad de Caldas donde fueron procesadas.

Figura 7.

Muestreo líquido ruminal.



Fuente: La Autora

Caracterización mediante cultivo microbiano

Tratamiento 1: Aislamiento de Microorganismos en Agar Nutritivo (AN) El aislamiento se realizó en medio sólido para que los microorganismos cultivados se pudieran diferenciar de acuerdo con sus características macroscópicas. El protocolo se realizó según lo reportado por Llamas 2011.

Preparación del agar nutritivo: dilución de 23 g de agar, en 1000 mL de agua destilada, esterilización en una autoclave (PRESTO) a 121 °C y 15 Lb de presión durante 15 min. Se agregan 15mL en las cajas de Petri, se siembran 0,5 mL del líquido ruminal con asa de Digrasky. En una campana de flujo laminar previamente esterilizada, las cajas fueron incubadas (40°C en condiciones anaeróbicas para lo cual se empleó una cámara de anaerobiosis con atmósfera de nitrógeno y mezcla de gases de nitrógeno: hidrógeno: dióxido de carbono y jarras anaerobiosis (Figura 9 cámara anaerobia). El tiempo de incubación dependió del tiempo en que se observó crecimiento favorable de los microorganismos registrando características macroscópicas de la colonia y realizando tinciones de Gram para la definición de características microscópicas.

Caracterización Macroscópica de las Especies Bacterianas Aisladas en AN: Se registraron las características macroscópicas de las colonias teniendo en cuenta tipo de borde, color, translucidez, forma y consistencia.

Figura 8.

Cama anaerobia



Fuente: La Autora

Tratamiento 2: Aislamiento de microorganismos en AS (Agar Schaedler): Se realiza protocolo según lo propuesto por Santillo, 2011. se diluyeron 41.9 g de agar, en 1000 mL de agua destilada, se solubilizó (se llevó a flama de mechero para su disolución hasta coloración cristalina) y se esterilizó en una auto clave (121°C-15 lb-15 min). Se vaciaron 15 mL de (AS) en las cajas Petri. Posteriormente se tomaron 0.5 mL de líquido ruminal y se sembraron en las cajas, con la ayuda de un asa de Digrasky. Las cajas fueron incubadas a 39 - 40°C en condiciones anaerobias previamente descritas. El tiempo de incubación dependió del tiempo en que se observó crecimiento uniforme de los microorganismos procariotas; se revisaron cada 24hrs, se registraron las características macroscópicas de las colonias considerando los mismos factores mencionados anteriormente y por medio de la técnica de tinción de Gram se definieron las características microscópicas.

Pruebas bioquímicas

Son un método utilizado para identificar bacterias de acuerdo con las características que presenta en sus acciones metabólicas. El agar se prepara en forma de pico de flauta. La porción inclinada (pico) expuesta en toda su superficie al oxígeno es aerobia y la porción inferior (fondo) está protegida del aire y es relativamente anaerobia. Las pruebas bioquímicas realizadas fueron realizadas siguiendo el protocolo según lo reportado por Llamas 2011.

Figura 9.

Identificación bioquímica



Fuente. La Autora

Tratamiento 3: Citrato de Simmons. En tubos de ensayo, se vaciaron 4 mL de Citrato de Simmons (24.2 g de citrato en 1000 mL de agua destilada, solubilizar y esterilizar); se inclinaron en forma de pico de flauta. Posteriormente se inocularon y se realizó anaerobiosis en las jarras para incubar 40° C. Se monitorearon cada 24 horas hasta observar cambio de vire en el color del medio.

Tratamiento 4: Agar de Hierro y Lisina. En tubos de ensayo, se vaciaron 4 mL de agar Hierro y Lisina (33 g de agar en 1000 mL de agua destilada, solubilizar y esterilizar); se inclinaron en forma de pico de flauta. Posteriormente se inocularon y se realizó anaerobiosis en las jarras para incubar 40° C. Se monitorearon cada 24 horas hasta observar cambio de vire de color.

Análisis de datos

El análisis de datos se realizó mediante el software Statgraphics Centurión XV, con un diseño de bloques completos al azar, se realizaron 5 repeticiones por bacteria para garantizar la estandarización de valores.

Resultados y Discusión

Obtención de líquido ruminal: Para cada individuo fue posible obtener entre 100mL y 250mL.

Figura 10.

Obtención de líquido ruminal.

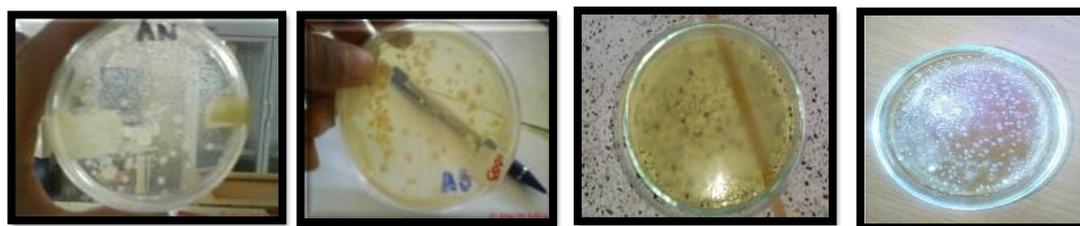


Fuente: La Autora.

En la figura 11 se muestran las cajas con AN después de haber obtenido un crecimiento homogéneo de las colonias las cuales fueron incubadas a 40°C por tiempos de 24 hasta 96h, por lo tanto, representan a las cajas con las colonias originales.

Figura 11.

Crecimiento microbiológico empleando agar nutritivo incubadas a 40°C y en condiciones anaerobias.



Fuente: La Autora.

Para el tratamiento 1, en agar nutritivo se obtuvieron 16 colonias, en el grupo de menores emisiones las colonias (1,2,4,5,7,12,13,16,17,18) y en el grupo de mayores emisiones (2,3,5,7,8,10) las cuales se observan en la tabla 1, donde se muestra la identificación macroscópica que se realizó de las colonias bacterianas obtenidas de búfalos codificados con los números, (8914,8716, 8564, 8734, 8739, 8315, 8214, 8211,8209,8113) para el grupo de mayores

Emisiones de metano, y con los números (8110, 8054,8043, 8037, 8030, 7914, 79,14, 7613, 7515, 7017) para el grupo de menores emisiones. En el tratamiento 2, el agar Schaedler identifican bacterias en forma de cocos tamaño mediano, gram positivos según la coloración morada, de acuerdo a la tinción de Gram, se obtuvieron 10 colonias diferentes, 8 del grupo de menores emisiones (6, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 18) y 2 del grupo de mayores emisiones que no son compartidas en el grupo de menores emisiones, colonias 4 y 5 no compartidas con el primer grupo y las colonias (9, 11, 14, 15) que igualmente se expresaron en el grupo para bajas emisiones de metano. De resaltar que las colonias 4 y 5 presentaron morfología idéntica y provenientes de las muestras (82,09 y 8113 de búfalos con emisiones de metano con valores de 103 y 115gCH₄/día).

Tabla 1

Colonias bacterianas obtenidas de búfalos

# Colonia	Color	Forma	Elevación	Aspecto	Bordes	Luz Reflejada	Consistencia	
1	Rosa	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	Búfalos con menores emisiones de metano
2	Amarillo	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
3	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
4	Amarillo	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
5	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
6	Amarillo	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
7	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
8	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
9	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
10	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
11	Amarillo	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
12	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
13	Amarillo	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
14	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
15	Amarillo	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
16	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
17	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
18	Amarillo	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
1	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	Búfalos con mayores emisiones de metano
2	Amarillo	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
3	Amarillo	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
4	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
5	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
6	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
7	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
8	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
9	Amarillo	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
10	Blanco	Circular	Plana	Seco	Entero	Opaca	Suave	
11	Amarillo	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
12	Beige	Circular	Plana	Húmedo	Entero	Brillante	Suave	
13	Beige	Irregular	Plana	Húmedo	Irregular	Brillante	Suave	
14	Anaranjado	Circular	Plana	Seco	Seco	Opaca	Firme	

En el tratamiento 3, se puede apreciar que se lograron aislar 5 microorganismos; predominando colonias circulares, fueron registradas tres apariencias posibles para las colonias de microorganismos celulolíticas: Se obtiene este resultado definiendo las bacterias celulolíticas estas se encuentran presentes en el rumen de animales produciendo celulasa, es una enzima extracelular capaz de hidrolizar los enlaces beta en la celulosa (Bryant 1953; Hungate, 1950). Presentando una morfología microscópica cocoide con perfecta definición en sus bordes (enteros) en su morfología colonial (macroscópica). Y por último para el tratamiento 4, se pudo observar un crecimiento homogéneo después de 24-48 h de incubación bajo anaerobiosis a 40°C.

Figura 12

Colonias con tinción de Gram Tratamiento 2.



Fuente: Equipo de Laboratorio de Microbiología U de Caldas

De acuerdo con Anisson y Lewis 1966 *Ruminococcus flavefaciens* y *Ruminobacter parvum* son cocos Gram negativos que se aíslan del líquido ruminal, sin embargo en este caso se obtienen cocos Gram negativos, lo cual tampoco coincide con lo reportado por los mismos autores quienes indican presencia de *Bacteroides succinogenes* como bacilo Gram negativo; sin embargo los resultados si coinciden con estos autores respecto a que la presencia de cocos y bacilos son los predominantes en el líquido ruminal, tal como lo menciona (Kumar *et al.*, 1994 y Dawaon *et al.*, 1990).

Dentro de las características que poseen los microorganismos se encuentra la capacidad de síntesis, el agar Schaedler es el medio externo que se constituye como fuente de carbono, minerales y nitrógeno el cual es requerido por los microorganismos anaerobios presentes en el ecosistema ruminal; sin embargo el estado cuantitativo y cualitativo de las bacterias es cambiante según factores ambientales y/o dietarios, además de algunos factores propios de cada individuo como: tiempo de rumia, cantidad de saliva que segrega cada animal, consumo de agua y digestión (Llamas, 2011), lo que podría explicar la no identificación de microorganismos reportados por otros autores.

La Prueba bioquímica de Citrato de Simmons fue positiva (color azul) sólo para 2 de los individuos (82443- 80567) es posible que esta cepa sea un *Streptococcus sp*, las 18 muestras restantes dieron negativo presentando coloración verde, muestras en las cuales posiblemente se tenga presencia de *Streptococcus bovis*. El uso del citrato como fuente de carbono es útil en la identificación de *Enterobacterias*, donde el aumento de pH que se evidencia con el indicador azul de bromotimol, ya que las bacterias que metabolizan el citrato liberan iones de amonio al medio provocando la alcalinización y el indicador se torna color azul, ya que las bacterias que resultan positivas son *Enterobacterias* que reaccionan a las 72 horas y empiezan a liberar amonio al medio produciendo incremento de pH.

Figura 13

Muestras 82443-80567 citrato de Simmons- Tratamiento 3.



Fuente: La Autora

El tratamiento 4 logro identificar 1 colonia de bacterias gran negativas en forma de bacillo, la muestra 7914 del grupo de menores emisiones de metano fue positiva, dando como resultado una coloración roja intensa como muestra la figura 15, lo que indica producción de un ácido y NH_3 que se visualiza mediante la aparición del color rojo intenso y la producción de H_2S , las demás cepas fueron negativas no reaccionando y presentando coloración amarilla.

Posiblemente se trata de una especie de *Prevotella*, las cuales han sido ampliamente descritas por (Aguilar *et al.*, 2021) quienes refieren que: “se ha identificado que ciertos Bacteroidetes como *Prevotella*, varios *Firmicutes* y algunas bacterias Gram-negativas, utilizan la vía del succinato a través de metilmalonil-CoA para la producción de propionato”, otros autores como, Stewart *et al.*, 2019; Henderson *et al.*, 2015; reportan a *Prevotella* como habitantes dominantes del rumen y se sugiere una posible mayor presencia de éstas en individuos con bajas emisiones de metano, resaltando que falta significancia estadística en la comparación de las medidas para una conclusión definitiva.

Figura 14

Tratamiento 4: Prueba bioquímica Agar LIA



Fuente: La Autora

El valor de P de la prueba estadística fue mayor de 0,05, lo que indica que no existe diferencia significativa en cuanto a la conformación microbiana entre el grupo de mayor emisión y menor emisión de metano.

Conclusiones

Se aislaron 18 cepas del rumen de búfalos y fue posible su caracterización bioquímica, macroscópica y microscópica.

Se propone la presencia de *Prevotella* en el rumen de los animales con menores emisiones de metano, esta influye negativamente en la producción de metano.

La producción de enzimas a partir de bacterias ruminales de bovinos es una fuente de futuras investigaciones que podrían aportar de manera directa tanto a los productores como a la industria y el ambiente.

La existencia de microorganismos que posiblemente disminuyen las emisiones de CH₄ son un aliciente para los investigadores, a futuro una posible alternativa de mitigación de gas metano desde los rumiantes.

Es necesario validar estudios por medio de análisis metagenómicos y un mayor número de muestras, con el fin de obtener identificaciones precisas y significancia en los datos.

10. Bibliografías

- Acuerdo de París aumentará 0,15% la tasa de crecimiento del PIB en 2040: DNP. Gobierno de Colombia. Departamento nacional de planeación. Recuperado de:
<https://www.dnp.gov.co/Paginas/Acuerdo-de-Par%C3%ADs-aumentar%C3%A1-0,15-la-tasa-de-crecimiento-del-PIB-en-2040-DNP.aspx>
- Amores, M. J. (2014). La tendencia mundial es la intensificación... ¿y el bienestar? *Spei Domus*, 10(21), 69-72. Recuperado de:
<https://revistas.ucc.edu.co/index.php/sp/article/view/920/1003>
- Arias, J. L., & Grudsky, R. (1983). Aspectos generales de la biología del rumen. *Monografías de Medicina Veterinaria*, 4(1). Recuperado de: <https://ganaderiasos.com/wp-content/uploads/2016/05/aspectos-generales-de-la-microbiologc3ada-del-rumen-1.pdf>
- Armenteras, D., & Eraso, N. R. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en bosques de latino américa: una revisión desde 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233. Recuperado de:
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/5382/9651>
- Bádenas, B., & Aurell, M. (1999). Arrecifes de coral y concentración de dióxido de carbono: Un ejemplo en la didáctica sobre Cambio Climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7(1), 21-28. Tomado de:
<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/viewFile/88530/132516>
- Baethgen, W., & Martino, D. (2007). Cambio climático, gases de efecto invernadero e implicancias en los sectores agropecuario y forestal del Uruguay. Resúmenes del Taller sobre el Protocolo de Kyoto. Ministerio de Vivienda, ordenamiento territorial y Medio Ambiente. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Uruguay. Recuperado de:
<http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/pol/2002/informe-7.pdf>

- Bonilla Cárdenas, J. A., & Lemus Flores, C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 3(2), 215-246. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200711242012000200006&script=sci_arttext&tlng=pt
- Camino, E. R., Ruggeroni, J. R. P., & Hernández, F. H. (2014). Quinto informe de evaluación del IPCC: Bases físicas. *Revista Tiempo y Clima*, 5(43). Recuperado de: <https://pub.amezweb.org/index.php/TyC/article/view/281>
- Carmona, J. C., Vergara, D. M. B., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295022952006.pdf>
- Cerda, J., Valdivia, G., Valenzuela, M. y Venegas, J. (2008). Cambio climático y enfermedades infecciosas. Un nuevo escenario epidemiológico. *Revista Chilena de Infectología*, 25(6), 447-452. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/rci/v25n6/art06.pdf>
- Chandramoni SB, Jadhao CM; tiwari CM, Khan M. Energy metabolism with particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations in roughage to concéntrate ratio. *Animal Feed Science and Technology*, 2000; 83: 287-300. Recuperado de: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840199001327
- Chaves Palacios, J. (2004). Desarrollo tecnológico en la primera revolución industrial.
- CEPAL, N. (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.

Conde, C. (2006). México y el cambio climático global. Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Divulgación de la Ciencia. Recuperado de:

<https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2017/12/mexico-y-el-cambio-climatico-global.pdf>

Corpocaldas, Corporación Aldea Global (2010). Plan de Acción Inmediato – PAI municipio de La Dorada, 2010. Recuperado de:

<http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1021/PAI%20La%20Dorada.pdf>

De Castro, M., Ramis, C., Cotarelo, P., & Riechmann, J. (2007). Cambio climático: un reto social inminente:

https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Dossier/DOSSIER_CAMBIO_CLIMATICO.pdf

Denman, S. E., Tomkins, N. W., & McSweeney, C. S. (2007). Quantitation and diversity analysis of ruminal methanogenic populations in response to the antimethanogenic compound bromochloromethane. *FEMS microbiology ecology*, 62(3), 313-322.

Recuperado de: <https://academic.oup.com/femsec/article/62/3/313/542769>

Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería una evaluación global de la emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- (FAO), Roma. Recuperado de:

<http://www.fao.org/3/a-i3437s.pdf>

GISS Surface Temperature Analysis, NASA (2011). Goddard Institute for Space Studies (GISS).

Recuperado de: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/_graphs3/.

- González Elizondo, M., Jurado Ybarra, E., González Elizondo, S., Aguirre Calderón, Ó. A., Jiménez Pérez, J., & Nívar Cháidez, J. D. J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia uanl*, 6(3). Recuperado de:
http://eprints.uanl.mx/1287/1/cambio_climatico.pdf
- González, F., & Rodríguez, H. (1999). Proyección de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), Colombia 1998-2010. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(89), 497-506. Recuperado de:
<https://go.galegroup.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA498484031&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=03703908&p=IFME&sw=w>
- Hincapié, J. C. A., & Caicedo, J. D. P. (2013). El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. *Colombia Forestal*, 16(2), 171-185. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939620004.pdf>
- IPCC. (2014) Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. (2018) Cambio climático: calentamiento global de 1, 5 C. Johnson KA, Johnson DE. Methane emissions from cattle. *J Anim Sci*, 1995; 73: 2483-2492 Enteric methane emission by ruminants and its contribution to global climate change. Review. Recuperado de:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8567486>
- Landes, D. S. (1979). Progreso tecnológico y revolución industrial (No. 330.9/L25uE).
- Lipa Ancco, V. (2017). Evaluación de la cantidad de metano producido en vacunos bajo condiciones de pastoreo y suplementación en época de secas en Centro Experimental La Raya. Recuperado de:
http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/1817/253T20170276_TC.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Martínez Cepeda, G. (2011). Implantación de microorganismos ruminales de ganado Bos indicus (Brahman), en terneros Bos taurus (Holstein), de 10 días a 6 meses de edad (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia).

Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/853>

Martínez-Fernandez G, et al. (2014) Effects of ethyl-3-nitrooxy propionate and 3-nitrooxypropanol on ruminal fermentation, microbial abundance, and methane emissions in sheep. J. Dairy Sci. 97(6):3790-3799. Recuperado de:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8675759>

Nava Cuéllar, C., & Díaz Cruz, A. (2001). Introducción a la Digestión Ruminal. México:

UNAM. Recuperado de: <http://www.produccion->

[animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/79-](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/79-introduccion_a_la_digestion_ruminal.pdf)

[introduccion a la digestion ruminal.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/79-introduccion_a_la_digestion_ruminal.pdf)

Newbold, C. J., De La Fuente, G., Belanche, A., Ramos-Morales, E., & McEwan, N. R. (2015).

The role of ciliate protozoa in the rumen. Frontiers in microbiology, 6, 1313. Recuperado

de: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2015.01313/full> Noticias ONU

(2016). El año internacional de los arrecifes de coral. Recuperado de:

<https://news.un.org/es/story/2018/01/1425331>

Ochoa, S. P., & Noguera, R. (2014). Metanogénesis ruminal y estrategias para su mitigación.

CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 9(2), 307-323. Recuperado de:

<http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/3151/2251>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO. (2015). El

Estado Mundial de la Agricultura y Alimentación. Recuperado de:

<http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2015).

Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería mundial (GLEAM). Recuperado de:

<http://www.fao.org/gleam/results/es/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO (2016). EL

ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Cambio

Climático y seguridad alimentaria. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>

Palmer, R. y Colton, J. (1985). Historia contemporánea. Madrid, Oikos.

Smith, J. & J. Uppenbrink. 2001 (eds). Earth's variable climatic past. Science 292 (5517): 657- 693. Recuperado de:

<http://polidoc.usac.edu.gt/library/index.php?title=27180&lang=es&query=@title=Special%3A%3AGSMSearchPage@process=@field1=encabezamiento@value1=HISTORIA%20MUNDIAL%20@mode=advanced&recnum=12>

Sismondi, S. (1969). Objeto y origen de la ciencia". Economía Política, Madrid, Alianza. Sisson

S. & Grossman J. (1982). Anatomía de los animales domésticos. Barcelona: MASSON.

Steinfeld, H. (2006). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10662/10305>

La larga sombra del ganado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la

Alimentación (FAO), Roma (Italia). Recuperado:

<http://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf>.

Sundset, M. A., Edwards, J. E., Cheng, Y. F., Senosiain, R. S., Fraile, M. N., Northwood, K.

S.,... & Wright, A. D. G. (2009). Rumen microbial diversity in Svalbard reindeer, with particular emphasis on methanogenic archaea. FEMS microbiology ecology, 70(3), 553-

562. Recuperado de: <https://academic.oup.com/femsec/article/70/3/553/533632>

- Terán, L. M., Haselbarth-López, M. M. M., & Quiroz-García, D. L. (2009). Alergia, pólenes y medio ambiente. *Gaceta médica de México*, 145(3), 215-222. Recuperado de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/gaceta/gm-2009/gm093f.pdf>
- Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M., & Carulla, J. (2011). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Archivos de Zootecnia*, 61(237), 51-66. Recuperado de: <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/article/view/2958/1728>
- Warner, A. C. I. (1962). Some factors influencing the rumen microbial population. *Microbiology*, 28(1), 129-146. Recuperado de: <https://www.microbiologyresearch.org/docserver/fulltext/micro/28/1/mic-28-1-129.pdf?expires=1569621912&id=id&accname=guest&checksum=230D77DEC3A679A3A10A4EC1921C4F78>
- WMO Statement on the state of the Global Climate in 2016. World Meteorological Organization. bWMO-No.1189. Geneva, Switzerland: WHO; 2017. [Citado 14/05/2017] Recuperado de: http://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3414
- Kumar, V. K., Sareen, P. K. y Singh, S. 1994. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* yeast culture supplements on ruminal metabolism in buffalo calves given a high concentrate diet. *Brit Soc. Anilm Sci.* 59:209-215. (<https://www.cambridge.org/core/journals/animal-science/article/abs/effect-of-saccharomyces-cerevisiae-yeast-culture-supplement-on-ruminal-metabolism-in-buffalo-calves-given-a-high-concentrate-diet/FA4EA12F13C78FD5EC2D099E0861E724>)
- Dawson, K. A., Newman, K. E., Boling, J. A. 1990. Effects of microbial supplements containing yeast and lactobacilli on roughage-fed ruminal microbial activities. *J. Anim. Sci.*

68:3392-3398. <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/68/10/3392/4705215?login=true>

Stewart R.D, Auffret M.D, Warr A, Walker A.W, Roeche R and Watson M. 2019. Compendium of 4,941 rumen metagenome-assembled genomes for rumen microbiome biology and enzyme discovery. *Nature Biotechnology*, 37: 953-961. Recuperado de:

<https://www.nature.com/articles/s41587-019-0202-3>

Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A y Tempio G. 2013. Enfrentando el Cambio Climático a Través de la Ganadería - Una Evaluación Global de las Emisiones y Oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Roma. 130 p. Recuperado de:

<https://www.fao.org/3/i3437s/i3437s.pdf>

Hungate, R. E. 1944. Studies on cellulose fermentation. The culture and physiology of an anaerobic cellulose digesting bacterium. *J. Bacteriol.*,48:499–513 Recuperado de:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16560861/>

