

Condiciones de Alimentación en Ganado Bovino para Disminuir las Emisiones de Metano en
el Contexto Nariñense

Jaime Oswaldo Ramos Ramos - 12.987.189

ASESOR:

ÁNGEL ANDRÉS ARIAS VIGOYA

ARTURO SAMUEL GÓMEZ INSUASTY

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE

PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN NUTRICION ANIMAL SOSTENIBLE

CEAD PASTO, MARZO 2019

Dedicatoria

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi esposa Sandra Milena Muñoz, mis hijas Johanna Andrea y María Paula por ser mi fuente de inspiración, por estar a mi lado en todos los momentos de mi vida y por impulsarme a realizar la Especialización

Mi madre Nohelia Ramos, por darme la vida, creer en mí y por su apoyo.

Mi padre Edmundo Ramos (QEPD), por ser mi fuerza.

Agradecimientos

Agradezco a

Mis tutores de las diferentes materias por su gran apoyo y motivación.

Mi asesor Dr. Ángel Andrés Arias Vigoya por su continua colaboración para sacar adelante este trabajo;

Dr. Wilmer Alfonso Cuervo Vivas Líder Nacional Especialización en Nutrición Animal sostenible por su continuo apoyo para la terminación con éxito la Especialización.

Lic. Aurelio Muñoz D. quien me apoyo incondicionalmente en la realización de este trabajo.

Contenido

| | |
|---|------|
| Contenido | II |
| Lista de Tablas | VI |
| Lista de Figuras..... | VII |
| Lista de Abreviaturas | VIII |
| Resumen | IX |
| Summary | X |
| Introducción | 1 |
| Justificación..... | 3 |
| Objetivos | 5 |
| Objetivo General | 5 |
| Objetivos Específicos..... | 5 |
| Marco Referencial | 6 |
| Marco Teórico | 6 |
| Generalidades del Calentamiento Global..... | 6 |
| Composición del Hato Ganadero | 7 |
| Caracterización de Fincas en los Municipios de Guachucal y Cumbal (Nariño)..... | 9 |
| Estrato I | 10 |
| Estrato II..... | 10 |
| Estrato III | 11 |

| | |
|---|----|
| Procesos de Alimentación y Manejo para Reducir CH ₄ por Fermentación Entérica en | |
| Fincas de Ganado Lechero en Nariño..... | 12 |
| Generalidades Metabólicas a Nivel Ruminal..... | 17 |
| Reacciones que utilizan de H ₂ | 20 |
| Variedades Forrajeras versus Formación de Metano Entérico | 24 |
| Gramíneas C3 vs C4..... | 25 |
| Especies y Variedades..... | 27 |
| Gramíneas Vs Leguminosas..... | 28 |
| Selección Genética..... | 32 |
| Consecuencias de la Dieta en la Producción de Metano..... | 33 |
| Carbohidratos Estructurales Vs. No Estructurales en la Dieta..... | 34 |
| Tamaño de Partícula del Forraje | 34 |
| Calidad de Forraje..... | 35 |
| Calidad de las Leguminosas..... | 36 |
| Importancia de las Leguminosas en las dietas para Rumiantes | 36 |
| Adición de Lípidos en la Dieta..... | 38 |
| Aceites Esenciales..... | 40 |
| Los Ionóforos en la Dieta..... | 41 |
| Efecto de los Ionóforos en los Rumiantes..... | 41 |
| Funciones de los ionóforos..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Acción antimicrobiana de los ionóforos sobre las bacterias | 42 |
| Defaunación Ruminal..... | 42 |
| Utilización de Hormona del Crecimiento, Implantes y β Agonistas..... | 44 |
| Inhibición de la Metanogénesis..... | 44 |
| Alternativas de alimentación para disminuir las emisiones de gas metano | 47 |
| Inclusión de concentrados en la dieta..... | 47 |
| Suministro de pastos y forrajes de calidad. | 48 |
| Ensilajes. | 49 |
| Sistemas silvopastoriles. | 49 |
| Suministro de leguminosas con metabolitos secundarios. | 50 |
| Consideraciones Finales y Conclusiones | 51 |
| Referencias Bibliográficas | 54 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Caracterización de la Finca Estrato I | 10 |
| Tabla 2: Caracterización de la Finca Estrato II | 11 |
| Tabla 3: Caracterización de la Finca Estrato III | 11 |
| Tabla 4: Alternativas para reducir la producción de CH ₄ por fermentación entérica en fincas ganaderas | 12 |
| Tabla 5. Acción Antimicrobiana de los Ionóforos | 41 |
| Tabla 6. Suministro de concentrado y las emisiones de gas metano | 49 |

Lista de Figuras.

| | |
|--|----|
| Figura 1. Distribución Porcentual de la Ganadería en Colombia | 7 |
| Figura 2: Población Bovina en el Departamento de Nariño por Municipio 2017 | 8 |
| Figura 4. Estequiometria de las principales vías de fermentación anaeróbica. | 15 |
| Figura 5. Esquema de la Formación y Metabolismo de los AGV en el Rumén | 21 |
| Figura 6. Afectación del Ph a la producción de metano en vacas con dietas de forraje e incubadas en un medio artificial. | 22 |

Lista de Abreviaturas

AGV: Ácidos grasos volátiles

CH₄: Metano

CHO: Carbohidratos

CO₂: Gas carbónico

EB: Energía bruta

ED: Energía digestible

EM: Energía metabolizable

EN: Energía neta

GEI: Gases de efecto invernadero

H₂: Hidrógeno

MS: Materia seca

pH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

t/año: Toneladas por año

N-NH₃: Nitrógeno amoniacal

AE: Aceites esenciales

SSP: Sistemas silvopastoriles

Resumen

La monografía “Condiciones de alimentación en ganado bovino para la disminución de emisiones de gas metano en el contexto nariñense”, aborda una de las problemáticas generadas por el calentamiento global, referidas al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), producidos por el metano (CH₄) por parte de los rumiantes derivado del proceso digestivo, que establece una pérdida de energía y contribuye a la emisión de estos gases.

Inicialmente, se realiza la contextualización y caracterización regional correspondiente al Altiplano de Túquerres-Ipiales (N), donde en los últimos años sus habitantes han cambiado su vocación agrícola por ganadería intensiva y extensiva, con baja tecnificación, con relación a la alimentación y nutrición animal. Así mismo, se efectúa el análisis de estudios científicos y técnicos que exponen la necesidad de abordar a fondo el problema e igualmente plantear alternativas innovadoras, adaptables y aplicables en este contexto.

De esta manera al establecer la relación entre la alimentación en rumiantes su proceso de nutrición y digestión y el volumen de gas metano entérico, se propone teóricamente el manejo animal, alimentación, nutrición, dietas y procedimientos para que a través de la alimentación y nutrición se disminuya la metanogénesis ruminal.

Palabras claves.

Alimentación y nutrición, calentamiento global, efecto invernadero, fermentación ruminal, metano.

Summary

The monograph "Feeding conditions in cattle for the reduction of methane gas emissions in the Nariño context", addresses one of the problems generated by global warming, referred to the increase of greenhouse gas (GHG) emissions, produced by methane (CH₄) by ruminants derived from the digestive process, which establishes a loses of energy and contributes to the emission of these gases.

Initially, the contextualization and regional characterization corresponding to the Altiplano de Túquerres-Ipiales (N) where in recent years its inhabitants have changed their agricultural vocation for intensive and extensive livestock farming, with low technification, specifically in relation to animal nutrition and food. . Likewise, the analysis of scientific and technical studies that expose the need to address the problem in depth and raise innovative, adaptable and aplicable alternatives in this context.

In this way, establishing the relationship between feeding in ruminants, its nutrition and digestion process and the volume of enteric methane gas, theoretically proposes animal management, feeding, nutrition, diets and procedures so that through food and nutrition ruminal methanogenesis is decreased.

Keywords.

Food and nutrition, global warming, greenhouse effect, ruminal fermentation, methane.

Introducción

La monografía “Condiciones de alimentación en ganado bovino para la disminución de emisiones de gas metano en el contexto nariñense”, surge de la necesidad prioritaria de abordar el problema actual relacionado al calentamiento global y en general a los problemas ambientales y sus efectos, que indudablemente, están vinculados a actividades de origen antrópico; como la agricultura, ganadería, deforestación o las prácticas productivas que empeoran sistemáticamente el problema. Aunque también existe un componente de orden natural, asociado con el calentamiento global. Para este caso, se ubica en un contexto que es susceptible a esta problemática por las prácticas ganaderas que se desarrollan.

En tal sentido, se plantea como objeto general de disertación y profundización teórica el caracterizar las condiciones de alimentación en ganado bovino para la disminución de emisiones de gas metano en el contexto nariñense, planteando alternativas sostenibles en los procesos de alimentación y nutrición. Así mismo, establecer las características y la relación entre los procesos nutricionales en ganado bovino y la emisión de gas metano entérico; determinar fuentes alimenticias y procesos nutricionales en ganado bovino que permitan reducir las emisiones de metano y por ultimo proponer alternativas de manejo y protocolos de alimentación para la mitigación de las emanaciones de este gas.

El recorrido teórico permite soportar mediante distintos autores el análisis del diagnóstico y los posibles niveles de emisión de metano entérico a través de los procesos de alimentación y nutrición de los rumiantes que hacen parte de la explotación ganadera de la región de altiplano de Túquerres-Ipiales. Se muestra también, cómo esta región ha ido cambiando su vocación agrícola hacia sistemas de ganadería extensiva e intensiva, sin embargo, aún existen insuficiencias en los procesos de tecnificación e innovación asociados a las necesidades de nutrición animal sostenible.

En este contexto, se muestra la necesidad de generar conocimientos y estudios relacionados con la caracterización de las condiciones y aspectos de la alimentación de bovinos, relacionando otros estudios científicos, técnicos aportes académicos que han sido contrastados y validados a profundidad, lo cual permite proponer alternativas y posibles rutas de cambio a prácticas en la alimentación de la ganadería regional, las políticas públicas pecuarias y la participación directa de los ganaderos ante el cambio climático, aportando en la reducción de las emisiones de metano.

Finalmente, se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones que enmarcan y sintetizan que la emisión de gas metano aumenta y/o disminuye de acuerdo a los procesos de alimentación y nutrición en ganado vacuno, lo cual permite proponer alternativas viables y confiables de reducir dichas emisiones; buscando como se sugiere el buscar la correspondencia de un trabajo interdisciplinario e investigativo.

Justificación

Actualmente, los sistemas de producción y alimentación animal enfrentan procesos de alteración de los ecosistemas que generan un grave deterioro ambiental, lo cual se refleja en problemas como el calentamiento global, efecto invernadero, deterioro de la capa de ozono y lluvia acida, entre otros.

Una de las causas establecidas en el presente documento, está relacionada con la producción de metano en el proceso de alimentación, nutrición y digestión que se da en los rumiantes, en este caso en el ganado vacuno de la región de Altiplano Túquerres e Ipiales del departamento de Nariño.

En tal sentido, es preciso generar nuevas percepciones, estudios y reflexiones de carácter teórico a partir de las características del desarrollo de la ganadería en el contexto mencionado, en relación a sus prácticas, formas y clases de alimento y prácticas de manejo del ganado.

Buscando así, definir y ubicar alternativas que mitiguen las emisiones de metano resultantes del proceso de alimentación en bovinos. Tales alternativas deben ser viables y además deben incorporarse paulatinamente en asocio con la comunidad, las organizaciones establecidas en el sector y las entidades gubernamentales.

En atención a lo anterior, es preciso generar espacios de reflexión académica, propuestas de orden teórico y experiencias desde un enfoque interdisciplinario que permitan desde la experimentación con alimentos incorporados en las dietas de los rumiantes minimizar la producción de gas metano. Así, se plantea un marco referencial que ha incursionado en el tema y a la vez plantear alternativas de solución, sin afectar la producción y los sistemas económicos, sino más bien optimizar y contribuir con el cuidado ambiental, inscribiendo tal propuesta con políticas y necesidades actuales vigentes.

El presente documento, pretende profundizar en la problemática, acudir a estudios previos sobre el tema y aportar constructos teóricos que permitan viabilizar el uso de procedimientos, dietas y manejos adecuados e innovadores para mermar la producción de metano (CH_4) a causa del proceso de alimentación en rumiantes sin afectar la producción y de este renglón de la economía.

Aportando de igual manera a las medidas que se han tomado a nivel global para lo relacionado al cambio climático como una prioridad de los estados, las entidades, la academia y la comunidad.

Por lo anterior, es propósito de este trabajo encontrar la relación que existe entre la cantidad de metano producida por la actividad alimenticia y digestiva, y de este modo contribuir a aminorar las emisiones de metano hacia la atmósfera.

Objetivos

Objetivo General

Caracterizar las condiciones de alimentación en ganado bovino para la disminución de emisiones de gas metano en el contexto nariñense, proponiendo alternativas sostenibles en los procesos de alimentación y nutrición.

Objetivos Específicos

Establecer las características y la relación existente entre los procesos nutricionales en ganado bovino y la emisión de gas metano entérico.

Plantear alternativas sostenibles de manejo y procedimientos de alimentación para la mitigación de las emanaciones de metano.

Marco Referencial

Marco Teórico

Generalidades del Calentamiento Global. Los problemas ambientales globales sin lugar a duda han ido incrementándose paulatinamente en los últimos años. Debido a múltiples causas de origen antrópico y natural, ante lo cual los estados se han establecido políticas internacionales, acuerdos y prácticas para ayudar a la mitigación del cambio climático. El factor que se aborda en este estudio hace referencia a la producción de metano en cantidades considerables resultado del proceso de alimentación, nutrición y excreción del ganado bovino.

De esta manera se evidencian los impactos de la ganadería en el aporte significativo de las emisiones de metano que genera los problemas referentes al calentamiento global y cómo desde la alimentación de manera técnica y los procedimientos adecuados se puede mitigar este aporte.

Prácticamente desde la segunda mitad del siglo anterior se han venido aumentando considerablemente las afectaciones ambientales por el incremento de las cantidades de metano que resultan de los procesos de alimentación en bovinos. En respuesta a ello, la comunidad técnica, científica y académica ha generado una serie de conocimientos (manipulación del alimento, animal, los microorganismos y la adición de sustancias para comprender las causas y las consecuencias de esta problemática.

Por ello es preciso recoger aspectos relevantes desde distintos autores que dan respuesta a los objetivos aquí planteados, para sustentar desde el nivel teórico y reflexivo el tema objeto de estudio.

Es preciso referenciar las características de la ganadería de bovinos que se han establecido en la región del departamento de Nariño, Colombia, específicamente en el denominado Altiplano

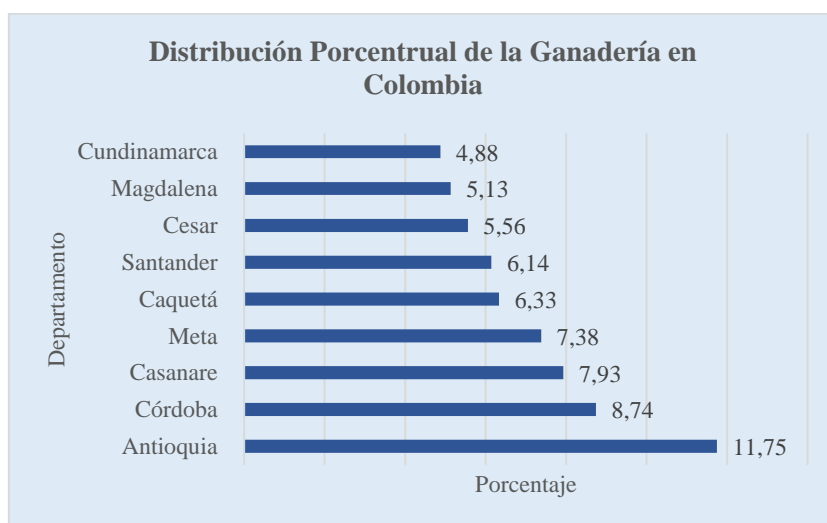
Túquerres-Ipiales para conocer las prácticas de mitigación de las emanaciones de metano y adoptar otras alternativas que minimicen el impacto sobre el ambiente.

Composición del Hato Ganadero. Villota de la Hoz (2007) manifiesta que la base de la economía en el departamento de Nariño es la agricultura y la ganadería; además manifiesta que la tenencia de la tierra es en gran proporción minifundista y el 80% son predios que poseen menos de 5 ha., lo que representa el 32,4% de toda la superficie y que por otro lado, el 20% de los predios superan las 5 hectáreas.

2017 ICA (2017) manifiesta que en Colombia la población bovina para 2017 es de 23.5 millones de cabezas, distribuidas en 514.794 predios, distribuidos porcentualmente entre los departamentos de Antioquia, Córdoba, Casanare, Meta, Caquetá, Santander, Cesar, Magdalena y Cundinamarca (ver figura 1).

Figura 1

Distribución Porcentual de la Ganadería en Colombia



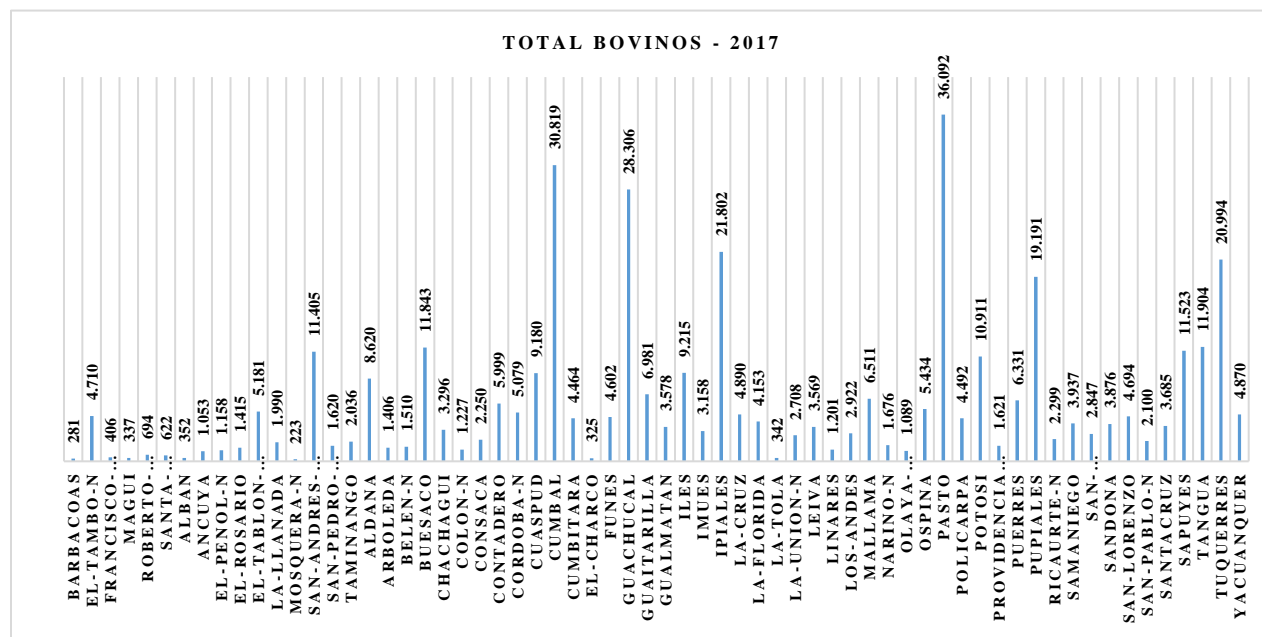
Fuente: ICA, 2017

En estos nueve departamentos se concentra el 63,84% de la población total. ("Conozca el censo pecuario nacional del ICA 2017", 2017).

El ICA (2017), concluye que, en 2016 el inventario bovino sumaba 22.689.420 animales, distribuidos en 494.402 predios. Esto indica que el hato bovino aumentó en 785.602 animales, es decir, 3,5 %.

Figura 2

Población Bovina en el Departamento de Nariño por Municipio 2017



Fuente Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 2017

Según el censo pecuario nacional (2017) para el departamento de Nariño los municipios que presentan un mayor número de cabezas de ganado son Pasto con 36.092, Cumbal con 30.819, Guachucal con 28.306, Ipiales con 21.802, Túquerres con 20.994 y Pupiales con 19.191 cabezas (figura 2)

Por otra parte, el Fondo Nacional del Ganado, FNG, de acuerdo con las estadísticas hasta 2014, para Nariño el inventario bovino es de 379.422 cabezas, de las cuales se acopian entre 800 y 900 mil litros diarios de leche (Federación Colombiana de Ganaderos – FEDEGAN Fondo Nacional del Ganado - FNG, 2013).

De acuerdo anterior, se puede afirmar que, en los últimos años la agricultura ha ido disipando su participación en la región, mientras que la ganadería de leche se ha ido incrementando considerablemente debido especialmente al desplazamiento de los cultivos de trigo, cebada y papa hacia la actividad ganadera, tal y como sucede en el departamento de Nariño.

Por esta razón la ganadería es considerada un renglón de gran importancia para el beneficio económico de las comunidades, sin embargo, esta actividad genera importantes efectos sociales y ambientales, Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017), el sector ganadero genera más gases de efecto invernadero – el 18%, medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO₂)- que el sector del transporte. También es una de las principales causas de la degradación del suelo, la deforestación y contaminante del recurso hídrico.

Por lo cual se puede decir que el inventario de gases de efecto invernadero (GEI) no debe constituirse en una simple acción académica, sino un compromiso trascendental para soportar y mantener al ser humano y su ecosistema; sino buscar la relación, las causas y los informes que permitan la toma de decisiones.

Caracterización de Fincas en los Municipios de Guachucal y Cumbal (Nariño).

Molina y Ojeda (2009), afirman que las fincas presentan bajos rendimientos debido a la no utilización de concentrados, no utilización de maquinaria para el ordeño, manejo inadecuado de pasturas, falta de fertilización de pasturas y por utilizar razas criollas.

Estrato I. Estas fincas representan el 31,1% de las fincas caracterizadas.

Tabla 1

Caracterización de la Finca Estrato I.

| Variable | Promedio finca | Promedio general estrato I |
|---------------------------------|----------------|----------------------------|
| Área en potreros | 1,95 ha. | 1,20 ha. |
| Área de la finca | 1,82 ha. | 1,15 ha. |
| Número de vacas secas | 3,50 Vacas | 2,23 Vacas |
| Número de vacas en producción | 4,36 Vacas | 3,65 Vacas |
| Número de terneros amamantandos | 3,28 Terneros | 2,56 Terneros |
| Ingreso especies menores | \$171.952 | \$140.405 |
| Costos totales del ganado/finca | \$159.674 | \$121.362 |

Fuente: Zamora (2013)

Estrato II. Representan el 26,8% de las fincas caracterizadas

Los mismos autores manifiestan que estas fincas no cuentan con equipos de ordeño, pero son fincas más tecnificadas pues utilizan cercas vivas, manejan sistemas de pastoreo rotacional, fertilización química y orgánica de praderas y suministran concentrado a los animales en producción (1 a 1,5 kg/animal).

Tabla 2

Caracterización de la Finca Estrato II.

| Variable | Promedio finca | Promedio general estrato II |
|---|----------------|-----------------------------|
| Área en potreros | 5 ha | 3,76 ha. |
| Área de la finca | 5,06 ha | 3,89 ha. |
| Ingreso leche/día | \$75.444 | \$48.418 |
| Producción total de leche | 107,78 litros | 71,67 litros |
| Producción promedio de leche por animal | 14,11 litros | 11,9 litros |
| Área en cerca viva | 1,86 km. | 0,76 km. |
| Años dedicados a la ganadería. | 31,78 años | 23,15 años |

Fuente: Zamora (2013)

Estrato III. Representan el 44,2% de las fincas caracterizadas

Estas fincas poseen una alta tecnología, utilizan equipos de ordeño, cercas eléctricas, establos cercas vivas, manejan sistemas de pastoreo rotacional, fertilización química y orgánica de praderas y suministran concentrado a los animales en producción.

Tabla 3

Caracterización de la Finca Estrato III.

| Variable | Promedio finca | Promedio general estrato III |
|---------------------------------|----------------|------------------------------|
| número de vacas secas | 20 Vacas | 9.22 Vacas |
| número de vacas en producción | 46.2 Vacas | 20.29 Vacas |
| número de terneros amamantando | 13.8 Terneros | 5.90 Terneros |
| producción total de leche | 592 litros | 266.19 litros |
| costos totales del ganado/finca | \$698.434 | \$503.426 |
| Ingreso leche/día. | \$147.400 | \$186.716 |

Fuente: Zamora (2013)

Procesos de Alimentación y Manejo para Reducir CH₄ por Fermentación Entérica en Fincas de Ganado Lechero en Nariño. Dentro de las alternativas que se deben implementar para mitigar las emisiones de están las intervenciones en los procesos de alimentación orientados no solamente a mejorar la fermentación sino también los parámetros productivos y reproductivos.

Carmona, Bolivar, y Giraldo (2005), manifiestan que la intervención en los alimentos ofrecidos a los animales, deben estar orientados a mejorar los procesos de fermentación ya que estos repercuten en los parámetros productivos, reproductivos y en la emisión de los gases de efecto invernadero.

Igualmente manifiestan que el mejoramiento de las características nutricionales de los bovinos capaces de convertir los Carbohidratos estructurales, en alimentos de mejor calidad nutritiva, pueden mejorar la digestión en los animales y así minimizar la emisión de metano.

Tabla 4

Alternativas para reducir la producción de CH₄ por fermentación entérica en fincas ganaderas

| Alternativas | Grandes | Medianas | Pequeñas |
|----------------------|---------|----------|----------|
| Picado de alimento | x | | |
| Ensilaje de forrajes | | x | |
| Suplementación | x | x | x |

Fuente: Zamora (2013)

En tal sentido, las características antes mencionadas se enmarcan y relacionan a distintos estudios que dan soporte a esta disertación y en segundo lugar proveen elementos teóricos para adaptar este contexto y plantear alternativas viables de intervención.

De tal manera que las categorías están referidas a las características, la relación entre los procesos nutricionales en ganado bovino, las fuentes alimenticias, las alternativas de manejo y protocolos de nutrición que permiten disminuir la producción de metano entérico.

Vale la pena afirmar que la emisión de gas metano entérico, se origina principalmente en los procesos digestivos, también por acción del hombre y por las condiciones de los procesos cíclicos de la vida planetaria.

En este caso de manera específica la emisión de gas metano entérico bovino se presenta como una de las principales fuentes que ha contribuido considerablemente a las condiciones actuales en el clima y en las dificultades prácticas de sostenibilidad económica, ambiental y social.

Al respecto Howden y Reyenga (1999), manifiestan que el metano es un subproducto que causa un grave detrimento al medio ambiente, es decir el metano es 20 veces más efectivo que el dióxido de carbono (CO₂) en retener el calor en la atmósfera durante 100 años.

Según la FAO (2010), el metano un gas que no tiene color ni olor que se produce en el tracto digestivo del rumiante (87% en el rumen y 17% en el intestino grueso). Y manifiesta que, durante el procesamiento y producción de leche, el metano constituye el 52% de todos de GEI.

De igual manera, la producción de metano endógeno depende principalmente de la fermentación que se produce en el rumen y algunas variables del animal, como la cantidad de alimento, microflora ruminal, peso, ganancia de peso, producción de leche y porcentaje de grasa y/o proteína. Por lo tanto, es posible establecer la relación existente entre los procesos nutricionales en rumiantes y la emisión de gas metano (Dämmgen, Rösemann, Haenel, y Hutchings, 2012).

Primavesi y otros (2004) concluyen que la agricultura y la ganadería contribuyen generosamente con las emisiones de GEI (CH_4 , CO_2 y N_2O), hacia la atmósfera.

Por tanto, el aumento de las emisiones de estos gases provoca cambios en la superficie terrestre debido al deterioro de la capa de ozono. Reafirmando que las actividades económicas ganaderas guardan una estrecha relación con la producción de CH_4 entérico y con los efectos directos en los problemas ambientales globales, como la pérdida de la capa de ozono y sus respectivas consecuencias.

Es preciso anotar que el incremento de la producción de metano por la ganadería varía durante el periodo de lactancia, alcanzando un máximo de 400 g/día en el pico de la lactancia, y se mantiene hasta el final de esta (Haas, Windig y otros 2011). Aspecto que se constituye en un referente fundamental a tener en cuenta para manejos que desde el nivel técnico asistencial se pudiese dar. Entonces el estado fisiológico del animal se correlaciona con el aumento de las emisiones de metano.

De acuerdo a McCaughey, Wittenberg, y Corrigan (1999), las concentraciones de metano son menores a las de CO_2 . Sin embargo, los niveles de metano atmosférico se incrementan rápidamente

y su efecto es de 21 a 30 veces más contaminante que el CO₂, observándose con el tiempo que el metano puede ser sobresaliente.

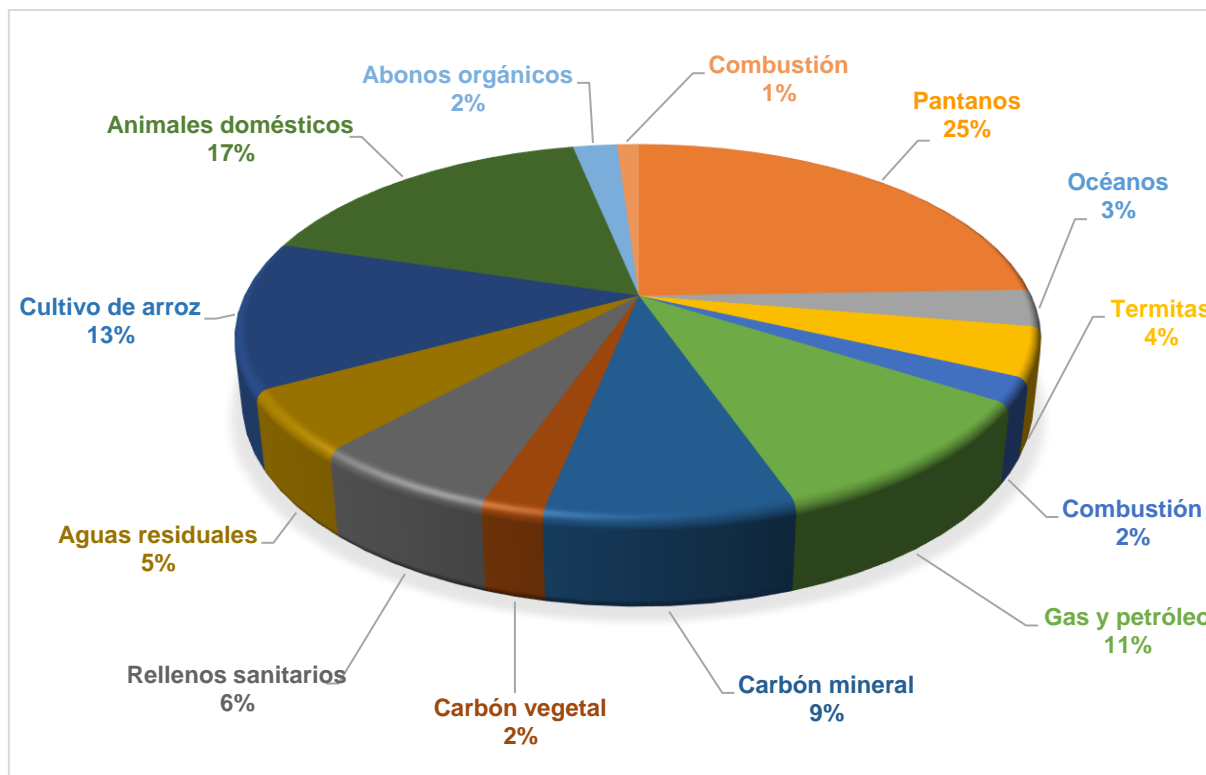
Esto se puede entender en el sentido que el creciente aumento de la población humana, sus hábitos alimenticios y su relación con el aumento de la actividad ganadera ha agudizado el incremento de las emisiones por el manejo inadecuado y por las dietas utilizadas en pequeña y gran escala.

Estos factores que el ser humano a generado en los procesos intensivos y extensivos exigen en gran medida, por una parte, el conocimiento y por otra las medidas de mitigación que se puedan desarrollar para alcanzar mejores niveles de manejo, tratamiento y sostenibilidad. Tratando así el tema de manera frontal a través de los gobiernos, las universidades, las políticas sobre calentamiento global, los procedimientos de mitigación y en general las prácticas cotidianas de los ganaderos quienes deben aportar desde sus prácticas en este propósito.

Por su parte Johnson y Johnson (1995), manifiestan que a la atmósfera entran aproximadamente 500 millones de t/año de metano como resultado de las actividades humanas y fenómenos naturales. A este ritmo se estima que el metano contribuya del 15 al 17% al calentamiento global.

Figura 3

Fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel mundial (millones de Ton. /Año).



Fuente: Johnson y Johnson (1995).

En este contexto, Kurihara y otros (1999), indican que del total de emisiones de metano (80 millones de t/año), la producción de metano entérico representa el 73% (58 millones t/año). Adicionalmente, Moss y Givens (2002) sostienen que los animales domésticos, principalmente los bovinos son responsables de aproximadamente el 15% de las emisiones del CH₄ en el mundo. Otras fuentes que contribuyentes en las emisiones de metano son los pantanos naturales con el 21%, los cultivos de arroz con el 20%, pérdidas por combustión de hidrocarburos con el 14%, combustión de biomasa con el 10% y los rellenos sanitarios con el 7% (McCaughey *et al.* 1999).

Kinsman, Sauer, Jackson, y Wolynetz (1995), mencionan que existen diferencias en las emisiones de metano entre los países en vía de desarrollo y los desarrollados pues se reportan emisiones de 55 kg CH₄/ año y 35 kg CH₄/ año respectivamente.

Para el 2010 en Colombia, las estimaciones para las emisiones de metano de las actividades pecuarias, son del 70% del total de los GEI; es así como el 95% de este total corresponde a la producción de metano entérico del ganado de leche y carne. Cifras de por sí preocupantes, pero también desafiantes desde el punto de vista científico, técnico y político (González y Rodríguez, 1999).

Ante esta situación es importante abordar lo relacionado a la alimentación del ganado vacuno en lo concerniente a las dietas, plantas, nutrición, digestión y procesos que conlleven a la alimentación sostenible y por lo tanto a la disminución de emisiones de metano cuyas cifras cada día se muestran más preocupantes; tal y como acontece en el contexto del bovino en el Altiplano nariñense.

Generalidades Metabólicas a Nivel Ruminal. De las emisiones mundiales de gas metano, la actividad ganadera produce entre el 15-20%, durante el proceso digestivo, debido a que durante la fermentación ruminal (anaerobia) participan diferentes tipos de bacterias, entre ellas las bacterias metanogénicas. Esta población bacteriana, degrada los carbohidratos estructurales en glucosa, la cual es fermentada a ácido acético y CO₂, para ser reducido a metano (McCaughey, Wittenberg, y Corrigan, 1999).

Por su parte Montenegro y Abarca (2000), ratifican estas cifras que en gran parte son estimuladas por las acciones económicas del hombre en referencia a la ganadería.

McCaughey, Wittenberg, y Corrigan (1997), manifiestan que es preciso anotar que la emisión de metano representa un gasto energético, así, parte de la energía consumida en los alimentos es redireccionada para la producción de este gas, la cual no es aprovechada por el animal. En ese sentido, los autores concluyen que existe un “desperdicio”, en primer lugar de los factores nutricionales que bien pueden mejorar la producción ganadera y por otra parte al incrementar la

emisión de gas metano entérico. Así pues, agudizando la problemática también expuesta y que resulta alarmante en el tiempo actual con el aporte de dichas prácticas al cambio climático (Montenegro y Abarca, 2000).

Otro aspecto relevante a tener en cuenta es la expulsión de metano mediante el eructo; en el bovino inicia aproximadamente al primer mes de vida, cuando los forrajes se retienen en la cavidad retículo-ruminal, aumentando los procesos oxidación de la ingesta y la emisión de gases. Johnson y Johnson, (1995) advierten que en explotaciones intensivas de bovino maduros la producción de metano/año oscila entre 60 y 126 kg.

Así mismo, otro caso corroborado en los estudios de las emisiones según (DeRamus, Clement, Giampola, y Dickison, 2003). La emisión anual de metano en novillas de carne y vacas adultas bajo condiciones de pastoreo, presentaron valores entre 32 - 83 kg de CH₄/animal/año para novillas y entre 60 - 95 kg de CH₄/animal/año para vacas adultas. El dato más alto se obtuvo cuando se utilizó forrajes (gramíneas) de reducida calidad nutricional, en sistemas continuos de pastoreo y reducida disponibilidad forrajera, por otro lado, las cantidades más bajas se presentaron con praderas mejoradas, en pastoreo rotacional, fertilización y alta disponibilidad forrajera. En este sentido, los reportes sugieren que de acuerdo a las dietas, la producción de metano puede variar considerablemente, revelando que las condiciones nutricionales de los forrajes tienen una acción evidente en producir de gas metano.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se puede concluir que generalmente no se ha tenido cuenta en las prácticas ganaderas cotidianas la relación entre la alimentación con el aporte que pudiera darse en beneficio de la disminución de metano.

McCaughey *et al.* (1999), informan que la mayor producción de metano (87%) se presenta a nivel ruminal y el 13% se produce en el sistema digestivo posterior. Del metano

producido en la parte posterior del tracto digestivo el 89% es absorbido hacia la sangre y expulsado por los pulmones. Lo anterior muestra que el 98% del total de metano puede ser expirado por la boca y orificios nasales. Estos aportes conllevan a la necesidad de establecer fuentes alimenticias y procesos nutricionales para bovinos que permitan disminuir la emisión de metano, independientemente de las condiciones de producción y emisión.

El metano producido por los bovinos oscila entre el 5.5 y el 6.5% de la energía bruta total de la dieta, sin embargo Anderson y Rasmussen, 1998; Kurihara et al, 1999 reportan que en condiciones de pastoreo en zonas templadas valores que oscilan entre el 2 y el 12% de la EB consumida.

Por otro lado, cuando se proveen alimentos de deficiente calidad nutricional el metano puede presentar valores de 15 y el 18% de la ED. Weimer, 1998. Montenegro y Abarca 2000 estiman que una mejora de las condiciones nutricionales de la dieta podría disminuir en un 7% estos valores.

Las pasturas en el trópico presentan una baja calidad, a causa de su alta concentración lignocelulósica de baja digestibilidad y por el bajo contenido proteína y carbohidratos solubles (Carmona *et al.* 2005). Sin embargo, algunos forrajes mejorados, sometidos a fertilización y manejo, tienen un mayor aporte nutricional, lo cual mejora la condición productiva, reproductiva y sanitaria de los animales.

Esto guarda plena correspondencia para el caso específico del territorio nariñense. Así, se es necesario revisar nuevos conocimientos, estudios, recomendaciones y políticas de manejo pecuario, pertinentes y apropiadas para lograr aportar de manera significativa en la reducción de las emisiones de metano entérico.

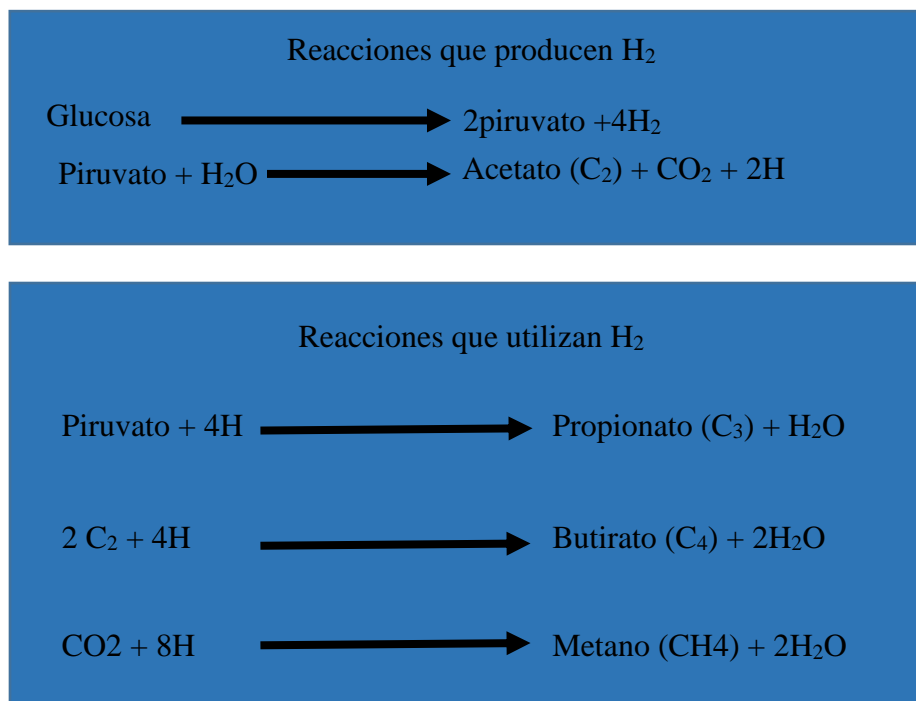
Johnson y Johnson (1995), muestran que los dos principales factores en la producción de metano son: 1. El volumen de carbohidratos fermentados en cavidad retículoruminal, el cual

involucra una serie de interacciones entre la dieta y el animal, que perjudican el balance de la tasa de descomposición de los carbohidratos y su paso por el tracto digestivo. 2. Otro elemento es la relación entre la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), y la producción de hidrógeno la cual conlleva posteriormente a la producción de metano. 3. La relación ácido acético y ácido propiónico es una condición importante en la formación de metano. Si esta relación tiene un valor de 0.5 la pérdida de energía puede llegar a 0%. Teóricamente, si todos los carbohidratos se transformaran a ácido acético el detrimento energético podrían estar cerca al 33%. La relación acético- propiónico puede oscilar entre 0.9 y 4, por lo cual la disminución en la producción de CH₄ también pueden variar considerablemente (Johnson y Johnson, 1995)

Moss, Jouany y Newbold (2000), resumen las principales rutas de fermentación que se presentan durante el proceso digestivo del rumiante mediante las siguientes reacciones (figura 4):

Figura 4.

Estequiometria de las principales vías de fermentación anaeróbica.



Fuente: Moss *et al.* (2000)

A nivel ruminal, cuando una sustancia reducida pasa por bacterias fermentadoras a bacterias metanogénicas, el acetato se incrementa y baja el propionato. El acetato es predominante bajo estas condiciones, sin embargo, este no se considera como una sustancia indispensable para la formación de metano (Van Kessel y Russell, 1996).

Moss *et al.* (2000), manifiestan que el acetato y el butirato dan origen a la formación de CH₄, en cambio el propionato es una sustancia competitiva en el uso del H₂ en el rumen.

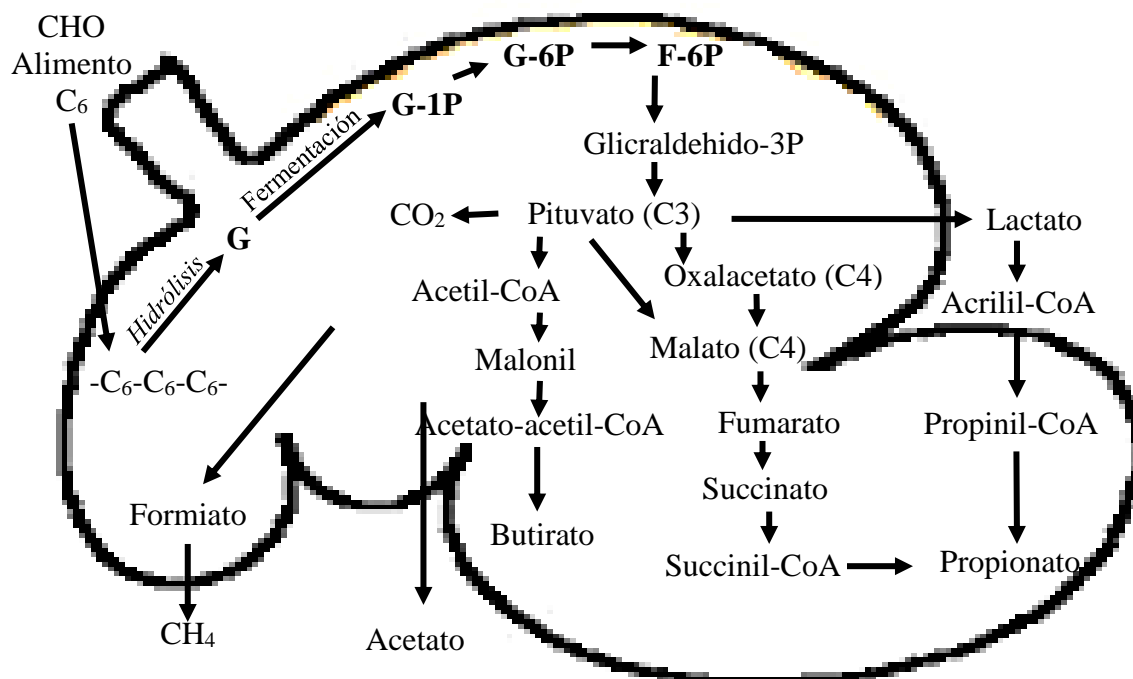
Según Van Kessel y Russell (1996), otro aspecto a tener en cuenta es el aumento térmico negativo o pérdida de calor como consecuencia de la transformación del ácido fórmico, en metano ya que este ácido es una sustancia indispensable en la formación de este gas.

Krause *et al.* (2013), manifiestan que la principal acción del rumen es la fermentación anaeróbica de los carbohidratos de la dieta. Esta se realiza por las enzimas de los microorganismos ruminales, para la generación de energía (ATP), utilizada para el crecimiento microbiano y la producción de AGV (acético, propiónico y butírico), CH₄, CO₂ y calor producto de la fermentación.

Caja, *et al.* (2003), Manifiestan que en los rumiantes, los carbohidratos de la ración se reducen hasta piruvato, el cual se metaboliza por los microorganismos del rumen hasta AGV (acético, propiónico y butírico). Los ácidos fumárico y málico son metabolitos secundarios de la “vía succínica” en la cual el piruvato se transforma en propionato, evitando la formación de lactato (Figura 5). El propionato es absorbido en el rumen y es transportado hasta el hígado, donde se transforma en glucosa (gluconeogénesis) que es una fuente energética y precursor de la síntesis de lactosa, proteína y grasa corporal.

Figura 5

Esquema de la formación y metabolismo de los AGV en rumen.



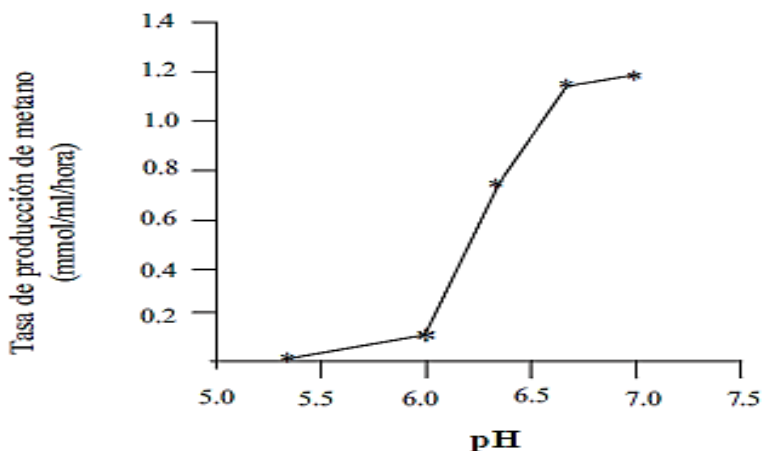
Van Kessel y Russell (1996) resaltan que el pH del rumen es condición fundamental en la producción de metano derivado del metabolismo y el proceso fermentativo. En este contexto, resultaron que al incubar bacterias procedentes de bovinos alimentados con forrajes en condiciones básicas (pH 7.0), el H_2 y el CO_2 reaccionan y forman metano, sin embargo, la producción de metano depende directamente del pH en rumen. Igualmente, descubrieron que la formación de metano se reduce rápidamente cuando el pH es menor a 6.5, y aparentemente no se produjo CH_4 a pH inferiores a 6.0 (véase Figura 6).

Los mismos autores, manifiestan que esta dependencia de las bacterias metanogénicas es un factor importante a tener en cuenta en la previsión de la producción de metano entérico. Igualmente, las dietas con forrajes de escasa calidad nutritiva no presentan variación en el pH ruminal y por ende presentan una mayor producción de metano. Por otro lado, dietas altas en alimentos concentrados generalmente reducen el pH ruminal y por ende disminuye la producción

de metano. Por otro lado, las dietas soportadas en forrajes y con pH bajo, la metanogénesis merma independiente de la producción de ácido propiónico (Moss y Givens, 2002)

Figura 6.

Afectación del Ph a la producción de metano en vacas con dietas de forraje e incubadas en un medio artificial.



Fuente: Adaptación de Van Kessel y Ruseell. (1996)

En este contexto, se destaca que: 1) la actividad de las bacterias metanogénicas puede modificarse a pH ácidos, 2) una baja en la proporción acetato:propionato depende del pH y que consecuentemente podría originar una inhabilitación de la metanogénesis, y 3) la disminución de la metanogénesis se produce a un pH bajo a causa de la toxicidad de los ácidos producidos en la fermentación ruminal (Van Kessel y Russell, 1996).

Este panorama es preocupante en el sentido que debido al incremento de la producción y crecimiento potencial del número de rumiantes en el planeta, lo cual como primera medida de solución y/o mitigación hace necesario investigar acerca de aspectos sobre las dietas, el manejo de la nutrición, los ciclos biológicos de los bovinos y los efectos que se generan a partir de ello.

Además de comprender simultáneamente los efectos que estos procesos generan y las medidas que se deben tomar desde lo particular, lo profesional y lo gubernamental.

Es necesario profundizar en el campo del conocimiento sobre el tipo específico de plantas y procesos propios de la alimentación en rumiantes que mitiguen esta problemática en el Altiplano nariñense.

Variedades Forrajeras versus Formación de Metano Entérico. Todas las plantas fijan carbono gracias al ciclo fotosintético en el cual la energía lumínica se convierte en energía química.

Es importante y fundamental abordar el reconocimiento de las plantas más frecuentes utilizadas en la alimentación de los bovinos. Entendiendo la composición nutricional, los elementos y componentes físico-químicos y a la vez los efectos que producen dentro de la digestión de estos animales que inciden directamente en factores que incrementan la producción de gas metano entérico.

Teniendo en cuenta lo anterior las plantas se clasifican en: C3, C4 y CAM

Según Langtry y Meléndez (2013), manifiestan que las plantas C3 son aquellas especies en las cuales el compuesto orgánico principal sintetizado durante la fotosíntesis tiene tres átomos de carbono (3-PGA o ácido 3-fosfoglicérico); por otro lado, en las plantas C4 el principal producto metabolizado que involucran es de cuatro carbonos (oxaloacetato). Existe también una tercera vía, denominada metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), la cual presenta características intermedias entre las vías C3 y C4.

Meléndez (2013), afirma que aproximadamente el 85% de la vegetación superior pertenecen al tipo C3 (plantas arbustivas, arbóreas y algunas herbáceas) y el 15% corresponden al tipo C4 (principalmente herbáceas tropicales).

Con relación a la foto respiración (adición de O₂ en presencia de luz solar), las plantas C3 presentan una marcada foto respiración, proceso que es predominante durante la fase lumínica, limitando la actividad fotosintética. A diferencia de las C3, las plantas tipo C4 presentan una

reducida foto respiración (resultado de mecanismos fisiológicos y adaptativos) y una más eficiente fotosíntesis (Meléndez, 2013).

Las plantas de C4 tienen dos tipos de cloroplastos, un tipo en el mesófilo y otro tipo en una vaina, en el haz vascular a diferencia de las plantas C3 que sólo tienen 1 tipo, ubicado en el mesófilo de la hoja. Estos cloroplastos tienen funciones determinadas. Cuando estas plantas inician su maduración se endurecen pues en el esclerénquima se incrementa la concentración de lignina, afectando la ingesta y la degradabilidad de los forrajes por los animales en pastoreo (Langtry, 2013).

Siendo preciso tener en cuenta como posible alternativa de alimentación el tipo de plantas que se adapten en primer lugar al clima propio del contexto en mención y que por una parte contribuya a una buena nutrición y por otra permita mitigar la cantidad de emisión de metano tras el proceso digestivo y excretor.

Mieres y otros (2002), sugieren que la utilización de pastos nativos incrementa la producción de metano por unidad de MS consumida comparadas con pasturas mejoradas o introducidas, esto como producto de sus componentes.

Debido a la gran variedad de especies forrajeras para este estudio se clasificaron y se compararon las plantas en tres grupos: gramíneas C3 y C4, variedades dentro de un mismo forraje, gramíneas y leguminosas.

Gramíneas C3 vs C4.

Wilson (1993), sugiere que la diferencia entre plantas C3 y C4 radica en que las C3 el producto principal de la fotosíntesis es un compuesto de 3 carbonos (ácido 3 fosfoglicérico), mientras que las plantas C4 producen un producto de cuatro carbonos (ácido oxalacético). Salisbury y Ross (2000), indican que generalmente las gramíneas forrajeras son del tipo C3 debido a sus diferencias

fisiológicas y a que están formadas en un alto porcentaje de tejidos de excelente digestibilidad en relación a las plantas C4.

De esta manera se plantea la posibilidad de implementar este tipo de plantas en la alimentación de bovinos en el contexto objeto de estudio de acuerdo con las circunstancias y apoyos intersectoriales, aunque en la práctica aún se adolece de prácticas reales y cotidianas en el sector ganadero.

Margan, Graham, Minson, y Searle (1988), compararon la producción de metano a partir del consumo de especies forrajeras C3 y C4 y afirmaron que ovejas a las cuales se les suministro plantas C4 pasto pangola (*Digitaria decumbens*) y pasto azul (*Setaria sphacelata*) originaron 14,3% más metano por unidad de ED consumida a diferencia de las ovejas mantenidas con plantas C3 Ryegrass perenne (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). En este sentido, Waghorn y Hegarty (2011), señalan que el uso de especies C4 en comparación con las C3 está relacionado con una menor producción de leche y/o carne, debido a una mayor cantidad de metano producido por unidad de carne o leche generada.

Margan y otros (2010), sugieren que la mayor producción de metano asociado al consumo de plantas C4 puede deberse por que estas plantas tienen un alto contenido de CHO estructurales y lignina, menor ingesta y una lenta tasa de pasaje. De la misma manera ya en investigaciones aplicadas se puede corroborar los diagnósticos y las alternativas necesarias para que distintos actores de manera integrada puedan contribuir en la mitigación de la problemática recurrente y potencialmente ascendente a nivel global y también contribuir a mejorar los niveles de alimentación con propósitos de la ganadería bovina.

Moe y Tyrrell (1979), comparan dietas para ganado lechero y manifiesta que el ganado alimentado con un alto contenido de hidratos de carbono estructurales produce mayor cantidad de

metano por unidad degradada versus los alimentados con dietas bajas con altos contenidos de hidratos de carbono no estructurales. Vacas alimentadas con pastos de climas cálidos producen mayor cantidad de metano (8%) por unidad de EB ingerida en comparación con animales que consumen forrajes de climas más fríos (7%), esto debido a la cantidad de carbohidratos estructurales y no estructurales presentes en cada uno de estos forrajes.

Especies y Variedades. Es preciso identificar distintas especies y variedades de plantas y su composición nutricional, que pueden incrementar o no la emisión de metano, tal y como se ha venido insistiendo a lo largo de la presente disertación teórica.

Lovett y otros (2005), demostraron en ensayos *in vitro* que mediante la inclusión de Ryegrass con 12% más de contenido de azúcares solubles se presentó una merma en la producción de metano en un 10 %. Estudios relevantes realizados por Misselbrook y otros (2010), contribuyen en estas discusiones, en ellos, los autores observaron *in vivo* que diferentes tipos de Ryegrass que contienen altos niveles de hidratos de carbono solubles presentaron una menor en la producción de metano (24%). Por otro lado, Primavesi y otros (2003), mencionaron que hay una merma del 30% en la producción de metano por unidad de peso vivo cuando se alimenta con dietas ricas en CHO no estructurales, a diferencia de los animales en pastoreo y que se suplementaron con caña de azúcar con mayor y menor contenido de FDN.

De lo anterior se puede concluir que cuando se suministra un 40% de alimento balanceado a una dieta baja en fibra, se produce una pequeña cantidad de metano por unidad de producto (Primavesi y otros, 2003).

Igualmente, los altos niveles de proteína cruda se han asociados a una menor producción de metano. Por ejemplo, Lovett, Bortolozzo, Conaghan, O'Kiely, y O'Mara (2004), en ensayos *in vitro* utilizando ryegrass perenne con mayores cantidades de proteína cruda, se reportó que

efectivamente que se produce menor cantidad de metano por unidad de materia metabolizada. Resultados similares fueron reportados por Navarro Villa y otros (2011), manifiestan una mínima cantidad de metano por unidad de MS de ryegrass perenne adicionado con un bajo porcentaje de proteína cruda.

Los autores sugirieron que, al utilizar alimentos bajos en fibra y ricos en CHO solubles y proteína bruta, estos son una buena alternativa para mermar la producción de metano/unidad de producto (carne o leche) al mejorar el rendimiento animal. Así mismo, sugieren que la alimentación con pastos con mayores concentraciones de azúcares o proteína reduce hasta en un 13% las emisiones de CH₄ por unidad de producto. De allí la viabilidad de incorporar en la dieta para el ganado bovino este tipo de alimentos. (Ellis, y otros, 2012).

Gramíneas Vs Leguminosas. Otro tipo de alimentos que son objeto de interés para profundizar en su estudio, debido a la alta incidencia la producción metano entérico y la necesidad de contribuir en su mitigación hace relación a las gramíneas (pastos tropicales y no tropicales) y leguminosas (utilizadas en alimentos y dietas forrajeras), las cuales para el contexto en referencia, no han sido utilizadas a diferencia de las primeras (pastos tropicales y no tropicales) que tradicionalmente en el nivel locales de la ganadería son utilizados.

Tanto Hess y otros (2003) como Tiemann y otros (2008), en ensayos *in vitro* observaron que se presentó un incremento en la formación de metano por unidad de producto fermentado asociada a un aumento en la degradación de los nutrientes, esto debido al suministro de leguminosas tropicales bajas en taninos.

Hess; *et al* (2003), evaluaron una dieta a base de la *Brachiaria humidicola* a la cual se le adición de una leguminosa como el maní forrajero (*Arachis pintoi*) con un bajo contenido de taninos en porcentajes crecientes de 33, 66 y 100% y encontraron que a medida que se aumentan las

cantidades de leguminosa en la dieta la producción de metano también aumenta (relación lineal creciente). Igualmente, Tiemann, y otros (2008), observaron que cuando se adiciona una leguminosa baja en taninos (Caupí, *Vigna unguiculata*) a una dieta de *Brachiaria humidicola* en una relación de 1:2, la producción de metano se incrementó en un 35% por unidad de FDN fermentada en comparación con la dieta de solo gramínea.

Estudios *in vitro* con forrajes de climas templados (gramíneas y leguminosas) revelan plenamente resultados diferentes a los estudios con forrajes tropicales, puesto que presentaron una merma en la producción de CH₄ del 7% por unidad de materia seca cuando compararon trébol versus Ryegrass perenne (Navarro Villa, *et al.* 2011). En estudios *in vivo* de McCaughey *et al* (1999) cuando se comparó una dieta en base a gramíneas (*Bromus bibersteinii*) con una asociación de gramíneas mas leguminosas (*Bromus biebersteinii* y *Medicago sativa*), se registró una reducción de un 25% en la producción de metano por EB consumida.

Estos estudios permiten ratificar que efectivamente ciertos alimentos proporcionalmente pueden incrementar o disminuir la producción de metano debido a sus compuestos y otros factores fisiológicos o externos que ya se han mencionado, por ejemplo, Chavez y otros (2006), demostraron que la sustitución de la gramínea *Bromus biebersteinii* por *Medicago sativa* resulta en una reducción del 20% en la producción de CH₄ por unidad de MS consumida.

Según otros autores como Martin, Morgavi, y Doreau (2009), la adición de la alfalfa (*Medicago sativa*) en la dieta incrementa la tasa de pasaje y aumenta la relación propionato:acetato en el rumen, reduciendo favorablemente las emisiones de metano. Igualmente dicen que la adición de una leguminosa en la dieta reduce la formación de metano por unidad de MS ingerida, a consecuencia de un mayor contenido de fibra, una reducción de pH, los ácidos grasos, la relación

propionato-acetato en el rumen y el aumento de amonio, la presencia de metabolitos secundarios y mayor tasa de pasaje (De Klein, Pinares, Patiño y Waghorn, 2008).

Los estudios de Mieres, *et al.* (2002), sugieren que existe una proporcionalidad entre la cantidad de leguminosas adicionada en la dieta, la producción de metano entérico y las cantidades liberadas a la atmosfera; mientras que para Waghorn y Clark (2006), manifiestan que la adición de una leguminosa de climas templados en dietas con gramíneas tropicales mostraron valores similares a los obtenidos para dietas con gramíneas de climas templados, es decir que los factores climáticos resultan poco significativos ante la ingesta de leguminosas y gramíneas.

Eckard, Grainger; y De Klein (2010), ratifican que el consumo de leguminosas se da de manera directa sobre el efecto de producción de gas metano entérico; por su parte Beauchemin, Kreuzer, O'mara, y McAllister (2008), afirman que independiente de factores climáticos se reafirma los efectos sobre los proceso digestivos a partir de las dietas con estos alimentos en rumiantes).

Otra de las posibilidades a tener en cuenta, hace referencia a incorporar de manera experimental el tipo de dietas antes mencionadas, pero en este caso con alimentos basados en gramíneas tropicales y con aquellos alimentos de origen leguminoso; Hunter (2007), comparó novillos Brahman alimentados con una dieta a base a pastos tropicales como el angleton (*Dichantium aristatum*) y el zacate (*Chloris gayana*) y animales que ingirieron alfalfa, las emisiones de metano aumentaron cuatro veces más.

No obstante, se ha reportado que no todos los ensayos con leguminosas de climas templados han aminorado las emisiones de metano. Como evidencia se tienen los estudios de Beauchemin *et al.* (2008); De Klein *et al.* (2008), McCCaughey *et al.* (1999) y Waghorn y Clark. (2006), quienes han declarado que al adicionar una leguminosa a la dieta, la producción de metano aumento por

cada unidad de MS ingerida, debido al aumento del consumo voluntario, a la digestibilidad y a los tipos de fermentación.

Aunado a lo anterior, Carulla y otros (2005) obtubieron al adicionar un ensilaje de leguminosa (trebol o alfalfa) a una dieta a base de Ryegrass perenne un aumento de las emisiones de CH₄/unidad de MS ingerida.

Knight y otros (2007), sugieren que la respuesta a los procesos y tipos de alimentación que aportan cantidad de metano puede depender de las especies asociadas. A pesar de las diversas opiniones sobre los efectos que pueden causar en animales alimentados con dietas en base a gramíneas C3 y C4 o con la inclusión distintas cantidades de leguminosas de climas templados y cálidos, aun no existe un consenso sobre los efectos en la producción de metano entérico.

Los mismos autores han subrayado que existen una variación en los compuestos secundarios (taninos y saponinas) presentes en las leguminosas y sus consecuencias sobre la producción de metano.

En tal sentido, se puede concluir que la presencia y tipos de compuestos presentes en las plantas varían de acuerdo a la especie, estado fisiológico, edad, época de cosecha, esta situación ha dificultado los estudios. No obstante, los disensos sobre los efectos de los taninos y saponinas sobre la producción de metano entérico, las fuentes de alimento y los procedimientos de manejo inciden de manera directa sobre las emanaciones de este gas.

Se insiste en este aspecto para conocer, seleccionar y manejar de manera técnica las dietas y plantas que permitan reducir la emisión de gas metano y lógicamente su mitigación. Conociendo así mismo los procesos que transforman la composición química dichos alimentos y su relación con las emisiones que producen.

Selección Genética. Respecto a las alternativas potenciales para disminuir la emisión de metano en procesos alimenticios y digestivos del ganado; conllevan también a tener en cuenta el conocimiento y aplicación de la genética del animal como calve en la contribución para tal fin. De tal manera que el profundizar y relacionar la eficiencia productiva de la selección genética en aspectos de nutrición, mejoramiento y sus efectos, puede producir un beneficio sostenible en relación a la emisión de metano en niveles aceptables.

Por consiguiente, se concluye que la genética del ganado incide en la producción endógena de metano. Según De Haas y otros (2011), manifiestan que para la producción de CH₄ endógeno existen rangos de heredabilidad de 0,35 y 0,58 para contenido de grasa y proteína en leche entre la primera y última lactancia, con un índice de correlación de 0,36. Manifestando que estos productos a la postre sumen cantidades considerable entre la producción de este gas y los efectos ambientales.

De igual forma destacan que la emisión de CH₄ fluctúa entre 200 y 400g/día en vacas altas productoras ya que existe una relación entre la producción de leche y las emisiones de gas metano, es decir, que animales de buena de buena genética para la producción de leche tienden a generar una mayor cantidad de metano.

Por el contrario, Grainge, y otros (2008), no hallaron significancia entre la producción de CH₄ de hembras bovinas multíparas y hembras de primer parto, señalando así que la producción de CH₄ en los animales no varía con el tiempo, pues tiene un considerable rasgo genético. Lo cual conlleva a determinar que ante el incremento del número potencial de individuos la producción de metano también se puede incrementar de manera significativa.

Cuando se realiza una selección hembras bovinas fundamentada en la producción y en la eficacia en la utilización de la energía, las producciones de metano pueden disminuir. Del mismo

modo, Yan y otros (2010), afirman que se podría optimar la producción de leche y reducir el deterioro ambiental, apoyados en que el CH₄ ruminal es una parte de la energía ingerida y que esta se incrementa en la medida que se incrementa la ingesta de energía para sostenimiento y la ineficacia en la utilización de esta para producción; entre tanto merma con el aumento del porcentaje de consumo de EM dirigida hacia la producción de leche y desarrollo de los tejidos corporales.

De tal manera, se puede afirmar que según las comparaciones anteriormente expuestas la selección de bovinos para leche con altas producciones y con una excelente eficiencia en la utilización de la energía, estas ofrecen una alternativa eficaz para minimizar la formación de CH₄.

De Haas *et al.* (2011), sostiene que a través de una selección clásica se pueden disminuir las emisiones de metano entre un 11 y 26% en una década, representados kg/lactancia y gramos de proteína o grasa/kg de leche, respectivamente. Igualmente Nkrumah y otros (2006), y Hegarty Goopy, Herd, y McCorkell (2007), manifiestan que la selección de bovinos para carne que presenta las mejores conversiones alimenticias reducen la producción de CH₄ en un 24 a 28% aproximadamente.

Consecuencias de la Dieta en la Producción de Metano. Montenegro y Abarca (2000), afirman que la producción de CH₄ producto de la degradación ruminal, está relacionada claramente con el consumo de alimento. Además, manifiestan que entre las características que afectan la producción están las propiedades físico-químicas del pasto, las cuales también influyen sobre el consumo de forraje y la frecuencia de suministro del alimento.

Por lo tanto, una nutrición insuficiente influye en el incremento de las emisiones de metano. La energía desaprovechada junto a la producción y expulsión de CH₄ se debe a varios elementos, entre los cuales se encuentra: proporción y variedad de alimento, manejo del metabolismo en el rumen,

suplemento de aceites, tipo de CHO en los forrajes y manipulación del alimento, tal y como lo afirman Johnson y Johnson (1995). Estos elementos son parte importante para tener en cuenta para minimizar la metanogénesis.

Carbohidratos Estructurales Vs. No Estructurales en la Dieta. Según Hobson y Stewart (1997), afirman que la metanogénesis se produce en forma directa de los AGV que se producen a nivel ruminal, debido a que la combinación del CO₂ y el hidrógeno es un proceso lento. Por lo cual el metano se produce al liberarse CO₂ y H₂ producto de la degradación de los CHO. (Hungate, Smith, Bauchop, Yu, y Rabinowitz, 1970).

Johnson y Johnson (1995), revelan que la producción de metano se incrementa con la ingestión de fibra, esto como consecuencia del aumento del ácido acético con relación a ácido propiónico. Así que, los forrajes de mayor digestibilidad y alta calidad fibras (cascarilla de soya) forman mayores cantidades de CH₄. De igual forma la fermentación de los almidones modifica el pH del rumen e impide el crecimiento y desarrollo de bacterias metanogénicas, incrementa el ácido propiónico a consecuencia del crecimiento de bacterias amilólíticas, disminuyendo así la producción de metano (Van Kessel y Russell, 1996).

Tamaño de Partícula del Forraje. En cuanto al tamaño de la partícula del forraje, se considera un aspecto fundamental asociado al manejo de los alimentos suministrados. Una partícula pequeña favorece y reduce el paso de la ingesta por el tracto digestivo del rumiante, donde se genera la degradación microbiana del alimento y el tránsito del material ingerido por los compartimientos gástricos hacia el intestino; todo esto de una manera más rápida y eficientemente.

Según Johnson y Johnson (1995), la disminución del tamaño de las partículas del forraje merma la producción de metano ruminal, debido a un aumento del tránsito del alimento, disminuyendo la

degradación de la fibra e impidiendo que el CO₂ y H₂ queden a disposición de las bacterias metanogénicas.

Calidad de Forraje. La calidad de los forrajes también es calificada como un componente determinante en el descenso de las emisiones de metano. De acuerdo con Hegarty (1999), el incremento de la digestibilidad del alimento de animales en sistemas extensivos es la forma más adecuada para disminuir las emisiones de CH₄/unidad de producto. No obstante, es importante tener en cuenta que al aumentar la digestibilidad de un alimento se incrementa la cantidad de alimento y esto a su vez se relaciona con una mayor producción de CH₄/animal. Wittenberg (2008) y Sejian y otros (2011), muestran que la mejora en la digestibilidad de un forraje se puede establecer a través de planes de mejoramiento genético de los forrajes y optimizando la dieta mediante la incorporación de alimentos balanceados.

En este contexto, es pertinente identificar la relación entre el suministro de ensilajes en la dieta y la calidad del forraje considerando que estos procedimientos contribuyen a mitigar significativamente la emisión de metano, tal y como lo plantean Mc Geough y otros (2010), quienes establecieron que existe una tendencia lineal entre la ingesta de MS y la producción de CH₄. Así, al aumentar la madurez del ensilaje de maíz, debido al aumento de los almidones y disminución de la fibra, se producen una variación en la relación ácidos propiónico:ácido acético, causando una disminución en la disponibilidad de H₂ para la síntesis de metano.

Por su parte Martin, *et al.* (2009), consideraron menos CH₄ por kg MSC en dos ensayos donde compararon el maíz ensilado con el heno. En contraposición Mc Court y otros (2007), estos autores cuantificaron una producción menor de metano cuando compararon ensilajes de pastos con el ensilaje de maíz.

Calidad de las Leguminosas. La inclusión de leguminosas también puede contribuir en la disminución en las emisiones de metano. Según Weisbjerg y SoegaardK (2008), una de las principales técnicas en aras de disminuir la producción de CH₄ de animales en pastoreo es la adición en la dieta de una leguminosa. Esta práctica de manejo disminuye la proporción de CHO estructurales en la dieta, lo que permite un aumento en el paso del alimento por el tracto gastrointestinal, afectando la descomposición en el rumen y dirigiéndola a una mayor producción de ácido propiónico.

Importancia de las Leguminosas en las dietas para Rumiantes. Respecto a la relación entre las gramíneas y las leguminosas; las primeras en el trópico se convierten en la fuente de nutrientes más económica para el animal, pero presentan algunas características que limitantes como una baja cantidad de proteína, alta fibra, baja digestibilidad y graves deficiencias de minerales que conllevan a una baja producción, ya que esta depende de los niveles de proteína y energía consumidos. (Ruiz y Vázquez, 1983)

En cuanto a las leguminosas Clavero (2011), menciona que estas contienen un alto contenido proteico, y alta digestibilidad frente a las gramíneas tropicales, por cuanto la aportación energética pudiera ser mayor a las gramíneas. Igualmente menciona que las leguminosas son una fuente significativa de minerales como calcio (0,24-1,90%), fósforo (0,19-0,40%), magnesio (0,10-0,47%), potasio (0,32-2,75%), sodio (0,05-0,14%), zinc (28-43 ppm), cobre (17-27 ppm) y manganeso (31-117 ppm).

Entonces se puede afirmar que la ingesta de leguminosas incrementa la degradación de la fibra, el consumo de MS e incrementa los microorganismos del rumen, los cuales juegan un papel importante para el mejor aprovechamiento de la fibra por los bovinos. Siendo este un tema relevante

e interesante como objeto de estudio, puesto que a la par con los procesos de nutrición, se prioriza también la baja en la producción de metano como un aporte a la sostenibilidad ambiental.

Camero y Franco (2001), utilizaron novillos *Bos indicus* alimentados con heno de yaraguá (*Hyparrhenia rufa*), melaza y pulidura de arroz, un segundo grupo fue suplementado con heno de cámbulo (*Erythrina poeppigiana*) o de mataratón (*Gliricidia sepium*) y un otro grupo al que se suministró urea.

Los autores reportaron que existió una mayor degradación en la materia seca en el rumen y que esta se dio en los novillos que se les suministró leguminosas en contraposición con los que se les adicionó urea. Aunque no encontraron diferencias en los novillos. De igual forma advirtieron un incremento del 15 y 24% en la concentración de AGV de los animales que ingirieron leguminosas versus los de urea.

Weisbjerg y SoegaardK (citados en Dean 2015), sugieren que las leguminosas contienen menor contenido de fibra detergente neutra (FND) total, pero contienen una mayor proporción de lignina que las gramíneas. No obstante, como la lignina está asociada a una baja concentración de FND indigestible, es decir que las leguminosas tienen una cantidad mayor de FND digerible que en las gramíneas. Por tanto, se puede inferir que las leguminosas tienen mayor digestibilidad de la materia orgánica que las gramíneas.

Moore, Brant, Kunkle y Hopkins (1999), sugieren que el componente que más interfiere en el consumo ab-libitum de los pastos es la proteína cruda ya que cuando esta está por debajo al 8% el consumo voluntario tiende a disminuir, debido a que bajo estas circunstancias el crecimiento de los microorganismos del rumen disminuye debido a la baja disponibilidad de nitrógeno.

Esta característica posiblemente cause un mejoramiento de las condiciones de fermentación en el rumen, ya que puede suministrar el N_2 necesario para el desarrollo de los microorganismos adecuados.

Abreu y otros (2004), revela un estudio donde la cantidad de nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$) en ovinos alimentados con pasto llanero con el 3,7% de proteína, se aumentó de 2,4 a 8,43 mg/100 ml cuando en la dieta se le adicionó una leguminosa (*Cratylia argentea*) con un 18,6% de proteína en una proporción 3:1.

Igualmente manifiesta que la acumulación de nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$) es de gran valor para los bovinos alimentados forrajes ricos en fibra, debido a que las bacterias que atacan la fibra usan el $N-NH_3$ para la formación de proteína.

Chanthakhoun *et al.* (2011), manifestaron que uso de henos de leguminosas en la alimentación en búfalos puede aumentar la población de bacterias, protozoos y hongos, por el contrario, la producción de metano mermó linealmente en razón a que se incrementó la cantidad de leguminosas en la dieta,

Adición de Lípidos en la Dieta. El suministro de grasas en la alimentación de bovinos es una alternativa para disminuir las emisiones de metano. Según Johnson y Johnson (1995), manifiestan que esta adición provoca una disminución de los microorganismos fermentadores principalmente las bacterias metanogénicas y protozoos, puesto que los lípidos inhabilitan los protozoarios e incrementa el ácido propiónico (opción metabólica para el hidrógeno), reduciendo de esta forma las emisiones de metano.

Por otro lado, los lípidos abundantes en ácidos grasos insaturados capturan el H_2 por biohidrogenación. Lo que disminuye la formación de metano.

Dohme et al (2000), sostienen que la adición de grasa con altos contenidos de ácidos grasos de cadena media y larga en las dietas reducen el metano y los protozoos ya que la disminución de estos contribuye a una merma en las bacterias metanógenas, por otro lado se dice que estos, generan cierta toxicidad que influyen sobre las bacterias metanogénicas.

Eugene y otros (2008), a través del análisis de la información de ganado lechero, determinaron que la producción de metano disminuyó en un 2,2% por cada 1% de lípidos adicionados en la dieta. Mientras tanto Beauchemin, Mcginn, Benchaar y Holtshausen (2009), examinando la información sobre bovinos de carne y ovejas, cuantificaron una merma del 5,6% en la formación de metano por cada unidad porcentual de lípido adicionada.

Martin y otros (2008), insinúan que los efectos de adición de grasas están directamente relacionado en la medida que depende si la fuente suministra es purificada o en materia prima. Así, concluyeron que la linaza al ser sometida a un proceso de extrusión permite que la cantidad de metano se reduzca en un 38%, en tanto, cuando se suministró aceite de linaza la producción de CH₄ decreció en un 64%. Pero, a pesar del efecto positivo de la grasa sobre la disminución en la producción de CH₄ entérico, esto también puede tener un efecto contrario, pues disminuye el consumo de alimento. Es así como los autores reportan una disminución en la ingesta de MS del 16% cuando se suministró linaza extrusada, mientras que cuando se adicionó aceite de linaza a la dieta el consumo de MS se redujo en un 26%. Igualmente, Beauchemin *et al.* (2009), demostraron que existió una merna en la producción de CH₄ del 10% y 18% cuando se suministró semilla de girasol, colza, y linaza respectivamente, sin embargo, se presentó una disminución del 18 y 10% en la materia seca consumida.

Odongo y otros (2007), consideran que las grasas pueden ser una gran opción para disminuir la producción de metano, pero su adición a la dieta puede alterar la palatabilidad y el consumo de

alimento, la respuesta del animal y los ingredientes lácteos, lo cual trae como consecuencia una alteración a nivel productivo.

Aceites Esenciales. Chao y otros (2000), Greathead (2003) y Burt (2004), manifiestan que los aceites esenciales (AE) son compuestos bio-activos que poseen propiedades antimicrobianas (protozoarios, bacterias, virus y hongos) que pueden utilizarse en la alimentación animal para mejorar la digestibilidad de los alimentos y la salud.

Polin y otros (2014) sostienen que los AE tienen alguna acción sobre la fermentación ruminal, especialmente sobre los AGV y dicen que la acción de los AE sobre los AGV totales obedece al tipo de sustrato utilizado en la dieta. Newbold y otros (2004), reportan que mezclas de AE (75mg/día) en bovinos mantenidos con ensilaje de alfalfa no tuvieron efecto sobre la cantidad de AGV como si lo tuvieron los bovinos alimentados con ensilado de maíz, esto pudo obedecer a las diferencias nutricionales de los pastos de la dieta.

Spanghero y otros (2008), sugieren que en la fermentación ruminal el principio activo del AE influye en la concentración de AGV y esto influye sobre la producción de metano especialmente si disminuye la cantidad de acetato y aumenta el propionato.

Evans y Martin (2000), advirtieron que el timol (400mg/L) reduce la relación acetato:propionato y por tanto disminuye la producción de metano,

Burt (2004) y Agarwal et al (2009), sostienen que dentro de los AE que inhiben la acción de las bacterias metanogénicas están el aceite de vallas de enebro, canela, menta, hinojo, clavo, tomillo, orégano, eucalipto.

Yang et al (2007) sostiene que la inclusión de diferentes AE en las dietas de rumiantes a distintas dosis permiten una disminución lineal en la formación de CH₄.

Los Ionóforos en la Dieta. La utilización de ionóforos en la dieta es otro método que se usa para aminorar la producción de gas metano entérico. Según Nagaraja, Newbold , Van Nevel y Demeyer (1997), los ionóforos son antibióticos que actúan de forma eficiente contra las bacterias Gran⁺, pero actúan muy poco sobre las bacterias Gran negativas y metanogénicas del rumen. Esta susceptibilidad se ve reflejada en que los metanógenos no se ven afectados en su producción menor de metano. Según Mitsumori y Sun (2008), la monensina y la salocida son estructuras muy eficaces para reducir la emisión de CH₄ y también la fermentación ruminal.

Efecto de los Ionóforos en los Rumiantes. Aneca et al. (1994), manifiestan que los ionóforos carboxílicos poliésteres como la monensina son estructuras químicas derivados de varias especies de *Streptomyces sp.*

Sumano (1997), expresa que los ionóforos se han modificado para el uso en los bovinos, los cuales inhiben el crecimiento de los microorganismos específicos en el rumen. Los principales ionóforos que se utilizan en la alimentación de bovinos son la monensina y la salocida, estos optimizan la productividad del animal al modificar la fermentación microbiana ya que provocan una baja en la concentración bacteriana, formación de metano y acetato induciendo a que se forme una mayor cantidad de energía metabolizable/kg de alimento.

Funciones de los ionóforos. Las principales funciones son:

Alteran movilidad de iones mono y divalentes a través de las membranas biológicas.

Modifican el esquema de la microflora ruminal.

Merma la producción de acetato y metano

Intensifican la producción de propionato.

Utilizan eficientemente el nitrógeno

Mejoran la digestibilidad de MS en los rumiantes.

Contribuyen eficientemente en la alimentación en rumiantes.

Mejoran el crecimiento de los animales con una dieta alta en fibra.

Acción antimicrobiana de los ionóforos sobre las bacterias. Esta acción puede provenir la respuesta de estas ante su presencia.

Tabla 5

Acción Antimicrobiana de los Ionóforos

| Bacterias Sensibles a los Ionóforos (productoras de H ₂ , formato, butirato, lactato y amoniaco) | Bacterias Resistentes a los Ionóforos (productoras de succinato y propionato) |
|--|---|
| <i>Ruminococcus albus</i> y <i>Ruminococcus flavefaciens</i> , <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>cellulosolvens</i> y <i>Streptococcus bovis</i> ; <i>Clostridium aminophilum</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Eubacterium ruminantium</i> ; <i>Lactobacillus ruminis</i> , <i>Lactobacillus vitulinus</i> y <i>sticklandii</i> y <i>Peptostreptococcus anaerobius</i>) | <i>Selenomonas ruminantium</i> , <i>Succinimonas amylolytica</i> , <i>Fibrobacter succinogenes</i> , <i>Megasphaera elsdenii</i> , <i>Prevotella ruminicola</i> , y <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> <i>Anaerovibrio lipolytica</i> |

Fuente Aneca *et al.* (1994) Citado en Frías, (2006)

Defaunación Ruminal. Otra de técnica ampliamente estudiada es la defaunación ruminal lo cual consiste en la eliminación de aquellos microorganismos que a nivel ruminal contribuyen en la producción de metano. Según Ushida, Miyazaki, y Kawashima (1986), la extinción total de los protozoos ciliados del rumen tiene un efecto reductor de las emisiones de metano entre el 50 y 60%, lo cual se logra mediante la adición de lípidos en la dieta.

Beauchemin, Mcginn, Benchaar y Holtshausen (2009), demostraron que la adición de lípidos puede provocar una disminución de protozoarios entre el 37 y 38%, en tanto que la adición de semilla de canola y girasol, lo cual provocó una disminución entre el 11 y 17% en las emisiones de metano.

Igualmente, Cheeke (2000) manifiesta que la utilización de fitoquímicos (inhibidores de protozoarios como las saponinas) en la dieta, adicionados mediante el uso de ciertas plantas de zonas áridas (*Yuca schidigera* y la *Quillaja saponaria*), se piensa que son una alternativa para disminuir las emisiones de CH₄ entérico.

Valdez y otros (1986), obtuvieron mediante ensayos *in vitro* que cuando se aumentó la concentración de saponinas de 0 a 77 ppm de sustrato, la cantidad de protozoarios disminuyó linealmente de 36000 a 29000 por mililitro. Es decir a medida que se aumenta la concentración de saponina, la cantidad de protozoarios disminuye proporcionalmente, y por lo tanto se reduce la síntesis del metano. Al mismo tiempo Lila y otros (2003), notifican que no siempre la reducción de la actividad protozoaria se da cuando se trata con saponinas en animales *in vivo*, tal y como ocurre cuando se realizan *in vitro*. Holtshausen y otros (2009) manifiestan que las diferentes respuestas de las saponinas en relación a la producción de CH₄, obedece a la fuente primaria de la saponina y a los niveles usados.

De acuerdo a Asanuma, Iwamoto e Hino (1999), otras técnicas utilizadas para producir la defaunación ruminal y reducir las emisiones de metano es la utilización del Fumarato, el cual contribuye a mejorar las cantidades de hierro en el organismo y por lo tanto la producción de los glóbulos rojos; sin embargo, Van Zijderveld *et al.* (2011), consideran que al suministra una cantidad considerable de 420 g/vaca/día de Fumarato, tan solo 11 g/d (2,6%) es convertido en gas metano, debido principalmente a que la mayor parte del Fumarato es convertido en propionato.

Por otra parte, cuando se adiciona un nitrato a una ración de alimento expresada en g/kg de MS consumida o como porcentaje de la EB consumida, la formación de metano disminuyó en un 16%, en tanto, cuando se habla en kg de producto (leche), el CH₄ mermó en 14%. La disminución de metano se dio como resultado del aumento del H₂ en sangre, aumentando así los niveles de metahemoglobina. Esta situación se debió a la disminución en la pérdida de H₂ para la formación de metano (Van Zijderveld, *et al.* 2011) Estos nitratos pueden reemplazar al CO₂ e ir hacia la sangre como se manifestó a nivel ruminal.

Utilización de Hormona del Crecimiento, Implantes y β Agonistas. La utilización de hormonas de crecimiento en bovinos de leche, implantes y β agonistas en bovinos de carne se constituye en otro método importante para minimizar las emisiones de metano entérico. Tal como lo comprobaron (Capper *et al.*, 2008), en una simulación matemática observaron que el metano/unidad de leche producida disminuyó en 7,3%. Este procedimiento se desarrolla mediante la revisión detallada de los animales en un tiempo menor debido a su crecimiento más rápido. Se presenta como una importante alternativa y aunque la reducción se presenta en un bajo porcentaje resulta viable para tener en cuenta.

De igual forma Cottle, Nolan y Wiedemann (2011), comprobaron que la utilización de implantes y β agonistas provocan un mejoramiento indirecto en las emanaciones de metano; generando un incremento en la tasa de crecimiento y por ende disminuye la estancia del ganado en el hato.

Inhibición de la Metanogénesis. Según Busquet y otros (2005), las plantas se encuentran algunos compuestos secundarios (metabolitos) como aceites esenciales que reducen las actividades microbianas. Pero a pesar de no ser contundente la información, estos pueden reducir las emanaciones de metano ya que pueden disminuir selectivamente el crecimiento de protozoos que

tienen una estrecha simbiosis con las bacterias metanógenas. Los mismos autores afirman que el dialil disulfuro del aceite de ajo, puede disminuir la actividad de algunas enzimas que colaboran en la metanogénesis.

Kamra, Agarwal, y Chaudhary (2006), calcularon *in vitro* los resultados de sustratos de plantas en la formación de metano entérico, encontrando que el aceite de ajo reduce en un 64% las emanaciones de metano sin perturbar la digestibilidad del alimento ya que este aceite permite una menor producción de propionato.

Busquet *et al.* (2005) mediante el uso de este mismo extracto, elaborado mediante la adición de compuestos a base de ajo como la alicina, compuesto que permite de eliminar las bacterias que producen metano entérico.

Sin embargo, el uso de aceite de ajo en ensayos *in vivo* con dosis altas de 500 ml/L, no encontraron ningún efecto en la producción de CH₄, en cambio en dosis de 100 y 300 mg/L que sí presentaron efectos sobre la producción de este gas (Klevenhusen *et al.*, citados en Busquet y otros, 2005).

Otra alternativa viable es la referente a los análogos estructurales de la coenzima M, (2-mercaptoetanosulfonato. constituye el transportador C1 en la metanogénesis.), la cual está involucrada en la etapa final de la biosíntesis de CH₄. Estos compuestos pueden reducir la transmisión del grupo metil en la etapa reductiva final de la producción de CH₄ que resulta del H₂ y CO₂. (Liu, Wang, Wang y Chen, 2011,). Regularmente, estas sustancias pueden inhibir en una concentración relativamente baja los grupos metanógenos. Ungerfeld, Rust, Boone y Liu (2004), descubrieron que en experimentos en cultivos con líquido ruminal y metanobrevibacter ruminantium utilizando menos <1 mM de BES disminuyó la metanogénesis, ya que esta especie de bacteria fue la más susceptible.

Liu *et al*, (2011), manifiestan que los reductores de la actividad de la enzima hidroximetilglutaril-CoA (HMG-CoA) reductasa es un inhibidor específico de la metanogénesis pues merma el crecimiento de los metanógenos ruminales por inhibición de la síntesis de mevalonato.

Miller y Wolin (2001) manifestaron que las mevastatina, estatinas, y lovastatina, aminoran el desarrollo de la *Metanobrevibacter* sin disminuir el crecimiento de otros microorganismos ruminales benéficos. Además, lograron mediante el uso de niveles de 0,004 mg/mL de mevastatina y lovastatina el bloqueo completo del crecimiento de bacterias metanogénicas (Wolin y Miller, 2006). Del mismo modo Faseleh y otros (2013), también reportaron que al utilizar niveles de 0,001 mg/mL de lovastatina se logró una disminución en el desarrollo de las bacterias metanogénicas.

Entre tanto, Nováková *et al*, (2010), encontraron que niveles del 0.02 mg/mL de pravastatina el crecimiento de metanógenos se redujo en un 83% y la producción de metano se disminuyó en un 43,9%.

Según Soliva, Hindrichsen, Meile, Kreuzer y Machmüller (2003) se cree que las bacterias Gram positivas y metanogénicas se ven reducidas por la existencia de ácidos grasos de cadena media y larga (láurico y hexadecatrienoico) ya que rompen y absorben las membranas celulares.

Por su parte, Machmüller, Soliva y Kreuzer (2002), manifiestan que en ensayos *in vitro*, los ácidos grasos de cadena media como el ácido láurico y el palmiste, que se encuentra principalmente en alimentos que contienen grasas saturadas como el coco y aceite de palma, estos inhiben la metanogénesis en un 76% por la acción en las bacterias Gram positivas.

Mientras que Ungerfeld, Rust, Burnett, Yokoyama, y Wang (2005), encontraron *in vitro* que la producción de CH₄ se redujo en un 97% cuando se adicionó ácido hexadecatrienoico,

Por otro lado Polan, McNeill, y Tove (1964), sostienen que otra alternativa para reducir la utilización de H_2 en rumen y por tanto reducir la producción de CH_4 es la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados.

Alternativas de alimentación para disminuir las emisiones de gas metano

Inclusión de concentrados en la dieta. Al incluir concentrados en la dieta se incrementa la tasa de pasaje y la acidificación del líquido ruminal, esta última condición permite un cambio en los microorganismos del rumen pasando de bacterias celulolíticas y hemicelulolíticas a bacterias aminolíticas así como también existe una defaunación de protozoarios, por otro lado esta situación también cambia la relación acetato:Propionato y por tanto se reduce la producción de metano (Posada-Ochoa et al. 2014).

Hristov et al. (2013) manifiestan que al incluir concentrados en la dieta de vacas lecheras, especialmente cuando este está por encima del 40%, se incrementa la producción y la cantidad de grasa en leche, pero que esta alternativa no es viable económicamente ya que los componentes de los concentrados en su mayoría son importados y algunos compiten con la alimentación del ser humano.

Tabla 6

Suministro de concentrado y las emisiones de gas metano

| Indicador | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|------|------|------|------|
| Composición de la dieta | | | | |
| Pastos y forrajes (%) | 73 | 69,4 | 54,3 | 27,8 |
| Concentrado (%) | 23 | 26 | 37 | 26 |
| Subproductos de la Agroindustria (Cáscara de piña, cáscara de banano, banano rechazado, cáscara de yuca, cascarilla de soya, etc. | 4,1 | 4,4 | 7,8 | 46,0 |
| Calidad de la dieta | | | | |
| Proteína cruda (%) | 12,3 | 12,9 | 13,5 | 10,5 |
| DIVMS (%) | 70,0 | 71,1 | 73,3 | 75,7 |
| Emisión de metano entérico (g/kg de leche) | 22,0 | 20,0 | 18,0 | 18,0 |

Fuente: Adaptado de Iñamagua (2014)

En tabla 6 se puede observar como a medida que se incrementa el porcentaje de concentrado y disminuye el porcentaje de pastos y forrajes en la ración, las emisiones de metano disminuyen.

Suministro de pastos y forrajes de calidad. El suministro de pastos y forraje de buena calidad nutricional ya que aumenta la digestibilidad del alimento, es decir, que cuando un forraje madura va perdiendo su calidad nutricional, debido a que se aumenta la cantidad de celulosa y hemicelulosa, reduciendo la digestibilidad y aumentando la tasa de pasaje y la producción de ácido acético y por ende permitiendo que las emisiones de metano aumenten (Brask et ál. 2013).

En estudios realizados por Galindo et ál. (2008) reportan que al adicionar leucaena (*Leucaena leucocephala*) a dietas se observa una mayor presencia de bacterias celulolíticas y una disminución de los protozoarios simbiotantes con las bacterias metanogénicas, disminuyendo las cantidades de metano entérico.

Montenegro y Abarca (2001) compararon el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) con el pato estrella (*Cynodon nlenfuensis*) y encontraron que el kikuyo presenta una mayor eficiencia en la producción de leche, debido a la calidad del pasto y a una mejor utilización de la energía digestible consumida.

Ensilajes. El ensilaje es un proceso de conservación de forrajes (gramínea o leguminosa). El proceso fermentativo, se realiza con la presencia de ácidos orgánicos afectan la acidez del producto hasta niveles donde la actividad de los microorganismos se anula, y que permite la conservación del forraje sin disminuir el valor nutritivo. Este proceso se debe realizar cuando los forrajes tienen un alto contenido de proteína y bajo en fibra.

Mc. Geough et al. (2010), encontraron que a medida que el ensilaje de maíz maduraba existía un aumento en la concentración de almidones y una disminución del contenido de fibra, estos cambios generan un aumento del ácido propiónico, lo que provoca es una disminución en la disponibilidad de H₂ para la producción de CH₄.

Es una estructura a prueba de aire y agua que permite la conservación del forraje, manteniendo su condición jugosa y su color verde sin disminuir el valor nutritivo.

Por otro lado se reporta que las emisiones de metano en vacas que consumieron ensilado de loto (*Lotus Corniculatus*) se redujeron en un 23% por kg/MS en comparación con animales que consumieron ensilado de rye- grass. (Woodward *et al.* 2001)

Sistemas silvopastoriles. Estos sistemas son espacios combinados de gramíneas y leguminosas (rastreras, arbustivas o arbóreas) destinados a la alimentación animal, en estos ambientes los bovinos aprovechan la oferta de forrajes, el mejoramiento de su microclima de su ambiente (Crespo, 2008). Murgueitio *et al* (2015); Uribe *et al* (2011) manifiesta que la especie más utilizada

en los SSP es la *Leucaena leucocephala* por sus propiedades nutricionales, fijación de nitrógeno al suelo, rápido crecimiento y resistencia al ramoneo.

Los SSP contribuyen con una mayor producción y disponibilidad de forrajes durante todo el año, mejora la biodiversidad y a la sostenibilidad del ecosistema, mejora los niveles de producción en los sistemas ganaderos. (Broom *et al.* 2013; Murgueitio *et al.* 2015)

En el mismo sentido Murgueitio *et al.* (2013), sostiene que otras de las ventajas que tienen los SSP se relacionan con la disminución de los aportes al cambio climático a través de un aumento en los depósitos de carbón al suelo, la menor emisión de CH₄ debido a una mayor eficiencia de los forrajes (gramíneas y leguminosas) en el rumen, mejor utilización del nitrógeno por un mejor proceso de reciclaje de excretas y, mejores parámetros reproductivos.

Suministro de leguminosas con metabolitos secundarios. Lascano y Cárdenas (2010), aseguran que las leguminosas de climas templados como la Zulla (*Hedysarium coronarium*), lespedeza (*Lespedeza cuneata*), zapatico de la virgen (*Lotus corniculatus*), escoba de charcos (*L. uliginosus*) y tropicales como el barba de chivo (*Calliandra calothyrsus*), flemingia (*Flemingia macrolylla*), que presentan un alto contenido de metabolitos secundarios (taninos) que reducen la metanogénesis, ya que los taninos son tóxicos para los protozoarios ciliados, bacterias metanogénicas y bacterias que degradan la fibra.

Consideraciones Finales y Conclusiones

Estos aportes, ratifican la importancia de adentrarse en estudios y disertaciones a profundidad frente al tema relacionado a la emisión de gas metano a partir de los procesos de alimentación y nutrición en ganado vacuno y a la vez considerar la necesidad de contrastar dicha problemática tanto en laboratorio como en sitio en las instancias local, regional y nacional; además de abordar alternativas viables y confiables de reducir dichas emisiones.

Es necesario de buscar la correspondencia de un trabajo interdisciplinario no sólo del zootecnista; sino de ramas del saber, entre ellas la biología, la agronomía, la nanotecnología, la microbiología, la química, las ingenierías ambiental y agroforestal, entre otras; conjugadas estas con las políticas públicas del sector agropecuario, especialmente el ganadero.

Las características y condiciones de la relación entre los procesos de alimentación en bovinos y la emisión de metano (CH_4) entérico, en este caso ubicados en el altiplano nariñense, permite enmarcar los problemas que actualmente enfrenta el planeta en varios procesos de origen natural y antrópico. Esto trae como consecuencia del calentamiento global causado especialmente por la acumulación de GEI.

Los bovinos tienen un sistema digestivo que convierte y aprovecha los alimentos con alto contenido de CHO estructurales en pasturas de buenas condiciones nutritivas para la producción de leche y carne. No obstante, por sus particularidades anatómicas, metabólicas y fisiológicas este sistema es capaz de producir CH_4 ; que aporta con aproximadamente el 18% del calentamiento global produciendo cambios drásticos en el comportamiento del clima y alterado la producción agropecuaria y ecosistémica y por tanto a la humanidad.

Entonces el determinar fuentes alimenticias y procesos nutricionales alternativos en bovinos permite evaluar y valorar las diferencias en la contribución para la producción de CH_4 entérico de

las diferentes especies forrajeras, es decir, el uso de forrajes nativos permite producir una mayor cantidad de CH_4/MS consumida que una pastura de mejor calidad.

Es evidente que la cantidad de metano producto de la fermentación entérica se articula con el alimento consumido, las características fisicoquímicas del forraje las cuales alteran el forraje suministrado y los periodos de alimentación, es decir, que desnutrición aumenta los niveles de metano. De igual forma la energía no utilizada en la producción y eliminación de CH_4 se debe a muchos factores tales como la cantidad, tipo de pienso, manejo de la fermentación ruminal, lípidos agregados, tipos de CHO y procesamiento de los pastos.

Un aspecto fundamental para tener en cuenta está asociado al manejo de los alimentos suministrados. Un tamaño de partícula pequeño ayuda a reducir de la tasa de pasaje, así, la degradación microbiana del alimento y el transito del material ingerido por los compartimientos gástricos hacia el intestino se realiza más rápida y eficientemente.

Las alternativas de manejo de procesos de nutrición que permitan la mitigación de emanaciones de metano entérico, resultan amigables con el medio ambiente y contribuyen a procesos de sostenibilidad ecológica, ambiental, económica, política y social.

Se sugiere entonces de esta manera, plantear dichas alternativas desde los contenidos y procesos adquiridos en el desarrollo de la especialización “Nutrición animal Sostenible” que va en correspondencia en primer lugar en el mejoramiento de la alimentación y sus beneficios productivos y en aporte positivo en favor del medio ambiente respondiendo al calentamiento global.

Finalmente, se ratifica que este estudio monográfico ha permitido caracterizar factores de alimentación, nutricionales y antinutricionales que inciden en el aporte a la producción de gas

metano entérico en ganado vacuno a partir de las características de uso, manejo y aspectos contextuales y fisiológicos de la región de altiplano nariñense.

Referencias Bibliográficas

Abreu, A., Carulla, J. E., Lascano, C. E., Diaz, T. E., Kreuzer, M., y Hess, H. D. (2004). Effects of *Sapindus saponaria* fruits on ruminal fermentation and duodenal nitrogen flow of sheep fed a tropical grass diet with and without legume. *J Anim Sci* 82, 1392-1400.

Agarwal N, Shekhar RC, Kumar LC, Chaudhary, Kamra DN. 2009. Effect of peppermint (*Mentha piperita*) oil on in vitro methanogenesis and fermentation of feed with buffalo rumen liquor. *Anim Feed Sci Tech* 2009;(148):321-327.

Aguiar Zalzano, E., y Rojas, A. (2014). Métodos utilizados para reducir la producción de metano endógeno en rumiantes. *Nutrición Animal Tropical: 72-90 ISSN, 2215-3527*.

Anderson, R., y Rasmussen, M. (1998). Use of a novel nitrotoxinmetabolizing bacterium to reduce ruminal methane production. *Bioresource Technology*, 89-95.

Asanuma, N., Iwamoto, M., y Hino, T. (1999). Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *Journal of Dairy Science* 82, 780-787.

Beauchemin, K., Kreuzer, M., O'mara, F., y McAllister, T. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Aust J Exp Agri*, 48, 21-27.

Beauchemin, K., McGinn, S., Benchaar, C., y Holtshausen, L. (2009). Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: Effects on methane production, rumen fermentation, and milk production. *Journal of Dairy Science*. 92, 2118-2127.

Brask, M; Lund, P; Hellwing, ALF; Poulsen, M; Weisbjerg, MR. 2013. Enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in dairy cows fed different forages with and without rapeseed fat supplementation. *Animal Feed Science and Technology*. 184 (1-4):67-79. (Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.06.006>).

Broom, D.M., Galindo, F.A, y Murgueitio, E., 2013.-Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. In Proc. R. Soc. B., 280: 2013-2025.

Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *Int J Food Microbiol* 2004; (94)223-253.

Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Cardozo, P. W., y Kamel, C. (2005a). Effects of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen microbial fermentation in a dual flow continuous culture. *J Dairy Sci* 88(7), 2508-2516.

Caja, G., González, E., Flores, C., Carro, M.D. y Albanell, E. 2003. Alternativas a los antibióticos de uso alimentario en rumiantes: probióticos, enzimas y ácidos orgánicos. Grupo de Investigación en Rumiantes, Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Producción Animal, Universidad de León.

Camero, A., y Franco, M. (2001). Improving rumen fermentation and milk production with legume tree fodder in the tropics. *Agroforestry systems* 51, 157-166.

Capper, J. L., Castañeda Gutierrez, E., Cady, R. A., y Bauman, D. E. (2008). The environmental impact of recombinant bovine somatotopin (rbST) use in dairy production. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 9668–9673.

Carmona, J., Bolivar, D., y Giraldo, L. (2005). *El Gas metano en la produccion ganadera y alternativas para medir sus emisiones a nivel ambiental y productivo*. Antioquia: Universidad de Antioquia.

Carulla, J. E., Kreuzer, M., Machmüller, A., y Hess, H. D. (2005). Supplementation of *Acacia mearnsii* tannin decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Aust J Agr Res*, 56, 961-970.

Chao SC, Young DG. Screening for inhibitory activity of essential oils on selected bacteria, fungi and viruses. *J Essent Oil Res* 2000; (12):639-649.

Chavez, A. V., Thompson, L. C., Iwaasa, A. D., Scott, S. L., Olson, M. E., Benchaar, C., . . . McAllister, T. A. (2006). Effect of pasture type (alfalfa vs grass) on methane and carbón dioxide production by yearling beef heifers. *Can J Anim Sci*, 86, 409-418.

Cheeke, P. (2000). Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins. *Journal of Animal Science* 77, 1-10.

Clavero, T. (2011). Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical. *Revista de la Universidad del Zulia. Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología* 2, 11-35.

Conozca el censo pecuario nacional del ICA 2917. (2017). Contextoganadero. Recuperado de <http://www.fedegan.org.co/noticias/conozca-el-censo-pecuario-nacional-del-ica-2017>

Cottle, D. J., Nolan, J. V., y Wiedemann, S. G. (2011). Ruminant enteric methane mitigation. *A review. Anim. Prod. Sci.* 51, 491–51.

Crespo, G., 2008.-Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(4):329-335.

Cruz Frías, A. (sf). <http://www.monografias.com>. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos36/ionoforos/ionoforos.shtml>

Dämmgen, U., Rösemann, C., Haenel, H., y Hutchings, N. (2012). Emisiones de metano entérico de vacas lecheras alemanas. *Investigación agrícola y forestal* 62, 21-32.

De Haas, Y., Windig, J., Calus, M., Dijkstra, J., De Haan, M., Bannink, A., y Veerkamp, R. (2011). Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of Dairy Science.* 94, 6122–6134.

De Klein, C. A., Pinares Patiño, C., y Waghorn, G. C. (2008). *Greenhouse gas emissions. In: Environmental impacts of pasture-based farming*. London: McDowell RW.

Dean, D. (2015). Importancia de las leguminosas en la alimentación de rumiantes. *Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales*.

DeRamus, H., Clement, T., Giampola, D., y Dickison, P. (2003). Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal Environ Qual*, 269-277.

Dohme F, Machmüller A, Wasserfallen A, Kreuzer M. Comparative efficiency of various fats rich in medium-chain fatty acids to suppress ruminal methanogenesis as measured with RUSITEC. *Canadian Journal of Animal Science*, 2000; 80: 473-482.

Eckard, R. J., Grainger, C., y De Klein, C. A. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livest Sci*, 130, 47-56.

Ellis, J. L., Dijkstra, J., France, J., Parson, A. J., Edwards, G. R., Rasmussen, S., . . . Bannink, A. (2012). Effect of high-sugar grasses on methane emissions simulated using a dynamic model. *J Dairy Sci*, 272-285.

España. Embajada De España En Honduras. Alternativas nutricionales para época seca. Tegucigalpa: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras. 2005. 15p. <http://www.pesacentroamerica.org/biblioteca/doc-hon-feb/anes%20de.pdf> (02, julio, 2012)

Eugene, M., Masse, D., Chiquette, J., y Benchaar, C. (2008). Metaanalysis on the effects of lipid supplementation on methane production in lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 88(2), 331–334.

Evans D, Martin SA. Effects of thymol on ruminal microorganisms. *Current Microbiol* 2000;(41):336–340.

FAO. (2010). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.

Faseleh Jahromi, M., Liang, J. B., Ho, Y. W., Mohamad, R., y Goh, Y. M. (2013). Lovastatin in *Aspergillus terreus*: Fermented Rice Straw Extracts Interferes with Methane Production and Gene Expression in *Methanobrevibacter smithii*. *BioMed Research International*.

Federación Colombiana de Ganaderos – FEDEGAN Fondo Nacional del Ganado - FNG. (2013). Análisis del inventario Ganadero colombiano.

Frías Cruza Adriana. Efecto del uso de ionóforos en rumiantes. Monografías.com (2006).

González, F. y Rodríguez, H. (1999). Proyecciones de las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) 1998-2010. *Rev Acad Colomb Cienc*, 497-505.

Grainger, C., Auld, M., Clarke, T., Beauchemin, K., Mcginn, S., Hannah, M., . . . Lowe, L. (2008). Use of Monensin Controlled-Release Capsules to Reduce Methane Emissions and Improve Milk Production of Dairy Cows Offered Pasture Supplemented with Grain. *Journal of Dairy Science*. 91, 1159–1165.

Greathead H. Plant and plant extract for improving animal productivity. *P Nutr Soc* 2003; (62):279-290.

Hegarty, R. (1999). Mechanisms for competitively reducing ruminal methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Reserch*. 50(8), 1299–1305.

Hegarty, R. S., Goopy, J. P., Herd, R. M., y Mccorkell, B. (2007). Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *Journal of Animal Science* 85, 1479-1486.

Hess, H. D., Monsalve, L. M., Lascano, C. E., Carulla, J. E., Díaz, T. E., y Kreuzer, M. (2003). Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on in vitro ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Aust J Agri Res*, 54, 703-713.

Hobson, P., y Stewart, C. (1997). *The Rumen Microbial Ecosystem*. London, UK: Chapman and Hall.

Holtshausen, L., Chaves, A., Beauchemin, K., Mcginn, S., Mcallister, T., Odongo, N., . . . Benchaar, C. (2009). Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92, 2809–2821.

Hristov, AN; Oh, J; Lee, C; Meinen, R; Montes, F; Ott, T; Firkins, J; Rotz, A; Dell, C; Adesogan, A; Yang, W; Tricarico, J; Kebreab, E; Waghorn, G; Dijkstra, J; Oosting, S. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera: Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. Ed. Gerber, PJ; Henderson, B; Makkar, HPS. Roma, IT. Producción y Sanidad Animal FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). Documento 177.

Hungate, R. E., Smith, W., Bauchop, T., Yu, I., y Rabinowitz, J. C. (1970). Formate as an intermediate in the bovine rumen fermentation. *Journal of Bacteriology*. 102 (2), 389–397.

Hunter, R. A. (2007). Methane production by cattle in the tropics Letter to editor. *Br J Nutr*, 98, 657.

Iñamagua, JPU. 2015. Estrategias de alimentación, emisiones de gases efecto invernadero y relación ingresos-costos de alimentación asociados a la producción de leche en fincas productoras de leche de la cooperativa Dos Pinos en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p.

Johnson, K., y Johnson, D. (1995). Methane emissions from cattle. *J Anim Sci*, 2483-2492.

Kamra, D., Agarwal, N., y Chaudhary, L. (2006). Inhibition of ruminal methanogenesis by tropical plants containing secondary compounds. In: Soliva CR, Takahashi J, Kreuzer M (eds). Greenhouse Gases and Animal Agriculture. *International Congress Series No. 1293. The Netherlands: Elsevier*, 156-163.

Kinsman, R., Sauer, F., Jackson, H., y Wolynetz, M. (1995). Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. *J Dairy Sci*, 2760-2766.

Knight, T. W., Molano, G., Nichols, W., y Clark, H. (2007). Effect of feeding caucasian clover, White clover, ryegrass and combinations of ryegrass and clovers on methane emissions of weather lambs. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference. Poster Sesion 1*, (pág. 23). Christchurch New Zealand.

Krause, D.O., Nagaraja, T.G., Wright, A.D.G. y Callaway, T.R. 2013. Rumen microbiology: leading the way in microbial ecology. *J. Animal Sci.* 91:331

Kurihara, M., Magner, T., McCrabb, H., y McCrabb, G. (1999). Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*, 227-234.

Langtry, L. (s.f.). *www2.uah.es*. Obtenido de <http://www2.uah.es>

Lascano C, Cárdenas E .2010. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. *Revista Brasileira de Zootecnia, J Anim Sci*; 89: 2654-2754

Liu, H., Wang, J., Wang, A., y Chen, J. (2011). Chemical inhibitors of methanogenesis and putative applications. *Appl Microbiol Biotechnol* 89(5), 1333-1340.

Lovett, D. K., Bortolozzo, A., Conaghan, P., O'Kiely, P., y O'Mara, F. P. (2004). In vitro total and methane gas production as influenced by rate of nitrogen application, season of harvest and perennial ryegrass cultivar. *Grass Forage Sci*, 227-232.

Lovett, D. K., McGilloway, D., Bortolozzo, A., Hawkins, M., Callan, J., Flynn, B., y O'Mara, F. P. (2005). In vitro fermentation patterns and methane production as influenced by cultivar and season of harvest of *Lolium perenne* L. *Grass Forage Sci*, 9-21.

Machmüller, A., Soliva, C. R., y Kreuzer, M. (2002). In vitro ruminal methane suppression by lauric acid as influenced by dietary calcium. *Can J Anim Sci*; 82(2), 233-239.

Margan, D. E., Graham, N. M., Minson, D. J., y Searle, T. W. (1988). Energy and protein values of four forages, including a comparison of tropical and temperate species. *Aust J Exp Agri*, 729-736.

Margan, D. E., Graham, N. M., Minson, D. Kamra, N. D., Agarwal, N., y Chaudhary, L. C. (2010). Effect of tropical feeds and plants containing secondary metabolites on methane emission by ruminants. *Trop Anim Health Pro*, 1-23.

Martin, C., Morgavi, D. P., y Doreau, M. (2009). Methane mitigation in ruminants: from microbe to farm scale. *The Animal Consortium 2009. Animal*, 4, 1-15.

Martin, C., Rouel, J., Jouany, J., Doreau, M., y Chilliard, Y. (2008). Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. *Journal of Animal Science* 86, 2642–2650.

Mc Court, A. R., Yan, T., y Mayne, C. (2007). Effect of forage time on methane production from dairy cows. *Br. Soc. Anim. Sci*, (pág. 48). Penicuik, UK.

Mc Geough E., O'kiely, P., Hart, K., Boland, T., Kenny, D. (2010). Methane emission, feed intake, performance, digestibility and rumen fermentation of finishing beef cattle offered whole-crop wheat silages differing in grain content. *Journal of Animal Science* 88, 2703-2716

Mc Geough, E., O'kiely, P., Hart, K., Boland, T., y Kenny, D. (2010). Methane emission, feed intake, performance, digestibility and rumen fermentation of finishing beef cattle offered whole-crop wheat silages differing in grain content. *Journal of Animal Science* 88, 2703-2716.

McCaughey, M., Wittenberg, K., y Corrigan, D. (1999). Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can J An Sc*, 221-226.

McCaughey, w., Wittenberg, k., y Corrigan, D. (1997). Methane production by steers on pasture. *Can J An Sc*, 519-524.

Meléndez, J. (21 de Abril de 2013). <http://blog.unach.mx>. Obtenido de <http://blog.unach.mx/1101055/files/2012/05/PLANTAS-C3-Y-C41.pdf>

Mieres, J., Olivera, L., Martino, D., La Manna, A., Fernández, E., Palermo, R., y Gremminger, H. (2002). Methane emissions from holstein heifers grazing contrasting pastures in Uruguay.

Miller, T., y Wolin, M. (2001). Inhibition of growth of methane-producing bacteria of the ruminant forestomach by hydroxymethylflutaryl-SCoA reductase inhibitors. *J Dairy Sci* 84, 1445–1448.

Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. (2000). *Reducción y opciones de mitigación de emisiones de metano: Ganado Bovino*. Buenos Aires.

Misselbrook, T., Kim, E. J., Bulmer, N., Munrray, R., Scollan, N., y Chadwick, D. (2010). Evaluation of effects of grass water-soluble carbohydrate on methane emissions from grazing lambs. *Proceeding of the 4th Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference*. Canadá: McGeough, E. and McGinn, S.

Mitsumori, M., y Sun, W. (2008). Control of rumen microbial fermentation for mitigating methane emissions from the rumen. *Asian-Aus J Anim Sci* 2008; 21(1), 144- 154.

Molina, P., y Ojeda, D. (2009). Caracterización Biofísica y socioeconómica en fincas ganaderas de leche en Pasto. Tesis de grado Ingeniería Agroforestal. Pasto.

Montenegro, J., y Abarca, S. (2000). fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Costa Rica: Ed Nuestra Tierra.

Moore, J. E., Brant, M. H., Kunkle, W. E., y Hopkins, D. I. (1999). Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. *J Anim Sci* 77 (2), 122-135.

Moss, A., y Givens, D. (2002). The effect of supplementing grass silage with soya bean meal on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 127-143.

Moss, A., Jouany, J., y Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *INRA EDP Sciences. Ann Zootech*, 231-253.

Murgueitio, E., Chará, J.D., Solarte, A.J., Uribe, F., Zapata, C., y Rivera, J.E., 2013.- Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias (Colombian journal of animal science and veterinary medicine)*, 26: 313-316.

Murgueitio, E., Xóchitl Flores, M., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, C.H., et al., 2015.- Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. (en) *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia, pp.; 59-101.

Nagaraja, T. G., Newbold, C. J., Van Soest, P. J., y Demeyer, D. I. (1997). *Manipulation of ruminal fermentation*. Londres: Hobson PN, Stewart CS (eds).

Navarro Villa, A., O'Brien, M., López, S., Boland, T. M., y O'Kiely, P. (2011). In vitro rumen methane output of red clover and perennial ryegrass assayed using the gas production technique (GPT). *Anim Feed Sci Technol*, 152-164.

Newbold CJ, McIntosh FM, Williams P, Losa R, Wallace RJ. Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation. *Anim Feed Sci Tech* 2004; (114):105-112.

Nkrumah, J., Okine, E., Mathison, G., Schmid, K., Li, C., Basarab, J., . . . Moore, S. (2006). Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate,

methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 84, 145-153.

Nováková, Z., Blaško, J., Hapala, I., y Šmigáň, P. (2010). Effects of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme a reductase inhibitor pravastatin on membrane lipids and membrane associated functions of *Methanothermobacter thermautotrophicus*. *Folia Microbiol*, 55(4), 359-362.

Odongo, N., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Or-Rashid, M., Hook, S., McBride, B. (2007). Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90, 1781–1788.

Polan, C. E., McNeill, J. J., y Tove, S. B. (1964). Biohydrogenation of unsaturated fatty acids by rumen bacteria. *J Bacteriol*; 88(4), 1056-1064.

Posada Ochoa, SL; Ramírez Agudelo, JF; Rosero Noguera, R. 2014. Producción de metano y digestibilidad de mezclas kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Mesoamericana*: 25(1):141-150.

Primavesi, O., Frighetto, R. T., Pedreira, M. S., Lima, M. A., Berchielli, T. T., y Rodrigues, A. A. (2003). <http://www.coalinfo.net.cn>. Obtenido de <http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/agriculture/AF066.pdf>

Primavesi, O., Shiraishi, R., Dos Santos, M., Aparecida, M., Teresinha, T., y Franklin, P. (2004). Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq agropec bras*, 277-283.

Ruiz, R., y Vázquez, C. M. (1983). *Consumo Voluntario de pastos y forrajes tropicales. Los Pastos en Cuba*. La Habana, Cuba: En Ugarte J, Senra C (eds).

Salisbury, F. B., y Ross, C. W. (2000). *Fisiología de las plantas 2. Bioquímica vegetal. Traducción Alonso, JM.* Madrid. España: Thomson Editores Spain.

Sejian, V., Lai, R., Lakritz, J., y Ezeji, T. (2011). Measurement and prediction of methane enteric emissions. *International Journal of Meteorology* 55, 1-16.

Soliva, C. R., Hindrichsen, I. K., Meile, L., Kreuzer, M., y Machmüller, A. (2003). Effects of mixtures of lauric and myristic acid on rumen methanogens and methanogenesis in vitro. *Lett Appl Microbiol*; 37(1), 35-39.

Spanghero M, Zanfi C, Fabbro E, Scicutella N, Camellini C. Effects of a blend of essential oils on some end products of in vitro rumen fermentation. *Anim Feed Sci Tech* 2008; (145):364-374.

Tatsouka N, Hara K, Milkuni K, Hara K, Hashimoto H, Itabashi H. Effects of the essential oil cyclodextrin complexes on ruminal methane production in vitro. *Anim Sci J* 2008;(79):68-75.

Tiemann, T., Avila, P., Ramírez, G., Lascano, C. E., Kreuzer, M., y Hess, H. D. (2008). In vitro ruminal fermentation of tanniferous tropical plants: Plant-specific tannin effects and counteracting efficiency of PEG. *Anim Feed Sci Technol*, 146, 222-241.

Ungerfeld, E. M., Rust, S. R., Burnett, R. T., Yokoyama, M. T., y Wang, J. K. (2005). Effects of two lipids on in vitro ruminal methane production. *Anim Feed Sci Technol*; 119(1), 179-185.

Ungerfeld, E., Rust, S., Boone, D., y Liu, Y. (2004). Effects of several inhibitors on pure cultures of ruminal methanogens. *J Appl Microbiol* 97(3), 520- 526.

Uribe, F., Zuluaga, A.F., Valencia, L., Murgueitio, E., Zapata, A., Solarte, L. et al., 2011.- Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. Bogotá.

Ushida, K., Miyazaki, A., y Kawashima, R. (1986). Effect of defaunation on ruminal gas and VFA production in vitro. *Japan Journal Zootech Science* 57, 71-77.

Valdez, F., Bush, L., Goetsch, A., y Owens, F. (1986). Effect of steroidal saponins on ruminal fermentation and on production of lactating dairy cows. *Journal. Dairy Sci.* 69, 1568–1575.

Van Kessel, J., y Russell, J. (1996). The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiology Ecology*, 205-210.

Van Zijderveld, S., Dijkstra, J., Perdok, H., Newbold, J., y Gerrits, W. (2011). Dietary inclusion of diallyl disulfide, yucca powder, calcium fumarate, an extruded linseed product, or medium-chain fatty acids does not affect methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 94, 3094–3104.

Villoria de la Hoz, J. (2007). Economía Regional. Economía del Departamento de Nariño: Ruralidad y Aislamiento Geográfico. Cartagena: Banco de La Republica.

Waghorn, G. C., y Clark, D. A. (2006). Greenhouse gas mitigation opportunities with immediate application to pastoral grazing for ruminants. *Int Congr Series, 1293*, 107-110.

Waghorn, G. C., y Hegarty, R. S. (2011). Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Anim Feed Sci Tech, 166-167*, 291-301.

Weimer, P. (1998). Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. *J Anim Sci*, 3114 – 3122.

Weisbjerg, M. R., y Soegaard K. (2008). Feeding value of legumes and grasses at different harvest times. In: Proceedings of 22nd General meeting of the European Grassland Federation. *Grassland Sci in Europe 13*, 513-515.

Wilson, J. R. (1993). *Organization of forage plant tissues. Forage cell Wall structure and digestibility*. Winsconsin, USA: Jung, H.G., Buxton, D.R., Hatfield R.D., and Ralph, J. (Eds.).

Wittenberg, K. M. (2008). <http://www.vido.org>. Obtenido de <http://www.vido.org/beefinonet/otherareas/pdf/CcbMethaneemmissionsWittenburg.pdf>

Wolin, M. J., y Miller, T. L. (2006). Control of rumen methanogenesis by inhibiting the growth and activity of methanogens with hydroxymethylglutaryl-SCoA inhibitors. *Int Congr Ser 1293*, 131-137.

Yan, T., Mayne, C., Gordon, F., Porter, M., Agnew, R., Patterson, D., . . . Kilpatrick, D. (2010). Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 93, 2630–2638.

Yang WZ, Benchaar C, Ametaj BN, Chaves AV, He ML, McAllister TA. Effects of garlic and juniper berry essential oils on ruminal fermentation and on the site and extent of digestion in lactating cows. *J Dairy Sci* 2007;(90):5671-5681.

Zamora, H. (2013). Alternativas para Mitigar Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Fincas Ganaderas Lecheras Andinas del Departamento de Nariño.