

**MECANISMOS DE NUTRICIÓN ANIMAL PARA REDUCIR EL EFECTO
INVERNADERO
MONOGRAFÍA**



PRESENTADO POR:

TOMÁS ANDRÉS ROJAS LÓPEZ

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA “UNAD”
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
“ECAPMA”
PROGRAMA ZOOTECNIA**

2019

**MECANISMOS DE NUTRICIÓN ANIMAL PARA REDUCIR EL EFECTO
INVERNADERO
MONOGRAFÍA**

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO DE ZOOTECNISTA

TOMÁS ANDRÉS ROJAS LÓPEZ

ASESORA: F. LILIANA VALENCIA TRUJILLO

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA “UNAD”
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
“ECAPMA”**

PROGRAMA ZOOTECNIA

2019

DEDICADO A:

A mi esposa e hijo por ser los ejes de mi carreta y por inspirarme a superarme y ser mejor cada día, hijo espero algún día poder ver también lograr todos tus metas, en la vida todo se puede y te lo demostraré yo estaré ahí para lo que necesites, gracias amor por tu ayuda y constante apoyo durante todo este tiempo, este logro que culmino es también tuyo, gracias por confiar en mi sin ti nada de esto hubiera sido posible, te amo con toda mi alma, los amo con toda mis fuerzas Dios los bendiga.

A mi madre quien me enseñó que en la vida nada es gratis y que sin lucha y sacrificio no se consiguen las cosas, me has inspirado por ser una guerrera, valiente y luchadora, me diste la vida yo te doy este triunfo.

TOMÁS ANDRÉS ROJAS LÓPEZ

AGRADECIMIENTOS

A Dios mil y mil gracias porque es esa fuerza invisible que me ha acompañado toda mi vida, cuando he tropezado y cuando he triunfado, ahí está y sé que estará cuando pueda cumplir más metas o si tengo que caer él me levantará, gracias por permitirme vivir este momento.

A la profesora Francis Liliana Valencia por su apoyo y asesoramiento en la realización de este trabajo, muchas gracias.

TOMÁS ANDRÉS ROJAS LÓPEZ

RESUMEN

La presente revisión bibliográfica explica los diferentes mecanismos de nutrición animal que existen para reducir la emisión de gases de efecto invernadero que son generados en gran medida por los rumiantes, este es un problema que aumenta de gran manera, y la nutrición animal como actividad antropogénica se convierte en una generadora de gases de efecto invernadero – GEI- considerándose a la ganadería como la principal fuente de emisiones de estos gases, principalmente de Metano (CH₄), en mayor proporción que otras actividades pecuarias. Con este fin , se realiza esta investigación tipo monografía, haciendo una revisión completa de los estudios que se han hecho sobre el tema, comparando los diferentes mecanismos de nutrición animal que existen para reducir el efecto invernadero.

Para obtener la información se utilizó la herramienta google académico y se hizo una profunda revisión bibliográfica de revistas científicas, artículos y páginas web de los últimos diez años, tomando como base para la búsqueda palabras claves que eran acordes a la investigación, efecto invernadero, nutrición animal mecanismos fueron algunas de las que se usaron para dicha labor,. La búsqueda identificó trabajos donde se compararon métodos como los Metabolitos Secundarios de las Plantas –MSP- que incluye los Taninos, Saponinas, aceites esenciales y Flavonoides, pasando por la Inclusión de leguminosas en sistemas silvopastoriles; Fibra versus Carbohidratos no fibrosos (CNF) en la dieta; uso de lípidos y mejoramiento de la calidad del forraje hasta llegar a otras alternativas de nutrición animal. Se consultaron bases de datos bibliográficas, obteniéndose artículos calificados como científicos con calidad aceptable para el tema del estudio.

Se concluye que el método más adecuado que contribuye considerablemente a la reducción del efecto invernadero es el de Inclusión de leguminosas en sistemas silvopastoriles principalmente con *Leucaena leucocephala* puesto que es la leguminosa que mejores ventajas nutricionales presenta por su contenido de taninos condensados (TC) inhibe la producción de metano con porcentajes de hasta un 15 % menos de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de producto y alrededor del 20 menos por kilogramo de MS consumida o degradada.

Palabras Claves: Efecto invernadero, nutrición animal, gases, mecanismos, alimentación, ganadería. Leguminosas, leucaena.

SUMMARY

This bibliographical review explains the different mechanisms of animal nutrition that exist to reduce the emission of greenhouse gases that are generated to a great extent by ruminants, this is a problem that increases greatly, and animal nutrition as an anthropogenic activity. It converts into a generator of greenhouse gases (GGE), considering livestock as the main source of emissions of these gases, mainly methane (CH₄), in greater proportion than other livestock activities. To this end, this monograph type research is carried out, making a complete review of the studies that have been done on the subject, comparing the different mechanisms of animal nutrition that exist to reduce the greenhouse effect.

A search protocol was proposed that allowed systematizing the process for the tracking of information through a bibliographic review of scientific journals, articles and web pages of the last ten years. The search identified works where they were compared from methods such as Secondary Metabolites of Plants -MSP- which includes Tannins, Saponins, essential oils and Flavonoids, including the inclusion of legumes in silvopastoral systems; Fiber versus non-fibrous carbohydrates (FNC) in the diet; Use of lipids and improve the quality of the forage until reaching other nutrition alternatives. Bibliographic databases were consulted, obtaining qualified articles as scientists with acceptable quality for the subject of the study.

It is concluded that the most suitable method that contributes significantly to the reduction of the greenhouse effect is the inclusion of legumes in silvopastoral systems mainly with *Leucaena leucocephala* since it is the legume that has the best nutritional advantages due to its content of condensed tannins (TC) inhibits the methane production with percentages of up to 15% less greenhouse gas emissions per unit of product and around 20 less per kilogram of DM consumed or degraded.

Key words: Greenhouse effect, animal nutrition, gases, mechanisms, food, livestock. Legumes, leucaena.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Formulación del problema	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. MARCO TEORICO	15
3.1 Efecto Invernadero	15
3.1.1. Gases de Efecto Invernadero.....	18
3.1.2. Efecto de los Gases de Efecto Invernadero.....	21
3.1.3. Huella de Carbono	24
3.1.4. La ganadería como generadora de Gases de Efecto Invernadero.....	25
3.1.4.1. Metanogénesis ruminal.....	30
3.1.4.2. Factores de la dieta que inciden en la metanogénesis ruminal.....	34
3.2. Alternativas nutricionales para mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero	37
3.2.1. Taninos.....	37
3.2.2. Saponinas.....	38
3.2.3. Aceites Esenciales.....	39
3.2.4. Flavonoides.....	41
3.2.5. Inclusión de leguminosas en sistemas silvopastoriles.....	42

3.2.6	Fibra versus Carbohidratos no fibrosos (CNF) en la dieta	45
3.2.7	Uso de lípidos	46
3.2.8	Otras Alternativas	48
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.	BIBLIOGRAFIA	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Composición de la atmósfera terrestre_____	15
Figura 2	Estructura térmica de la Tropósfera y Estratósfera_____	17
Figura 3	Contribución de las existencias bovinas de Sudamérica al total mundial _____	27

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1** Estimativos de las principales fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel global (millones de Ton./año)_____21
- Tabla 2** Participación porcentual de la agricultura y ganadería en las emisiones nacionales (% del total por país)_____26
- Tabla 3** Estrategias de manejo animal que ofrecen una reducción en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero distintas al CO₂_____36
- Tabla 4** Efectos de los flavonoides sobre la degradabilidad de la materia seca, el gas total, el metano y los parámetros de producción de gas_____41
- Tabla 5** Emisiones in vivo de Metano entérico en novillas alimentadas con dietas basadas en gramíneas (*C. plectostachyus* y *M. maximus*) y SSPi con *L. leucocephala*_____43

INTRODUCCION

“El efecto invernadero se conoce como la absorción que realiza la atmósfera de la radiación térmica emitida, por el sol, por la tierra y por los océanos, la cual es irradiada nuevamente hacia la tierra incrementando la temperatura de la superficie de la misma, proceso natural que permite que en la tierra exista vida”. (Mendoza, Jiménez. 2017). (pag 3).

Según Calvet 2015 (pag 8):

El ser humano con sus actividades de transporte, quema de fósiles y deforestación ha afectado gravemente este proceso, a través de la emisión de gases de efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero son uno de los principales contribuyentes al cambio climático que estamos experimentando en la actualidad, siendo el sector ganadero a través de la emisión de gases como el metano y uno menos conocido como la emisión de amoníaco, una fuente considerable de contaminación.

“El amoníaco o NH_3 , además de afectar gravemente la capa de ozono, está produciendo efectos perjudiciales en la salud, puesto que su aglomeración genera la irritación de vías respiratorias y ojos; también cuando este es transportado en el aire, ocasiona importantes problemas en los ecosistemas naturales y el medio ambiente.” (Calvet, 2015). (pag 9)

Se ha encontrado que una cantidad variable de los nutrientes consumidos por los animales no se digieren en su totalidad, por lo que muchos de estos finalizan en las excreciones de los mismos llegando a la capa de ozono en forma de gases. De ahí la pregunta: ¿Puede la nutrición animal contribuir a la reducción del efecto invernadero, mediante la disminución de las emisiones de gases a la atmósfera?

La nutrición animal es uno de los pilares fundamentales en cualquier sistema productivo, ya que allí empiezan a realizarse una serie de procesos que llevados a cabo adecuadamente, darán paso exitosamente a otras actividades que normalmente se realizan en los distintos tipos de sistemas (gestación, parto, manejo, bienestar,) pero es también cierto que a través de la nutrición animal se generan gases que contribuyen al incremento del efecto invernadero. Al respecto, la ganadería

es generadora de una alta cantidad de gases de efecto invernadero como el metano, dióxido de Carbono y óxido nitroso; según Calvet (2015) (pag 6), las emisiones más comunes son las de metano (CH_4), que resultan de los procesos de digestión-fermentación entérica, principalmente de los rumiantes y de descomposición de los estiércoles en condiciones anaeróbicas por ejemplo en las balsas de purines.

La metanogénesis es la producción de metano la cual es producida por un grupo de microorganismos, los cuales son anaerobios. Bonilla y Lemus (2012). (p 215-246). El metano se origina partir de dos rutas principales, la primera, es la acetoclástica en la cual los microorganismos crecen principalmente en su sustrato (acetato) y la segunda es la hidrogenotrófica en donde los microorganismos crecen en sustratos como hidrógeno (H) y dióxido de carbono (CO_2). (Corrales,. Antolinez,. Bohórquez, Corredor, 2015). (Pag 55-81)

En los últimos años se han realizado investigaciones concernientes a encontrar propuestas efectivas en reducción de las emisiones de metano a nivel animal. Estas propuestas de mitigación se pueden clasificar dentro de tres ramas de manipulación, que no son excluyentes uno del otro, como son, manipulación nutricional, manipulación animal y manipulación microbiana. Cabe indicar que cualquier método de reducción de las emisiones de CH_4 operaría vía la alteración del ecosistema ruminal y la tasa de metanogénesis. La relativa importancia de las tres formas de manipulación de la emisión de CH_4 dependerá del sistema de producción ganadero en donde se encuentren los animales.

Este trabajo recopila los distintos mecanismos que hay en la nutrición animal para reducir las emisiones de metano en la nutrición de rumiantes, sus ventajas y la posibilidad de que sean implementadas en muchos sistemas productivos del país y del mundo, generando así un impacto social, económico y ambiental positivo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación del problema

La problemática arriba señalada, determina la realización de la siguiente pregunta ¿Puede la alimentación animal contribuir a la reducción del efecto invernadero, mediante la disminución de la emisión de gases efecto invernadero en animales rumiantes?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Comparar los mecanismos de nutrición animal existentes para reducir las emisiones de gases con efecto invernadero.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los factores de la nutrición animal que inciden en la producción de gases de efecto invernadero.
- Identificar los efectos del forraje y otros piensos en la digestión animal con la producción de gases de efecto invernadero.
- Determinar la utilización y mejora de materias primas en la nutrición animal, indagando si mitiga en algo la problemática.

3. MARCO TEORICO

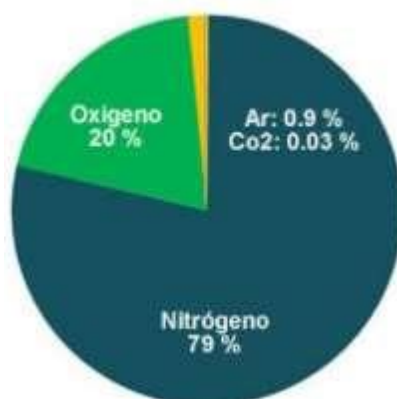
3.1 Efecto invernadero

“El efecto invernadero se conoce como la absorción que realiza la atmósfera de la radiación térmica emitida, por el sol, por la tierra y por los océanos, la cual es irradiada nuevamente hacia la tierra incrementando la temperatura de la superficie de la misma, proceso natural que permite que en la tierra exista vida”. (Mendoza, Jiménez. 2017). (pag 3).

Caballero, Lozano, Ortega, (2007) (pag 3) afirman que:

La atmósfera terrestre es una delgada capa de gases que rodea a la tierra, para hacernos una idea de las escalas, la atmósfera equivale a envolver con papel aluminio un balón de futbol, el balón representando el planeta, el grosor del papel aluminio al de la atmósfera. Esta delgada capa de gases que rodea al planeta, es fundamental ya que en ella están los gases por los cuales se da el desarrollo de gran parte de la vida en el planeta, también la atmósfera es un medio importante en el que se encuentra una gran parte de la vida de la Tierra.

La atmósfera químicamente está compuesta por solo dos gases, Nitrógeno (N), en un 79% y Oxígeno (O₂) en un 20%. El restante está formado por variados gases entre los que en mayor cantidad están el Argón (Ar) en un 0.9% y el dióxido de carbono (CO₂) en aproximadamente un 0.03% , tal como lo muestra la siguiente figura:



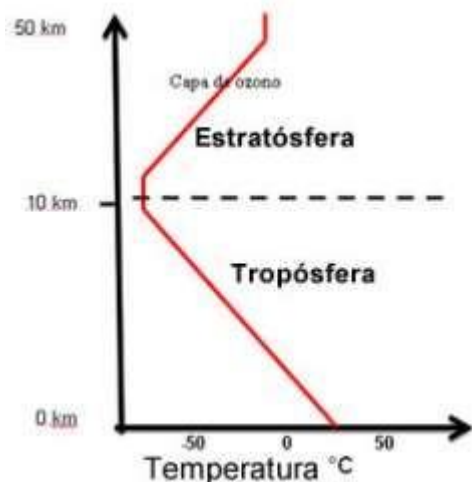
Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Composición de la atmósfera terrestre
Figura 1 Recuperado de http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf

Los gases de la atmósfera están adheridos a la atracción gravitacional del planeta, por ende la mayor concentración de gases se da cerca de la superficie terrestre, en los primeros 50 km, en donde se pueden distinguir dos capas (Caballero et al2007) (pag 4) La Tropósfera, que tiene unos 10 km más o menos de espesor y que tiene en promedio el 75% del total de la masa de la atmósfera y la Estratósfera, que tiene 50 km de altura y posee un 24% de la masa total de la atmósfera (Caballero et al2007) (pag 4) La Estratósfera es una capa fundamental porque allí se encuentra la capa de ozono que permite filtrar la luz ultravioleta.

Si se lanzara un termómetro en un globo aerostático para saber la temperatura de la Tropósfera a lo largo de los 10 km que la conforman, se vería un patrón muy especial, las temperaturas mayores (cerca de 20 °C), están justo en el punto de contacto de la atmósfera con la superficie sólida del planeta, y de ahí para arriba la temperatura del aire va bajando gradualmente hasta llegar a los 10 km, en donde se logra una temperatura de -60°C (Caballero et al 2007) (pag 4).

Esto podría parecer sorprendente si pensamos que la fuente de calor para la atmósfera es el Sol, así se esperaría, que las capas más cercanas a el fueran las más calientes. Pero no es así, pues los gases que conforman a la atmósfera no pueden absorber la luz solar, de alta energía -ondas de longitud corta, cargadas hacia la luz visible y ultravioleta-, dejando pasar gran parte hacia la superficie de la Tierra.

De toda la luz solar que llega al planeta, el 30% se refleja como espejo hacia el espacio, en la atmósfera se queda solo un 20% de la energía solar y el 50% restante se dirige hasta la superficie terrestre, calentándola (Caballero et al2007) (pag 5) ésta al calentarse transforma la luz solar en radiación de baja energía -ondas de longitud grande, cargadas hacia el infrarrojo- que refleja nuevamente hacia la atmósfera. Esa energía de onda amplia o infrarroja, se absorbe de manera muy eficiente por algunos de los gases atmosféricos, de manera particular el dióxido de Carbono (también el vapor de agua, el metano y otros), siendo ésta la principal fuente de calor para la atmósfera, de esto parte que la temperatura más alta de la Tropósfera sea exactamente el punto de contacto con la superficie de la tierra (Caballero et al2007) (pag 4).



Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Estructura térmica de la Tropósfera y Estratosfera. **Figura 2** Recuperado de http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf

A este proceso es lo que se llama efecto invernadero, propiciando que la luz solar sea mejor para calentar la atmósfera y subir su temperatura media. Si no ocurriera el efecto invernadero en nuestro planeta su atmósfera con 0.03% de CO₂, estaríamos siempre congelados, con una temperatura cercana a los -15°C (bajo cero) en lugar de los muy confortables 15 °C (sobre cero) que es la temperatura normal del planeta. Así, entonces, sabemos que como está compuesta la atmósfera afecta de manera fundamental al clima; porque entre más gases de efecto invernadero como el CO₂ se encuentren en la atmósfera terrestre, más elevada será la temperatura global de la tierra y mientras haya menos, más helado será el planeta (Caballero et al2007) (pag 5)

3.1.1. Gases de efecto invernadero

Metano

“El metano es el hidrocarburo saturado de cadena más corta que existe. Su fórmula química es CH_4 , en la que cada uno de los átomos de hidrógeno está unido a un átomo de carbono a través de un enlace covalente. Es una sustancia incolora y no polar, que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias y se caracteriza por su baja solubilidad en fase líquida y elevada persistencia en la atmósfera.” (Lourdes., Arteaga 2015). (parr 4)

El metano tiene varias fuentes emisoras, pero las principales según Lourdes., Arteaga 2015(parr 5) son:

Combustible fósil: El metano es hallado siempre donde se encuentre combustible fósil. Durante la extracción de petróleo, gas natural o carbono, el metano es expulsado. Además cuando se manipula, se procesa y se transporta (en camiones o a través de tuberías) el combustible fósil. Tan solo con comprar o usar combustible fósil del tipo carbono, gas natural o petróleo se aporta a las emisiones de metano. Los incendios en bosques tropicales y sabanas. Animales de cría: Algunos animales de granja principalmente rumiantes como vacas, ovejas y cabras emiten metano de dos formas diferentes, durante su proceso natural de digestión. Lo que se conoce como fermentación entérica se da en el estómago de estas especies animales y es la causa de emisiones de metano. La segunda forma es mediante la descomposición del estiércol del ganado. Cuando vacas, cerdos y gallinas son criados con fines comerciales, se producen grandes cantidades de estiércol todos los días, por lo tanto las granjas tienen procedimientos para su tratamiento. La forma en que se procesa el excremento es mediante sistemas de tratamiento de estiércol y tanques. El estiércol se descompone dentro de estos tanques que permanecen cerrados en condiciones anaeróbicas. Cuando el material orgánico se descompone de forma anaeróbica se dan grandes cantidades de metano. De manera natural: Pantanos Vertederos: el estiércol, los vertederos y la basura al aire libre poseen materia orgánica (Restos de comida, periódicos, hojas, pasto). La basura que llega se amontona sobre la que ya estaba y la materia orgánica de esa basura se descompone en condiciones anaeróbicas y así se crea metano en grandes cantidades.

Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO₂) es un compuesto inorgánico conformado por el vínculo equilibrado de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, preparados para formar una molécula triatómica lineal, es un gas inerte a condiciones normales y que en los procesos de combustión es producido como un subproducto . Al encontrarse gran cantidad dentro de un área cerrada, es peligroso porque puede desplazar al aire que en un principio llenaba esa área produciendo asfixia en un caso extremo. (Medina,, 2010).

La concentración del CO₂ en la atmósfera es muy grande y tiene sus fuentes de emisión tal como lo afirma Benito (2016) (pag 5) :

Desde la revolución industrial acciones humanas como la combustión de productos orgánicos (entre ellos los derivados del petróleo) y la deforestación han incrementado en gran medida el nivel de concentración de CO₂ en la atmósfera. Los 3 tipos de combustibles fósiles más utilizados son el carbón, el gas natural y el petróleo. Al producirse la combustión de los combustibles fósiles, el carbón contenido es devuelto casi por completo como CO₂. Son 3 los sectores que utilizan combustibles fósiles: El Sector energético, el transporte y la producción industrial. Se considera que 2/3 de las emisiones de CO₂ venían de la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) mientras un 1/3 proviene de la deforestación. Los porcentajes del total emitido se distribuyen así solo el 45% se mantiene en la atmósfera, el 30% es absorbido por los océanos y el restante 25% se va a la biosfera terrestre.

Según la OMM (2009)

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero antropogénico y ha contribuido al 63,5% del forzamiento radiativo total de la Tierra desde 1750. En la era preindustrial, sus niveles de concentración en la atmósfera se mantuvieron casi constantemente en 280 ppm. Durante el período que comprende los años 1979-1984 el CO₂ contribuyó al 56% del aumento del forzamiento radiativo esto a causa de los gases de efecto invernadero de larga duración. Desde entonces, ha ido creciendo su importancia y durante un período de cinco años, desde 2003 hasta 2008, el CO₂ ha sido responsable del 86% del incremento del forzamiento

radiativo total, lo que representa una cifra que es más de cuatro veces superior a la de la combinación de los otros gases de efecto invernadero. Desde 1750 el CO₂ ha aumentado en la atmósfera un 38%, esto debido en gran medida a las emisiones causadas por la quema de combustibles fósiles, la deforestación y los cambios de uso del suelo.

Óxido Nitroso

El óxido nitroso es el único óxido de nitrógeno (NO_x) que actúa como gas de efecto invernadero. Se estima que el óxido nitroso tendrá en un siglo un efecto de calentamiento global aproximadamente 300 veces superior al del dióxido de carbono. Al igual que el metano, el óxido nitroso se encuentra en concentraciones más pequeñas que el dióxido de carbono en la atmósfera, que en la actualidad son de 319 ppb, un 18% superior al periodo anterior a la Revolución Industrial. El óxido nitroso es emitido por las bacterias que se encuentran en el suelo. Acciones como la agricultura, el uso de fertilizantes con base de nitrógeno y el tratamiento de los residuos animales, aumentan la producción de este gas. Industrias, como la del nailon, y la quema de combustible en motores de combustión interna también son agentes que liberan óxido nitroso a la atmósfera. (Oceana., 2008).

Según Conciencia Eco (2012) (parr 22):

Además de ser el tercer gas de efecto invernadero en importancia, el óxido nitroso es también un principal contribuyente a la destrucción del **ozono atmosférico**. Este gas tiene una duración en la atmósfera que podría alcanzar más de **100 años y también es 300 veces más fuerte que el dióxido de carbono**. Cabe anotar que su presencia en la atmósfera es mucho menor por tanto, el aporte al calentamiento global es menor que el de CO₂ o metano. Sin embargo, según información proporcionada NOAA, el óxido nitroso se ha incrementado de 270 partes por mil millones en pre-industrial de 1750, a cerca de 320 partes por mil millones de hoy, con una tasa de crecimiento constante del 0,2% – 0,3% anual.

Según el IPCC AR4 2007, GT1 ” La base científica física del cambio climático “, el óxido Nitroso tiene a los suelos y océanos como sus dos fuentes naturales principales, que juntos representan más del 90% de los recursos naturales.”

3.1.2 Efecto de los gases de efecto invernadero

Según la Organización Meteorológica Mundial la concentración de gases de efecto invernadero aumenta a gran velocidad, y en los últimos 250 años ha logrado un nivel muy alto. Con un 86% el dióxido de carbono representa el total de las partículas aceleradoras del cambio climático, que provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles y de la deforestación. Otros de estos gases es el metano , cuyas emisiones provienen de actividades como la explotación de combustibles fósiles, el cultivo del arroz y los vertederos, entre otros; y el NO₂, que viene de diversos procesos industriales y el uso de fertilizantes (Martín., Brada., Castro., 2010). A nivel mundial se presentan emisiones de metano de distintas fuentes tanto naturales como antropogénicas tal como lo describe Johnson y Johnson (1995) citado en el artículo de Carmona, J., Bolívar, D., & Giraldo, L. (2005). en la siguiente tabla:

Tabla 1 *Estimativos de las principales fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel global (millones de Ton./año).* Johnson y Johnson (1995) citado en el artículo de Carmona, J., Bolívar, D., & Giraldo, L. (2005). Obtenido de www.redalyc.org/pdf/2950/295022952006.pdf

Natural		Energía-Desechos		Agricultura	
Pantanos	115	Gas y petróleo	50	Cultivos de Arroz	60
Océanos	15	Carbón mineral	40	Animales domésticos	80
Termitas	20	Carbón vegetal	10	Abonos orgánicos	10
Combustión	10	Rellenos sanitarios	30	Combustión	5
		Aguas residuales	25		
Total	160		155		155

Los efectos de estos gases son muy perjudiciales tal como lo afirma Martin.,Brada.,Castro., 2010 (pag 5):

El cambio climático trae consecuencias perjudiciales en los aspectos de la vida, principalmente en el desarrollo y supervivencia de las diferentes especies animales y vegetales que hay en la tierra. Por ejemplo , su hábitat se modifica drásticamente, haciendo que las funciones que normalmente se dan en primavera como germinación, reproducción y emigración se vean afectadas en su proceso debido al adelanto de las altas temperaturas y a los cambios en las lluvias volviéndose mucho más abundantes en algunas zonas (inundaciones) y más escasas en otros (sequías). Factores como el deshielo y derretimiento de los polos deja sin hábitats a animales de zonas frías, como también las bajas temperaturas en otros lugares y la ausencia de agua hace que algunas aves no puedan anidar. La reducción y confusión entre hábitats conlleva a que cada animal busque refugio en lugares que no son aptos para sus características, cruzándose muchas veces con enemigos que merman las fuentes de alimento haciendo disminuir la población. Las especies marinas se ven afectadas por el aumento de temperatura en el agua y el aumento de la acidificación en los océanos, peces desaparecen sin que puedan reproducirse, y estos a su vez son el alimento de otras especies que se quedan sin sustento (Martin et al 2010 (pag 5).Factores como la erosión, deforestación, contaminación, calentamiento global y muchos otros están llevando a muchas especies al borde de la extinción, pues se ven afectados sus fuentes de alimento, hábitats y desarrollo de la población (Martin et al 2010 (pag 5) Por ejemplo los osos polares que viven en el mar de Beaufort, en Alaska, que han empezado a practicar el canibalismo. Su causa es por el calentamiento global y el deshielo, que alejan a los osos de su comida habitual, las focas (Martin et al 2010 (pag 5):

La comunidad científica considera que el calentamiento global podría tener los siguientes efectos sobre la salud: Las enfermedades infecciosas como la malaria, la encefalitis o el dengue aumentarían sus alcances geográficos y estacionales (Martin et al 2010 (pag 5) Olas de calor más frecuentes y más fuertes, con efectos graves y mortales. Problemas respiratorios y mayores dificultades alérgicas por el aumento de la polución ambiental en las ciudades. Catástrofes naturales, como inundaciones, terremotos o Tornados que además del impacto inmediato para las víctimas directas que provocarían, también afectarían a las viviendas, suministros de agua potable y comida, etc (Martin et al 2010 (pag 5)Desplazamientos demográficos por catástrofes naturales, cosechas perdidas o falta de agua. Infraestructuras sanitarias destruidas en catástrofes sanitarias. Peleas por recursos naturales. Consecuencias directas del calor y el frío.

El progreso de las concentraciones de carbono en la atmósfera acidifica los océanos, lo que termina en afectación de la biodiversidad marina. La biodiversidad terrestre está determinada por la variabilidad del clima, como los fenómenos meteorológicos extremos (sequías o inundaciones) que afectan la productividad sostenible de los suelos; por ende, en la nutrición adecuada. (OMS,. 2012 citado en el artículo de Gonzales., Fernández., Gutiérrez 2013).

“Los cambios extremos en la temperatura ambiental, la precipitación, los vientos, el aumento en la frecuencia de eventos climatológicos extremos como inundaciones y sequías, tienen efectos en la distribución y en la incidencia de enfermedades”. (Portal del Instituto Nacional de Ecología,. 2012 citado en el artículo de Gonzales et al 2013).

Con el incremento de los desastres naturales (ciclones, inundaciones, sequías) es claro que en las personas sanas presenten estrés postraumático, depresión severa y aparición de nuevas enfermedades infecciosas graves, que las afectan. Así que el riesgo de mortalidad o de empeoramiento de los enfermos mentales aumenta por lo anteriormente planteado, también por los medicamentos psicotrópicos, la existencia de enfermedades respiratorias o el abuso de sustancias, donde por un aumento de la temperatura se puede presentar una conducta suicida. (Martínez,. Y., 2012 citado en el artículo de Gonzales et al 2013).

3.1.3 Huella de carbono

“La huella de carbono es la herramienta de cálculo más simple que existe, para medir el impacto o la marca que deja una actividad sobre nuestro planeta, producto de sus emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero.” (Molina, Astudillo, 2012)

Molina y Astudillo 2012 también afirman que:

La huella de carbono es una herramienta que permite calcular todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de un producto, servicio, de esta manera se pueden encontrar eficiencias internas y externas que sirvan para mermar emisiones y mejorar sus procesos. El análisis que a través de la huella de carbono se hace comprende todas las actividades del ciclo de vida de un producto y/o servicio (desde que se toman las materias primas hasta su proceso como residuo) dejando que los consumidores decidan sobre qué productos comprar en base al impacto causado como resultado de los procesos por los que ha pasado.

La huella de carbono es un indicador ambiental que sirve para medir la cantidad de GEI que se emiten a la atmósfera, permitiendo conocer el impacto de las actividades del ser humano en el ambiente. Además, ayuda a ampliar la conciencia de conservación de recursos naturales, para alcanzar el desarrollo sustentable (Sabaliauskaitė y Kliaugaitė, 2014 citado en el artículo de Torres et al 2017). (pag 1-10)

Cada día, son más las empresas, administraciones públicas y organizaciones gubernamentales comprometidas con el cuidado del medio ambiente, proponiéndose mejorar su relación con el mismo y actuar frente al cambio climático (Jumilla, 2012 citado en el artículo de Torres et al 2017). Para ellos, medir la huella de carbono es la mejor herramienta técnica ofrecida y un buen comienzo para implementar política medioambiental en las empresas, cuyo objetivo es disminuir sus emisiones” (Vidal, 2010 citado en el artículo de Torres et al 2017). (1-10)

“La HdC sólo ha surgido en el dominio público en los últimos años como una descripción bastante general de la emisión de gases de efecto invernadero totales asociados con la actividad humana. La literatura reconoce la ausencia de una clara definición que sea comúnmente aceptada” (Wiedmann y Minx, 2008 citado en el artículo de Espíndola., Valderrama 2012). (pag 163-176)

Sin embargo, se encuentran antecedentes de marcos metodológicos utilizados para cálculo de la HdC desde los años 70 del siglo pasado (Daly, 1968; Leontief, 1970; Leontief y Ford, 1971; Victor, 1972 citado en el artículo de Espíndola., Valderrama 2012).). Desde fines de los años 1980 se encuentran en la literatura aplicaciones de la HdC, aunque bajo nombres diferentes “(Minx et al., 2010 citado en el artículo de Espíndola., Valderrama 2012).). “Desde entonces, el debate sobre la Huella del Carbono no sólo alcanza a su origen sino también al enfoque metodológico empleado en su análisis. En la academia el tema ha experimentado también un notable desarrollo. Desde unas pocas publicaciones a fines del siglo pasado la literatura relacionada con la HdC ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos 3 años” (Valderrama et al., 2011 citado en el artículo de Espíndola., Valderrama 2012). (pag163-176)

3.1.4. La ganadería como generadora de Gases de Efecto Invernadero

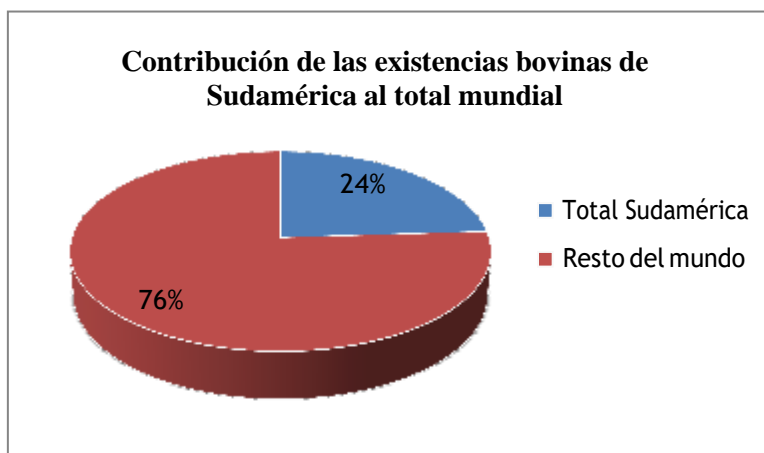
Las emisiones de GEI del sector ganadero a nivel global ocurren bajo las formas de metano (44%), óxido nitroso (29%) y dióxido de carbono (27%). El metano, con 21 veces mayor potencial de calentamiento global que el CO₂ (IPCC, 2007), es producido principalmente por la fermentación entérica, siendo las arqueas (microorganismos procariotas que habitan en el tracto digestivo de los herbívoros rumiantes), las responsables por la formación de este gas. El metano es producido en mayor cantidad cuando la dieta es abundante en carbohidratos estructurales (alimentos fibrosos, como los pastos) pues propician la formación de acetato, que provee grupos metilo como sustratos para la formación del metano. El óxido nitroso, con 310 veces mayor potencial de calentamiento global que el CO₂ (IPCC, 2007), es generado por microorganismos durante los procesos de nitrificación y desnitrificación (de compuestos nitrogenados) en los suelos de pastizales y pasturas. Estos procesos son potenciados cuando se incorporan fuentes nitrogenadas al suelo. En el caso de la ganadería, esto ocurre bajo la forma de fertilizantes para

pasturas, o como orina y excretas durante el pastoreo del ganado y al abonar cultivos forrajeros. (Haro, Gómez, 2018). En los países de la zona andina que son agropecuarios en gran medida, se presentan emisiones de CO₂, tal como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 2 . Participación porcentual de la agricultura y ganadería en las emisiones nacionales (% del total por país) Haro., R, J. Gómez., B, C. (2018). *fontagro.org*. Obtenido de fontagro.org: www.fontagro.org/wp-content/uploads/2017/04/documento-mitigacion-alta.pdf

Criterio	Unidad	Bolivia	Colombia	Ecuador	Perú
Participación de la Agricultura en Emisiones Nacionales	%	16.5	16.3	18.0	21.0
	Gg CO ₂ -eq	14.063	66.883	14.516	26.051
Participación de la Ganadería en Emisiones Nacionales	%	15.5	11.0	8.5	10.2
	Gg CO ₂ -eq	13.185	24.230	6.815	12.669
Participación de la Fermentación Entérica en las Emisiones Nacionales	%	14.0	9.9	8.0	8.8
	Gg CO ₂ -eq	11.958	22.158	6.433	11.005

A través de la fermentación del alimento en el rúmen los GEI que son emitidos por la ganadería son (CH₄) y por las deyecciones de orina (N₂O) y materia fecal (CH₄). Cabe anotar que el CH₄ y el N₂O son 23 y 350 veces respectivamente más potentes que el CO₂. Cerca de 1350 millones de cabezas, de ganado promedio hay en el mundo distribuyéndose: el 22,65% en Asia, 21,86% en suramérica, 21,53% en Norteamérica, 18,12% en Europa, 7,40% en África 4,71% en Oceanía y el 3,65% en Centroamérica y el Caribe. Suramérica contiene, en su territorio, unos 312 millones de bovinos, siendo Brasil y Argentina quienes tienen la mayor cantidad .(Sector Agropecuario, 2015).



Agropecuario, S. (2015) Contribución de las existencias bovinas de Sudamérica al total mundial **Figura 3** Recuperado de <http://www.sectoragropecuario.com/el-cambio-climatico-y-la-ganaderia-como-fuente-de-gases-de-efecto-invernadero/>

Sector Agropecuario 2015 (parr 6) afirma también:

Se considera a los rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos, búfalos, camélidos) como los principales emisores de metano. Específicamente los rumiantes producen metano como un proceso digestivo normal. Durante la digestión, los microorganismos que se encuentran en el aparato digestivo fermentan el alimento tomado por el animal. Este proceso, da como resultado metano como un subproducto, que llega al exterior a través del exhalado o eructado del animal. Es importante saber que la producción de metano en los bovinos promedio representa entre 5,5 y 6,5% del total de la energía bruta consumida en la dieta; pero, valores entre 2 y 12% se reportan en condiciones de pastoreo. Cuando la alimentación de los rumiantes es con pastos de baja calidad nutritiva, la producción de metano puede representar entre el 15 y el 18% de la energía bruta. El manejo adecuado de la dieta de los rumiantes se toma como una variante viable para mermar la producción de metano y para reducir las pérdidas energéticas en el animal. Sabiendo esto, los sistemas de producción ganaderos se ven enfrentados a nuevos retos de naturaleza local y mundial. La población está creciendo velozmente y esto está conllevando al incremento de la demanda de leche, carne y productos procesados de origen animal. Se cree que para el año 2050 y con una población de casi 9 billones de habitantes a nivel mundial, la producción de leche y carne deberá ser duplicada para alimentar tal cantidad de personas.

En la mayoría de países de América del Sur en general y de Argentina principalmente, la producción ganadera representa un sector que genera recursos para alimentar a la población y también como sector exportador. Esto explica por qué la gran mayoría de emisiones sea de origen agropecuario. Las emisiones de GEI, causantes del cambio climático, se inventorean y se presentan cada año al Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) por los países que han confirmado el Protocolo de Kyoto.

Según Becoña 2011: En 2006, el Dr. Henning Steinfeld, consultor de FAO, hizo un informe que llamó la atención a nivel mundial, acerca del efecto de la producción animal sobre el medio ambiente. El informe llamado “Livestock’s long shadow” (la larga sombra del ganado) se señala a la producción animal, principalmente a los rumiantes, como uno de los principales responsables de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global. En la información que se utilizó para la realización de dicho informe, con algo de controversia, se considera a la producción animal responsable del 18 % de las emisiones de GEI a nivel mundial por acción humana. Al analizar este resultado, notamos que el gas CO₂, que tiene más incidencia sobre el efecto invernadero, aporta a ese valor tan solo un 9 % de las emisiones globales de origen humano del sector. Al metano (CH₄), gas que se produce primordialmente por la digestión ruminal, se le atribuye el 37% de las emisiones y al óxido nítrico (N₂O), principalmente producido por las heces de los animales, el 65% de emisiones. Es importante aclarar que estos dos gases por la gran facultad de absorción de la radiación infrarroja y tenacidad, pueden llegar a extremos de 10 años de constancia en la atmósfera como es el caso del metano, y hasta 120 años el óxido nítrico (IPCC, 2007). Entre otras causas, este patrón define que el potencial de calentamiento global de estos gases sea de 23 y 296 veces la del dióxido de carbono respectivamente. Es así, que para calcular las emisiones, se toma como referencia de base las correspondientes expresado en toneladas de CO₂-equivalente a CO₂, multiplicando así, las emisiones de metano y óxido nítrico, por los factores mencionados y se expresa el potencial de calentamiento de los gases como CO₂ equivalentes (CO₂-e). Así es posible, equiparar emisiones entre distintos procesos sea desde producción de materias primas, uso de ingredientes, hasta diversas vías de transportes.

En total, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a las cadenas productivas de la ganadería ascienden a 7,1 gigatoneladas (Gt) de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) por año, lo que supone el 14,5 por ciento de todas las emisiones de GEI de origen humano. Las principales fuentes de emisión son: la producción y procesamiento de alimentos (45 por ciento del total), las emisiones de GEI durante la digestión de las vacas (39 por ciento), y la descomposición del estiércol (10 por ciento). El resto se debe al procesado y el transporte de productos de origen animal. Para realizar estos cálculos, la FAO realizó un análisis detallado de las emisiones de GEI en múltiples etapas de diversas cadenas productivas pecuarias, incluyendo la producción y transporte de piensos para animales, el uso de energía en las explotaciones agropecuarias, las emisiones procedentes de la digestión animal y la descomposición del estiércol, así como el transporte, refrigeración y envasado de productos de origen animal posteriores al sacrificio (FAO, 2013) (parr 5).

La ganadería en Colombia

“Según el ICA, (2017) la población bovina en el país en 2017 es de 23.5 millones de cabezas, distribuidas en 514 mil 794 predios. Los departamentos con mayor hato bovino son: Antioquia (11,75 %), Córdoba (8,74 %), Casanare (7,93 %), Meta (7,38 %), Caquetá (6,33 %), Santander (6,14 %) Cesar (5,56 %), Magdalena (5,13 %) y Cundinamarca (4,88 %). Estos 8 departamentos agrupan el 63,84 % de la población total nacional. En 2016 el inventario bovino sumaba 22 millones 689 mil 420 animales, distribuidos en 494 mil 402 predios. Lo anterior indica que el hato bovino colombiano aumentó en 785 mil 602 animales, es decir, 3,5 %.”

Problemática Ambiental Ganadera en Colombia

En Colombia la ganadería ha sido un factor determinante en el efecto invernadero, Carmona CJ, Bolívar MD, Giraldo AL (2005) citado en el artículo de Bonilla y Lemus (2012) expresan que en nuestro país el promedio de emisiones de metano (CH₄) de la actividad pecuaria para el 2010 sería el 70 % del total de los GEI, siendo un 95 % las emisiones de la alimentación entérica del ganado productor de carne y de leche. Siendo Colombia un país ganadero por excelencia, es claro que influye en gran medida con la problemática, más aún si se considera que a lo largo y

ancho del país hay gran cantidad de pequeños productores los cuales no cuentan con el conocimiento ni con los recursos adecuados para implementar programas de nutrición animal saludables, por ende, el problema se acrecienta más.

3.1.4.1 Metanogénesis ruminal

El mantenimiento de la fermentación ruminal depende de la remoción de los productos generados durante la degradación de los alimentos. Los ácidos grasos volátiles (AGV's) son rápidamente absorbidos por el animal hospedero y utilizados como fuente de energía, mientras otros productos como el hidrógeno (H_2) y el dióxido de carbono (CO_2) son utilizados en el rumen por microorganismos pertenecientes al dominio *Archaea* para producir metano (CH_4), el cual es eructado por el animal (Ramírez, Ochoa, Noguera 2014). La actividad metanogénica genera la energía necesaria para la supervivencia de los metanógenos y mantiene una presión baja de H_2 , creando un ambiente favorable para la oxidación de co-factores reducidos generados durante la glucólisis (Ramírez, Ochoa, Noguera 2014). A pesar de su importancia para la degradación ruminal de los alimentos, la metanogénesis representa pérdida de la energía consumida por el rumiante y su remoción hacia la atmosfera contribuye al incremento en el total de gases de efecto invernadero (GEI) (Ramírez, Ochoa, Noguera 2014) (p 307-323).

Con respecto al metano, cabe destacar que es un producto que se genera en ambientes con ausencia de aire a partir de la degradación de los alimentos, ubicándose la producción en el rumen, siendo también identificado en zonas intestinales, igual que en los animales monogástricos. Es importante saber que el aporte al total emitido es cambiante, dependiendo esto del animal mas no del lugar en dónde se produce (Castillo, Abuelo, Hernández, 2016). Si bien es sabido que de las toneladas métricas que producen los bovinos al año (más de 74), el 88% se origina en el rumen y el resto será producido a nivel intestinal, no se pueden fijar unas cifras exactas, y solo son aproximadas, pues su aporte al total emitido es cambiante, y esto depende del animal y no del lugar en dónde es producido (Castillo et al 2016). Una vez producido, el metano generado en el rumen será emitido al medio ambiente por medio del aire expirado por la boca, y el metano intestinal también a través de las heces. Teniendo presente que tanto el metano producido por el animal y el que es eliminado debe ser considerado como una pérdida neta de energía del animal, mermando así el rendimiento productivo, se debería reducir su presencia, por

razones medioambientales, por condiciones económicas, con el fin de rentabilizar las producciones. (Castillo, Abuelo, Hernández, 2016). (parr 16- 17)

Castillo et al 2016 (parr 16-17) también confirman:

El 13% del metano que genera el animal, es producido por un conjunto de microorganismos anaeróbicos llamados metanógenos. Estos microorganismos pertenecen al género *Archaea* y al phylum *Euryarchaeota*, mucho de los cuales viven en la superficie de otros microorganismos los protozoos ciliados del rumen, estos son los responsables de la producción del 13% de metano que crea el animal. Estos microorganismos se distinguen de las bacterias en que en vez de tener peptidoglucanos en la pared celular presentan pseudomurina en los géneros *Methanobrevibacter* y *Methanobacterium*, heteropolisacáridos en géneros *Methanosarcina* y proteínas en el género *Methanomicrobium*. Por ende pues es un conjunto de organismos que presentan dos coenzimas, el F₄₂₀ que está en las enzimas Hidrogenasa y Formato deshidrogenasa) y el M (excepto para *Methanobrevibacter ruminantium* el cual procede de una fuente externa), que al metilar el ácido 2-mercaptoethanesulfónico estos producirán metano, por poner algunos ejemplos. Hay una relación directa con la producción de metano no sólo con el número de carbohidratos degradados en el rumen, también con la relación entre los distintos ácidos grasos producidos, porque esto último determina la producción de hidrógenos, y por ende de metano.

En cuanto al tipo de metanógenos que encontramos en el rumen, desde un punto de vista práctico, como ejemplos, *Methanobrevibacter ruminantium* o *Methanomicrobium mobile*, no deberíamos olvidar que el tipo y la composición de la alimentación (concentrado o forraje), e incluso la localización, determinarán la flora presente en los entornos anaerobios adecuados, ya sea el rumen o el intestino, y por tanto, la producción en términos absolutos del mismo. La producción de metano por unidad de carne producida es menor en animales de régimen intensivo, que los animales que crecen por pastoreo. De hecho, y sorprendentemente, en terneros de cebo, la producción de metano por unidad de carne producida es menor en animales de régimen intensivo, que si lo comparamos a animales que crecen en pastoreo Esto se explica porque los animales que pastorean viven

más tiempo, gastan más energía en producir una unidad de carne, y pierden más energía como metano, con menos producto final. El factor directo, que es la producción de Kg metano/año, aunque sea mayor en los animales de cebo intensivo, su contribución a la contaminación total será menor.

Según Aguiar y Rojas 2014 (pag 72-90):

El metano se define como un gas incoloro e inodoro que se genera en el rumen de las vacas con un 87% y en una proporción menor en el intestino grueso con un 17%; representando el 52% del total de gases de efecto invernadero (GEI) originados durante el proceso y producción de leche, (FAO 2010 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014). Es importante que este gas se tenga presente, porque además de que es 20 veces más fuerte que el dióxido de carbono, también perjudica la eficiencia productiva del animal, pues si el 6% del consumo de energía bruta, que se esfuma cuando se genera metano, se pudiera canalizar en el aumento de peso o la producción de leche, mejoraría la eficiencia en la producción (Howden y Reyenga, 1999 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014). La producción de metano entérico está supeditada a la fermentación ruminal y a los indicativos productivos del animal, por ejemplo producción de leche y porcentaje de grasa y/o proteína, peso , ganancia de peso, además las cuantías de alimento y de la microflora ruminal que hay en el animal Dämmgen, Rosemann, Haenel y Hutchinson 2012 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 72-90).

Las producciones de metano tienen modificaciones cuando hay lactación, llegando a un tope al instante del pico de la lactación, con niveles de 400g/día, y siguiendo así hasta cuando se acaba esta (De Haas, Windig, Calus, Dijkstra, De Haan, Bannink y Veerkamp, 2011 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 72-90)

Para complementar este tema Velasco, Ramírez, Sánchez 2018 (pag 3-8) comentan:

El rumen, órgano pregástrico de los rumiantes, es un ecosistema en el cual distintos microorganismos incluyendo bacterias, arqueas, hongos y protozoarios, establecieron una simbiosis que permite la degradación de forrajes bajo condiciones anaeróbicas. Estos microorganismos juegan un papel primordial en la salud y nutrición de rumiantes, así como también en la producción de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄). El microambiente en el rumen es anaeróbico, tiene una velocidad de paso de los alimentos relativamente rápida y disponibilidad de CO₂ e hidrógeno (H₂) derivados de la fermentación de los forrajes. Lo anterior favorece el establecimiento de una comunidad de arqueas, la mayoría metanogénicas, distinta a la de otros ambientes anóxicos. Estas arqueas son hidrogenotróficas a pesar de las elevadas concentraciones de acetato en el rumen, lo cual favorecería al grupo de arqueas acetoclásticas (Patra et al., 2017 citado en el artículo de Velasco, Ramírez, Sánchez 2018) (pag 3-8). Dada la naturaleza digestiva de los rumiantes, estos animales han evolucionado para obtener nutrientes a partir de substratos lignocelulolíticos, particularmente butirato, propionato y acetato, los cuales son los productos de degradación del tejido vegetal por acción del consorcio microbiano que habita en el rumen. Esta microbiota constituida por bacterias, arqueas, hongos y protozoarios se desarrolla en un ambiente anóxico y aunque benéfica para el animal, produce una de las mayores cantidades de metano de la actividad pecuaria.

3.1.4.2 Factores de la dieta que inciden en la metanogénesis ruminal

Contenido de fibra

La fibra se encuentra como un componente de las paredes celulares en los forrajes, y está representada por la celulosa, la hemicelulosa, la lignina, y la fibra soluble (pectinas, fructosanos, galactanos, y glucanos). Se considera como un carbohidrato no digerible por enzimas animales, pero puede ser utilizado potencialmente por los microorganismos ruminales. A la eficacia de la fibra para estimular la motilidad ruminal, la masticación, la salivación y la rumia se le llama fibra detergente neutro efectiva (FDNe), y depende directamente del tamaño de partícula del alimento que la contiene (Garza, 2017) Entre más grandes sean esas partículas más efectivas serán para estimular al epitelio ruminal, pero cuando el mismo forraje se muele a menos de un cuarto de pulgada, la efectividad de la fibra disminuye marcadamente. Sin embargo, el porcentaje de FDNe también está en función del tipo de forraje, hay alimentos como la semilla de algodón, o la cascarilla de algodón que tienen un alto contenido de fibra efectiva; en contraste, la cascarilla de soja a pesar de su alto contenido de FDN, tiene un valor de FDNe bajo debido al tamaño de su partícula, ello hace que no tenga una buena función para estimular la rumia. (Garza, 2017).

La fermentación entérica hace referencia al metano que se genera durante la digestión de los rumiantes y monogástricos, aunque en éstos los niveles son mucho menores. La calidad de la alimentación se relaciona muy estrechamente con las emisiones entéricas. Por ejemplo, dietas con una proporción elevada de ingredientes con alto contenido en fibra se relacionan con mayores emisiones entéricas. (Fao, 2015).

Contenido de carbohidratos no estructurales

Los carbohidratos no-fibrosos (almidones y azúcares) fermentan rápidamente y completamente en el rumen. El contenido de carbohidratos no-fibrosos incrementa la energía en la dieta, y así mejora el suministro de energía y determina la cantidad de proteína bacteriana producida en el rumen. Sin embargo, los carbohidratos no-fibrosos no estimulan la rumia o la producción de saliva y cuando se encuentran en exceso pueden inhibir la fermentación de fibra. Durante la fermentación ruminal, la población de

microorganismos, principalmente bacterias, fermenta los carbohidratos para producir energía, gases (metano y dióxido de carbono), calor y los ácidos grasos volátiles (AGV) acético (vinagre), propiónico y butírico que conforman la mayoría (>95%) de los ácidos producidos en el rumen. También la fermentación de aminoácidos generados en el rumen produce ácidos, llamados iso-ácidos. La energía y los iso-ácidos producidos durante la fermentación son utilizados por las bacterias para crecer (es decir principalmente para sintetizar proteína). El CO₂ y CH₄ son eructados, y la energía todavía presente en el CH₄ se pierde. Si no es necesario para el mantenimiento de la temperatura del cuerpo, el calor producido durante fermentación se disipa. (uco, 2008).

Contenido de taninos

Los taninos constituyen un grupo muy heterogéneo de compuestos fenólicos, solubles en agua, sintetizados durante el metabolismo secundario de las plantas (Waghorn, 2008; Luciano *et al.*, 2009; Pasinato, 2010 citados en el artículo de Jenko *et al.* 2018)), presentes en una gran variedad de especies consumidas por los rumiantes. Basándose en su estructura química, han sido divididos en dos grandes grupos: condensados (tc) e hidrolizables (th) (Buccioni *et al.*, 2011 citados en el artículo de Jenko *et al.* 2018)). La heterogeneidad química y estructural de estos compuestos puede explicar las diferencias en su habilidad para unirse a otras moléculas y, por lo tanto, en su efecto sobre la utilización de la dieta por los rumiantes (Frutos *et al.*, 2004^a citados en el artículo de Jenko *et al.* 2018).

Los efectos de los taninos sobre los rumiantes varían, en primer lugar, en función del tipo de tanino de que se trate y del nivel del mismo en el alimento y, en segundo lugar, dependiendo de la especie animal que los consuma. La ingestión de taninos puede determinar cambios tanto en la producción como en la composición de la saliva, de tal forma que estos cambios son considerados como mecanismos de adaptación, desarrollados a lo largo del proceso evolutivo, al consumo de alimentos que contienen taninos. (Salem, Gonzalez, López, Ranilla, Rojo, Camacho, Avilés, 2009).

Presentación del forraje – peletizado o molido

Un animal joven con un peso menor de 250 kg p.v. normalmente mastica más que un animal adulto que tiene un mayor peso, esto quiere decir que si se le da un grano entero a un animal joven hay grandes posibilidades de que la mayoría de ellos sean masticados, resultando esto en un mejor aprovechamiento (Mayer, 2013). Además, en el ternero el orificio retículo-ruminal, posee un tamaño parecido a un grano de maíz chato grande. Por el contrario, si se tiene otro tipo de grano de cereal, por ejemplo la cebada, el sorgo, la avena o trigo, el análisis es distinto pues en estos casos, así sea con terneros, a causa de un tamaño mucho menor de los granos estos tienen una gran tasa de pasaje por el orificio retículo-ruminal finalizando “enteros” en las heces con pérdidas superiores al 35%. Prosiguiendo con el grano de maíz, cuando el peso del animal es mayor a los 250-300 kg de PV, el orificio ya mencionado posee un tamaño mayor por el cual pasa sin modificarse un grano de maíz chato grande. Por eso la importancia de molerlos o partirlos para prevenir grandes pérdidas en heces mayores a 25%. Pero, cuando el grano de maíz es de tamaño pequeño, sea porque viene de un cultivo que se afectó por sequía o porqué es punta de espiga siendo aún grano de maíz actúan como si fuera de sorgo, trigo o cebada. Por ende, son iguales las recomendaciones para estos otros granos. En resumen, siendo la misma cantidad de grano entero posee distinto aprovechamiento, dependiendo con qué otro alimento es dado, incrementando el aprovechamiento al mismo tiempo que aumentan en la dieta los niveles de fibra. (Mayer, 2013).

3.2 Alternativas nutricionales para mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Tabla 3 Estrategias de manejo animal que ofrecen una reducción en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero distintas al CO₂ (Hristov et al., 2013). Obtenido de www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/.../112/100/

Categoría	Especie	Efecto en Productividad	Potencial mitigación CH ₄	Potencial mitigación N ₂ O	Recomendado
Promotores de crecimiento	Bovinos carne y cerdos	Incremento	Medio	Bajo	Sí; depende de la regulación sanitaria para uso
Selección genética para consumo de alimento residual	Bovinos carne, leche y cerdos	No	Bajo	Inconsistente	Sí; requiere de mayor investigación
Mejora en Salud animal	Todas	Incremento	Bajo	Bajo	Si
Disminución de mortalidad animal	Todas	Incremento	Bajo	Bajo	Si
Reducción en días de alimentación y edad de sacrificio	Todas	No	Medio	Medio	Si

3.2.1 Taninos

El metano (CH₄) es un gas subproducto que se origina de la degradación de los carbohidratos que hay en el rumen. La agricultura aporta el 47% de las emisiones antropogénicas (por acción del ser humano) de metano, con los rumiantes aportando el 39% de las emisiones de metano entérico. Este gas de efecto invernadero con un alto potencial de calentamiento global es 25 veces mayor que el dióxido de carbono y significa una pérdida de hasta el 12% del total de energía consumida por los rumiantes. Descubrimientos sugieren que los taninos condensados merman la cantidad de protozoos hasta un 79%, diezmando también los metanógenos del rumen

hasta un 33%. Los taninos condensados se mezclan a proteínas y polisacáridos formando así complejos, mermando así la digestibilidad de la materia seca y orgánica y la producción de H₂ metabólico, el cual es utilizado por metanógenos para la reducción del dióxido de Carbono a metano. Estudios in vitro plantean que los taninos condensados pueden llegar a reducir el CH₄ en el rumen de los rumiantes hasta un 63%, y en los estudios in vivo se han observado reducciones hasta un 58% en la producción de CH₄. También, la inclusión de taninos condensados en la alimentación de rumiantes tiene el potencial de incrementar la ganancia de peso en un 26%, esto con relación al aumento en el flujo de proteína de baja degradación ruminal al intestino delgado o la reducción de la energía que se pierde en forma de metano en el rumen. Entonces se concluye que el incorporar taninos condensados en la alimentación de los rumiantes en concentración de 3-6% de materia seca permite mermar las emisiones de CH₄ además de que mejora la ganancia de peso y obtención de leche de los animales productivos. (Piñeiro-Vásquez et al 2015).

Los taninos forman parte de los MSP, y son sustancias complejas de compuestos poli fenólicos, dependiendo de su estructura química y peso molecular, tienen propiedades bacteriostáticas y bactericidas y alteran la fermentación ruminal mediante inactivación enzimática; formando complejos con las proteínas, aminoácidos y polisacáridos. Pueden presentar efectos benéficos o negativos dependiendo de su concentración en la dieta, la naturaleza de su origen, la especie animal, estado fisiológico del animal y la composición de la dieta (Makkar, 2003 citado en el artículo de alayón-Gamboa et al 2018). (pag 9-15) .En dietas a base de pasto (*Pennisetum purpureum*) suplementadas con 30 % de extractos de taninos condensados (TC) de follajes *Acacia cornigera*, *Albizia lebeekoides* y *Leucaena leucocephala*, se reducen significativamente la metanogénesis y la población de *Ruminococcus albus*; asimismo, aumenta la elaboración de propionato y la energía es utilizada más eficientemente (Rodriguez et al., 2011 citado en el artículo alayón-Gamboa et al 2018). (pag 9-15)

3.2.2 Saponinas

Otro compuesto de los MSP que se ha estudiado con creciente interés son las saponinas. Las evidencias de sus efectos en la inhibición de CH₄ entérico son muy variadas. Se ven influenciadas por la dosis utilizada, su origen y composición química, y la dieta en la que se encuentra como complemento. La evidencia reciente sugiere que su incorporación a las dietas disminuyen la producción de CH₄, debido a una reducción en el número de protozoarios y/o una disminución en la actividad de las arqueas metanógenas (Bhatta, 2015 citado en el artículo alayón-Gamboa et al 2018). (pag 9-15). Pero existen investigaciones que afirman a pesar de que se puede reducir en 20 % la producción de CH₄ al usar saponinas de *Sapindus mukorossi* o *S. saponaria* (Agarwal et al., 2006; Hess et al., 2004 citado en el artículo alayón-Gamboa et al 2018), no se reduce el número de protozoarios y de metanógenas; similar respuesta observaron (Albores-Moreno et al. 2017 citado en el artículo alayón-Gamboa et al 2018). al incorporar dosis crecientes de saponinas de *Enterolobium cyclocarpum*. Se sospecha que la falta de efecto en la defaunación ruminal se debe a la adaptación (destoxificación) que desarrollan los protozoarios ante una constante exposición a estos compuestos. Por otro lado, la actividad de inhibición que ejercen las saponinas sobre la metanogénesis también depende de la composición de la dieta. Así se ha encontrado que las saponinas de *Sesbania sesban* ejercen un efecto de inhibición en la producción de CH₄, por una reducción en la población de arqueas (78 %). Este efecto es más pronunciado cuando se adicionan a dietas a base de concentrados que con dietas a base de forrajes (Goel et al., 2008 citado en el artículo alayón-Gamboa et al 2018). (pag 9-15) .Por ello es probable que, independiente a la concentración, la incorporación de saponinas en dietas a base de pastos de baja calidad no presente respuestas de inhibición en la producción de CH₄; tal y como lo reporta (Canul et al. 2014 citado en el artículo alayón-Gamboa et al 2018). (pag) 9-15.al suplementar con *Yucca schidigera* (hasta 6 g de saponina por día) dietas a base de *P. purpureum* Las evidencias concluyentes de que la población microbiana del rumen es capaz de adaptarse a las saponinas al someterse a períodos prolongados de exposición, representa el reto más grande para su aplicación práctica a nivel de campo.

3.2.3 Aceites Esenciales (AE)

La función principal de los AE es brindarle a la planta protección contra agentes estresantes abióticos y bióticos, y en algunas ocasiones atraer a otros organismos para favorecer la polinización y dispersión de sus semillas (Wink M, Schimmer O. citado en el artículo de Polin, Muro, Díaz 2014)

Hay algunas plantas que comúnmente no las consume el ganado, y que tienen compuestos bioactivos como los aceites esenciales entre otros, que tienen propiedades antimicrobianas y además se pueden incluir en la alimentación animal con el fin de que mejore el uso de los alimentos y la salud de los animales (Cowan 1999 citado en el artículo de Polin, et al 2014). Algunas investigaciones han estudiado la utilización de los AE y el efecto que tienen en la mitigación de la producción de metano, pero también se ha notado disminución de los ácidos grasos o volátiles (AGV) totales. Ejemplos de aceites esenciales usados con este objetivo son aceites de, canela, timol ajo, orégano, rábano, entre muchos otros; todos estos han probado disminuir la producción de metano *in vitro*. Hubo casos donde la suspensión de metano se logró a través de dosis elevadas (>300 mg/L de cultivo ruminal), y en otros casos se redujo por la poca producción de AGV o cambio en la proporción de los mismos, o la reducción en la digestión del alimento (Polin et al 2014). Se ha reportado que al proveer AE en la alimentación de rumiantes se reducen las acumulaciones de N amoniacal en el rumen, por ende las excreciones fecales y urinarias de éste. En los trabajos iniciales *in vitro* se observó una reducción en la producción de N con la agregación de timol a dosis de 1 g/L, utilizando caseína como substrato y analizando la aglomeración de aminoácidos y concentración de nitrógeno amoniacal, en el medio ruminal *in vitro*, notándose además una reducción en la desaminación bacteriana (Borchers 1965, citado en el artículo de Polin, et al 2014) Hace poco se observó una reducción de la desaminación de un 9 % con la caseína hidrolizada incubada *in vitro* durante 48 h con liquido ruminal recolectado de vacas que fueron alimentadas con ensilado de maíz como base, y con una dosis de 1 g/d de una mezcla comercial de aceites esenciales (McIntosh et al citado en el artículo de Polin, et al 2014) En otro estudio se reportó una reducción de 24 % en la desaminación cuando se incubó *in vitro* caseína hidrolizada por 24 h con liquido ruminal que se obtuvo de ovinos que fueron suplementados con una dosis de 110 mg/d de una mezcla de aceites esenciales, infiriendo el efecto negativo de los AE sobre poblaciones selectivas de bacterias ruminales. (Newbold et al

2004 citado en el artículo de Polin, et al 2014). En vacas lecheras se han realizado estudios con adición de distintos AE, mostrando muy buenos resultados en la disminución de metano.

3.2.4 Flavonoides

Son compuestos polifenólicos que tienen quince átomos de carbono, y dos anillos aromáticos unidos por un puente de tres carbonos. Se hallan en todo el reino vegetal y son los compuestos fenólicos con más cantidad, están presentes en grandes aglomeraciones en las cascara de las frutas y epidermis de las hojas. Estos compuestos son importantes como metabolitos secundarios (Crozier et al., 2006 citado en el artículo de Vélez, Campos, Sánchez, 2014) (pag 495).

Las clases de flavonoides más importantes son: 1) flavonas (estructuras básicas) por ejemplo: la apigenina, luteolina, crioseriol, diosmetina, tangeretina, vitexina sinensetina, gardenin, y baicaleína; 2) flavonoles (que tiene un grupo hidroxilo en la posición 3) por ejemplo: galangina, morin, kaempferol, quercetina, datiscetina, robinetina, isorhamnetina, miricetina, tamarixetina, y quercetagetina; 3) flavanonas (enlaces saturados en las posiciones 2-3) por ejemplo: eriodictiol, naringenina hesperetina y taxifolina; 4) flavan-3-ol por ejemplo: catequina y epicatequina; 5) isoflavonas por ejemplo: genisteína, daidzeína y coumestrol; 6) antocianidinas: cianidina, delphinidina, pelargonidina y peonidina (Patra y Saxena, 2010 citado en el artículo de Vélez, et al 2014) (pag 495).. Las plantas que poseen flavonoides además de que disminuyen la producción de metano, estimulan el metabolismo microbial (Patra y Saxena, 2010; Bodas et al.,2012 citado en el artículo de Vélez, et al 2014). (pag 495). Broudiscou y Lassalas. (2000) (citado en el artículo de Vélez, et al 2014) (pag 495) estudiaron el efecto de *L. officinalis* y *E. arvense* reconocidas por su gran contenido de flavonoides sobre la degradación in vitro por los microorganismos ruminales y hallaron que la agregación de los dos extractos mejoraron la tasa de fermentación en 50% por medio de un incremento de la liberación de acetato y propionato, disminuyendo así manera la producción de CH₄.

Tabla 4 Efectos de los flavonoides sobre la degradabilidad de la materia seca, el gas total, el metano y los parámetros de producción de gas. Bodas et al.,2012 Obtenido de [//www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3794516](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3794516)

Artículos	Ctrl	F	Metro	norte	Do	R	Q	K	Sem
Degradabilidad de la materia seca (%)	87.9 ^a	81.3 ^b	82.1 ^b	86.1 ^a	82.0 ^b	81.5 ^b	85.6 ^a	83.2 ^b	1.2
Gas total (mL / 24 h)	36.1 ^c	28.1 ^d	30.6 ^d	47.8 ^a	36.9 ^c	40.9 ^b	43.0 ^b	34.8 ^c	0.94
CH ₄ (mL / g DM)	8.6 ^a	5.7 ^{cd}	4.9 ^d	6.3 ^c	7.9 ^{ab}	7.2 ^b	6.2 ^c	5.3 ^d	0.29
(a + b) (mL	41.1 ^c	32.4 ^d	34.2 ^d	56.7 ^a	43.7 ^c	48.7 ^b	55.4 ^a	40.3 ^c	1.63
c (h ⁻¹)	0.08 ^{ab}	0.09 ^a	0.09 ^a	0.05 ^b	0.09 ^a	0.06 ^b	0.06 ^b	0.09 ^a	0.007

Ctrl: control F: flavona, M: myricetin, N: naringin, C: catechin, R: rutin, Q: quercetin y K: kaempferol. a , b , c , y $a + b$ se calculan a partir de la ecuación exponencial $p = a + b (1 - e^{-ct})$.

($a + b$) = grado potencial de producción de gas, c = constante de velocidad de producción de gas para la fracción insoluble (b).

Las medias dentro de la misma fila con diferentes superíndices son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

3.2.5 Inclusión de leguminosas en sistemas silvopastoriles

“*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, comúnmente llamada leucaena, acacia forrajera o carbonero blanco, es una leguminosa perenne, con un amplio potencial para la alimentación de los rumiantes y capaz de crecer con gramíneas acompañantes en condiciones tropicales y subtropicales. Se desarrolla en suelos bien drenados, con pH de neutro a alto, por debajo de los 1 400 metros de altitud y con aceptable fertilidad.” (Murgueitio et al 2011, citado en el artículo de Rivera, Molina et al 2017). (pag 171-183)

En los últimos años se ha comprobado que existen abundantes evidencias sobre las ventajas nutricionales de *L. leucocephala* para la alimentación de rumiantes y su contribución para generar sistemas más productivos y sostenibles en condiciones tropicales” (Murgueitio et al 2015, Gaviria 2015, citado en el artículo de Rivera, Molina et al 2017). “Debido a su alta producción de forraje y calidad nutricional, en los sistemas que incluyen esta leguminosa es posible emplear una mayor carga animal por hectárea y obtener ganancias de peso y producciones superiores de leche en rumiantes, respecto a las que se alcanzan en otros sistemas forrajeros tropicales (Mohammed et al 2015, Gaviria et al 2015, citado en el artículo de Rivera, Molina et al 2017). (pag 171-183)

Rivera et al 2016 citado en el artículo de Rivera, Molina et al 2017) (pag 171-183)

Reportaron que en sistemas basados en *L. leucocephala* se reduce la intensidad de las emisiones gracias a su alta productividad, calidad de la dieta, baja dependencia de insumos externos (como fertilizantes y alimentos concentrados) y alta carga animal. Asimismo, (Naranjo et al 2012 citado en el artículo de Rivera, Molina et al 2017) estimaron que, en condiciones de alta densidad arbustiva y presencia de árboles en las zonas de pastoreo, el balance entre emisiones y remociones puede llegar a ser negativo, gracias a que en SSPi se pueden capturar entre 17 y 32 t de CO₂ ha⁻¹ año⁻¹ y emitir cerca de 12 t de CO₂ ha⁻¹ año⁻¹.

En cuanto a las emisiones en praderas con presencia de leucaena, (Harrison et al 2015 citado en el artículo de Rivera, Molina et al 2017). informaron que estos flujos de gases pueden ser inferiores a los de sistemas convencionales con similar oferta de N en la dieta. En condiciones de bosque seco tropical, (Rivera et al 2015, citado en el artículo de Rivera, Molina et al 2017.) hallaron menores pérdidas de N depositado en estiércol y orina por bovinos en forma de N₂O en un sistema silvopastoril intensivo, respecto a un sistema tradicional ($p = 0,002$). Así, en el SSPi solo se emitió el 1,37 % del N excretado vía estiércol, comparado con el 1,77 % emitido en el sistema tradicional; mientras que para el caso de la orina las emisiones fueron de 3,47 vs. 0,3 % para el sistema tradicional y el SSPi, respectivamente.

Uno de los mecanismos mediante los cuales la inclusión de *L. leucocephala* puede inhibir la producción de metano es su contenido de taninos condensados (TC), que son polifenoles con la capacidad de unirse y precipitar las proteínas, los carbohidratos y otras moléculas, (Haslam, 1986, citado en el artículo de Rivera, Molina et al 2017). (pag 171-183)

Tabla 5 Emisiones in vivo de Metano entérico en novillas alimentadas con dietas basadas en gramíneas (*C.plectostachyus* y *M.maximus*) y SSPi con *L. leucocephala* Murgueito et al (2015) citado en el artículo de Rivera, Molina et al (2017). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000300001

Molina et al (2015)	Monocultivo	SSPi	Valor p
CH4 (L dia)	243.1	228	0.6
CH4 (g kg de MSC)	26.9	20.6	0.05
CH4 (g kg de MSD)	57.7	37.6	0.001
Ym (%)	9,09	6.74	0.04
Molina et al (2016)			
CH4 (L dia)	202.2	208.6	0.78
CH4 (g kg de MSC)	30.8	26.6	0.23
CH4 (g kg de MSD)	57.7	39.5	0.04
Ym (%)	9.42	7.96	0.32

Cabe destacar que, debido a la oferta de biomasa, en los SSPi con leucaena se puede emplear una mayor carga animal (hasta cuatro veces más que en un sistema convencional degradado y hasta dos veces que en uno con pasturas mejoradas), y se obtienen productos de mejor calidad. Además, como consecuencia de la notable eficiencia en la fermentación ruminal y la menor dependencia de insumos externos, como fertilizantes y alimentos concentrados comerciales, se genera un 15 % menos de emanaciones de gases de efecto invernadero por unidad de producto y alrededor del 20 menos por kilogramo de MS consumida o degradada. Tales características podrían favorecer a estos sistemas para ingresar a mercados que demanden productos pecuarios bajos en carbono que contribuyan a mejorar la salud humana. (Rivera, Molina et al 2017). (pag 171-183)

3.2.6 Fibra versus Carbohidratos no fibrosos (CNF) en la dieta.

Los ácidos grasos volátiles que se producen en el rumen no se consideran una fuente principal para la metanogénesis, ya que la conversión de CO₂ e hidrógeno es un proceso que lleva tiempo (Hobson y Stewart, 1997 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) por ende el metano presente en rumen se produce por la liberación de CO₂ e hidrógeno, que se producen conforme se generan los ácidos grasos volátiles durante la fermentación de los carbohidratos (Hungate, Smith, Bauchop, Yu y Rabinowitz, 1970 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014). La remoción del hidrógeno mediante su uso cuando se forma el metano es primordial para la funcionalidad ruminal ya que puede impedir el metabolismo microbial (Sharp, Ziemer, Stern, Stahl, 1998 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014). El metano aumenta su producción con la digestión de la fibra, por el aumento en la cantidad de ácido acético en relación al ácido propiónico (Jhonson y Jhonson, 1995 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014), por eso los forrajes más digestibles y fibras de calidad como la cascarilla de soya producen más cantidad de metano. Por el contrario la fermentación de almidón genera cambios en pH ruminal, que no son ideales para el desarrollo de metanogénicas y mayor producción de ácido propiónico, esto debido al estímulo de bacterias amilolíticas, conllevando a una reducción en la generación de metano (Van Kessel y Russell, 1996 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014). (pag 76)

Aunque el aumentar el consumo de CNF se merma la producción de metano, se debe considerar con este método los riesgos de acidosis subclínica y clínica lo que afectaría la salud del animal y su desempeño. Hay diferencias entre componentes de CNF, de esta manera, la inclusión de pectinas puede generar grandes cantidades de ácido acético (Mauronek, Bartos y Brezina 1985 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 77) y por ende el incremento en la producción de metano, mientras que los azúcares solubles, como los que hay en la melaza, generan butirato (Shultz, Shultz, Carnevali y Chicco, 1971 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) con poca generación de metano. Inclusive se habla de diferencias en almidón con base en su fermentabilidad ruminal, así, es predecible cambios hacia una mayor producción de propionato en granos de endosperma harinoso (trigo,avena, cebada) y fuentes tropicales (semolina de arroz,banano rechazo, pejibaye) en comparación con maíz y sorgo de endosperma córneo. Al respecto (Beauchemin y McGinn 2005 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 77), al cambiar maíz por cebada informa de la disminución en la emisión de metano de 4,03 a 2,81% de la energía bruta cuando se ingiere en dietas de confinamiento.

3.2.7 Uso de lípidos

Una opción que ha sido muy estudiada para reducir la emisión de metano, es la adición de grasas en las dietas del bovino, ya que al hacer esto se reducen las emisiones de este, por medio de la reducción de microorganismos fermentadores en el rumen, principalmente la actividad de bacterias metanogénicas y los protozoarios, también los lípidos ricos en ácidos grasos insaturados, son capaces de atrapar hidrógenos por medio de la biohidrogenación de estos, según (Johnson y Jhonson 1995 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80), lo que disminuye la disponibilidad de H₂ para que se forme metano. Según (Hegarty, 1999 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80) algunas bacterias que producen metano se encuentran estrechamente relacionadas con protozoarios, lo que constituye la simbiosis del conteo de protozoarios y la reducción del CH₄. Esta asociación metanógeno-protozoo lo asegura (Hegarty 1999 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80) al aseverar que de la metanogénesis ruminal el 37% se da por esta simbiosis.

Por medio del metaanálisis de la información existente en ganado lechero, se determinó una reducción del 2,2% en la producción de metano por cada 1% de lípidos suplementados en la dieta (Eugene, Masse, Chiquette y Benchaar, 2008 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80) En tanto que (Beauchemin et al. 2009, citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80) analizando la información en ganado de carne y ovejas, cuantificaron que cada unidad porcentual de lípido agregado en la dieta produjo una reducción del 5,6% en CH₄.

La manera en que se ha estudiado la adición de lípidos ha sido mediante el uso de ácidos grasos puros, aceites y oleaginosas, con resultados inconsistentes debido a varios factores: muy poca grasa en las dietas, hidrogenación limitada de la grasa en el rumen, disminución de la fermentación ruminal, interacciones entre la grasa y Ca en las dietas y/o incremento o disminución de digestión de la celulosa (Johnson, Kincaid, Westberg, Gaskins, Lamb y Cronrath, 2002 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80)

El incluir mezclas de ácidos grasos en lugar de ácidos puros es mejor , ya que estudios in vitro han comprobado mayor reducción en metano relacionado a efectos sinérgicos entre ácidos. (Dohme, Machmüller, Wasserfallen y Kreuzer, 2001; Soliva, Meile, Cieślak, Kreuzer, Machmüller, 2004 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80)

Se ha estudiado la inclusión de aceite de soya, girasol, coco y linaza, siendo el aceite de coco el más reconocido, este posee una relación de ácido laurico:mirístico de 2,6:1, siendo parecido a los valores determinados in vitro de 4:1; 3:2 y 2,5:2,5, como los más influyentes en la reducción de la producción de metano (Soliva et al., 2004 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014). (pag 79-80)

El efecto de los lípidos en la disminución de metano se relaciona con la contribución de ácidos grasos insaturados mediante la inclusión de aceites de linaza, semillas de canola y aceite de bacalao en la dieta, puesto que estos trabajan como disipadores de hidrógeno, impidiendo directamente a las bacterias metanogénicas del rumen, creando un aumento en la síntesis de ácido propiónico (Dong, Bae, McAllister, Mathison y Cheng, 1997 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80) El impacto se da si la fuente de lípidos se provee como tal o en la materia prima, así, (Martin, Rouel, Jouany, Doreau y Chilliard 2008 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80) definieron que la semilla de linaza, extrusada, es capaz de

disminuir en un 38% la producción de metano, entre tanto el aceite de linaza logra un 64%. Pese al efecto positivo que tienen lípidos en la disminución de metano, también se anuncia del efecto negativo sobre el consumo. Los autores informan que el suministro de linaza extrusada disminuyó en un 16% el consumo de Materia Seca, en tanto que la alimentación con aceite de linaza disminuyó en 26% el consumo de Materia Seca. De igual manera (Beauchemin et al. 2009, citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014) (pag 79-80) definieron que la semilla de girasol y colza disminuyó la producción de CH₄ (g/d) en 10%, y la de linaza logró un 18% de disminución, con una reducción igual del consumo de materia seca entre 18 y 10%. La disminución del consumo se ha relacionado a la merma del 14% de digestibilidad de la FDN (Martin et al. 2008 citado en el artículo de Aguiar, rojas 2014).(pag 79-80)

Es importante tener en cuenta que la reducción en la producción de metano seguido de una caída en la Materia Seca digestible, puede derivar índices productivos menores y originar una reducida eficiencia en el uso de las materias primas alimenticias suministradas.

3.2.8 Otras Alternativas

Mejorar la calidad del forraje

Los forrajes son alimentos que en su composición tienen una alta variabilidad. En los sistemas de producción de rumiantes los recursos alimenticios usados son de baja calidad (por ejemplo pajas, residuos de cosecha, o el pienso seco), llevando a que el procesamiento de forraje pueda mejorar al mismo tiempo la digestibilidad efectiva de la dieta y la productividad de los animales (Andeweg, Reisinger, 2016). En los sistemas que se usan pajas gruesas de millo, sorgo y maíz hay una calidad nutricional mucho mejor que las pajas delgadas (arroz, trigo, cebada). Acciones como el manejo del pastoreo y el mejorar la calidad de la alimentación cambiando las especies forrajeras puede ayudar de igual manera a la formulación de una dieta que sea más acorde en sistemas extensivos, o que puede incrementar primordialmente la eficiencia alimenticia y la producción. Se tienen en cuenta posibles disminuciones en la magnitud de las emisiones del 30 % en

sistemas que hoy en día usan una alimentación de baja calidad, también se tienen en cuenta las alternativas de mitigación asociadas con el manejo del pastoreo. No obstante, hay que tener en cuenta las emisiones indirectas fuera de la finca originadas por la producción de alimentos adicionales, antes de definir los beneficios netos de gases de efecto invernadero. (Andeweg, Reisinger, 2016). (pag 6-10).

Mejorar la dieta y sustitutos

A través de los sustitutos alimenticios se pueden modificar e influenciar los procesos de fermentación en el rumen y la producción de metano respectivamente. La suplementación con ensilajes de maíz o de leguminosas, almidón o soya reduce la producción de metano en comparación con los ensilados de gramíneas. Los ensilajes de maíz / maíz y leguminosas constantemente incrementan el consumo de alimento y la producción en las vacas lecheras comparándolos con los ensilados de gramíneas. No obstante, los efectos de mitigación de GEI de la sustitución de las gramíneas por otros forrajes debe tener en cuenta toda la cadena de suministro, considerando los cambios en el uso del suelo, las emisiones provenientes de la producción de cultivos, resistencia a la variabilidad climática y del mercado, la utilización de fertilizantes y los efectos netos sobre la seguridad alimentaria regional, mediante el uso del suelo y los alimentos. (Andeweg, Reisinger, 2016). (pag 6-10).

La alimentación de precisión

Es un proceso en el cual se trata de obtener el nutriente apto para el animal correcto en el momento indicado. Son distintos los requerimientos del animal durante su vida y en sus ciclos de reproducción. Comprender la necesidad de un animal a partir de una base diaria puede resultar en notables mejoras en la eficiencia de los recursos. Aun cuando las consecuencias directas de mitigación son confusas y difíciles de inferir, la alimentación de precisión puede incrementar la eficiencia alimenticia y la productividad, y por ende el

resultado de la rentabilidad de la explotación ganadera (Andeweg, Reisinger, 2016). (pag 6- 10).

Los programas de alimentación equilibrados personalizados que hay en los sistemas de pastoreo de ganado lechero han comprobado incrementar la productividad y reducir la magnitud de las emisiones de metano entérico (15-20%) y la excreción de N (20-30%), lo que deriva en la disminución de emisiones a partir de estiércol. La alimentación de precisión, que une la genética del animal con la alimentación y el uso del pastoreo, precisa de instalaciones tecnológicas avanzadas para vigilar con exactitud las necesidades que tenga el animal, el uso de las pasturas y la producción de forraje, y puede ser hecho en sistemas ganaderos que sean altamente tecnificados. (Andeweg, Reisinger, 2016) (pag 6-10).

Mejorar la calidad y digestibilidad del alimento

Cuando los alimentos son de baja calidad y digestibilidad esto deriva generalmente en altas emisiones entéricas por unidad de carne o leche, principalmente en sistemas que son de baja productividad. Para mejorar la digestibilidad del alimento al igual que su contenido de energía, con un suministro de proteína que pueda suplir las necesidades del animal se pueden lograr mediante un adecuado manejo de los pastizales, pastos mejorados, cambio de la mezcla de forraje usado y el uso de suplementos alimenticios en gran cantidad para conseguir una dieta equilibrada, aprovechando los subproductos y residuos de cultivos ya procesados (Andeweg, Reisinger, 2016). (pag 6- 10). De esta manera se pueden mejorar la absorción de nutrientes, incrementar la productividad en los animales, su fertilidad, y disminuir las emisiones totales y por unidad de producto. Aunque hay que considerar que las emisiones que proceden de la producción de los alimentos que no son de la finca y / o por el procesamiento complementario, no reduzcan cualquier disminución en el sistema ganadero. (Andeweg, Reisinger, 2016). (pag 6-10).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La inclusión de leguminosas en sistemas silvopastoriles principalmente con *Leucaena leucocephala* es el mecanismo de nutrición animal que más contribuye a la reducción del efecto invernadero, ya que presenta variadas ventajas nutricionales y con su contenido de taninos condensados genera importantes porcentajes de reducción del metano (35%) a través de la formación de complejos con mezclas de proteínas y polisacáridos, que resultan en una disminución de la digestibilidad de materia seca y orgánica por ende una reducción de H₂ metabólico, por otra parte gracias a su carácter multipropósito, su rápido crecimiento, su facilidad de propagación y su sencillo manejo; la inclusión de *Leucaena leucocephala* en la alimentación de los rumiantes, permite una producción de ganado bovino eficiente, sostenible y rentable.

Se concluye que la nutrición animal es una actividad que incide en el efecto invernadero a través de procesos determinantes como la fermentación ruminal proceso natural que se da en el organismo de los rumiantes a través de las arqueas generando metano y dióxido de carbono que luego se expulsan a través del eructo y la exhalación del bovino, el óxido nitroso es generado principalmente en la orina y excretas de los rumiantes y las dietas con carbohidratos estructurales en abundancia también generan metano. De ahí la importancia de utilizar alternativas de nutrición animal para reducir los GEI generando principalmente en el rumen procesos fermentativos sin carbono e Hidrógeno (H₂) a través de una alimentación adecuada.

Los forrajes y otros piensos que se dan al ganado participan también activamente de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que las dietas que son suministradas a estos animales son muchas veces de baja calidad y digestibilidad o con ingredientes que tiene alto contenido de fibra, resultando esto en altas emisiones entéricas, principalmente en los sistemas de baja productividad, rumen con alta cantidad de hidrógeno y menos producción de AGV (Acidos grasos volátiles) algunos alimentos como paja, pienso seco o residuos de cosecha no son los más óptimos en cuanto a calidad se refiere, generando esto en un mala eficiencia alimenticia. Los procesos naturales que se dan en el rumen del bovino como la fermentación ruminal y entérica dependen de la alimentación suministrada por ende forrajes, concentrados y otros alimentos de poca calidad se consideran como factores de riesgo para generar gases de efecto invernadero.

Las materias primas que son utilizadas en la alimentación animal, deben cumplir con altas condiciones de calidad ya que la problemática de emisiones de gases de efecto invernadero desde la parte nutricional, se genera porque no se suministran alimentos adecuados a los animales y en el caso específico de los bovinos malas prácticas de nutrición en los sistemas productivos. Se debe procurar una efectiva digestibilidad de la dieta y una excelente eficiencia alimenticia mediante materias primas idóneas para tales procesos a través de pastos mejorados, buen uso de pastizales, suplementos alimenticios y cambio de forrajes de esta manera se genera una dieta equilibrada mejorando la absorción de nutrientes, la productividad en los animales y lo que es más importante disminución de las emisiones totales de GEI.

Por último se recomienda seguir investigando más acerca del tema ya que aunque acá se estudiaron e investigaron distintos métodos de nutrición animal para reducir el efecto invernadero, todavía hay mucho por analizar, se pueden encontrar muchos mecanismos que todavía no se han estudiado, algunos sencillos otros algo más complicados pero todos con la finalidad de resolver o por lo menos intentar resolver esta grave problemática, se deben analizar minuciosamente, sus ventajas, desventajas, modo de aplicación, si es factible, que tanto acople tiene en los procesos digestivos de los rumiantes, costos, uso de materias primas, porcentajes de reducción de GEI, rentabilidad etc hay que ponerse también a la tarea de crear nuevos proyectos que aporten al tema en cuestión, con ideas innovadoras y muy prácticas que no sea solo escribir sino que realmente se pueda experimentar con ello, hay que ser partícipes de soluciones para el sector pecuario y más si se está viendo este difícil problema que para el caso específico del sector es por causa de la nutrición animal.

5. BIBLIOGRAFIA

- Agarwal N., Kamra D.N., Chaudhary L.C., Patra A.K. (2006). Effect of *Sapindus mukorossi* extracts on *in vitro* methanogenesis and fermentation characteristics in buffalo rumen liquor. *Journal of Applied Animal Research* 30: 1-4
- Agropecuário, S. (12 de Agosto de 2015). *Sector Agropecuario*. Obtenido de Sector Agropecuario : <http://www.sectoragropecuário.com/el-cambio-climático-y-la-ganadería-como-fuente-de-gases-de-efecto-invernadero/>
- Aguiar, Z. E., & Rojas, B. A. (2014). *MÉTODOS UTILIZADOS PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN DE METANO ENDÓGENO EN RUMIANTES*. *Nutrición Animal Tropical*, 8(2): 72-90.
- Alayón, J.A.; Jiménez, G. ; Piñeiro, Á.T. ; Canul, J.; Albores, S. ; Villanueva, G. ; Nahedl, J. ; Ku, J.C. (2018). *Estrategias de Mitigación de gases de efecto invernadero en la Ganadería*. *Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2,*, 9-15.
- Albores-Moreno S., Alayón-Gamboa J.A., Ayala-Burgos A.J., Solorio- Sánchez F.J., Aguilar-Pérez C.F., Olivera-Castillo L., Ku-Vera J.C. (2017). Effects of feeding ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb on dry matter intake, rumen fermentation, and enteric methane production by Pelibuey sheep fed tropical grass. *Tropical Animal Health and Production* 49: 857-866.
- Arteaga, P. M. (2015). *uaeh.edu*. Obtenido de *uaeh.edu*: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n4/m2.html>
- Beauchemin, K., Mcginn, S. (2005). Methane emissions from cattle fed barley or corn diets. *Journal of Animal Science* 83, 653-661.
- Beauchemin, K., Mcginn, S., Benchaar, C., 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

- Becoña, G. (14 de Julio de 2011). *PlanAgropecuario.org*. Obtenido de Plan Agropecuario.org:www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R138/R_138_52.pdf
- Benito, Y. (Octubre de 2016). *Programa Investiga.org*. Obtenido de Programa Investiga.org: <http://www.programainvestiga.org/pdf/guias2016-17/Guia%20introdutoria%20al%20tema%20CO2%20y%20cambio%20climatico.pdf>
- Bhatta R. (2015). Reducing Enteric Methane Emission Using Plant Secondary Metabolites. *In: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. (eds.). Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation. Springer Delhi. pp. 273-284.*
- Bodas, R., Prieto, N., García-González, R., Andrés, S., Giráldez, F.J., López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology, 176:78– 93.*
- Bonilla, J.A, Lemus, F.C. (2012). *Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. Revista Mexicana Ciencias Pecuarias, 3(2)215-246.*
- Borchers R. Proteolytic activity of rumen fluid *in vitro*. *J Anim Sci (1965);(24):1033-1038.*
- Broudiscou, L.P., Lassalas, B. (2000). Effects of Lavandula officinalis and Equisetum arvense dry extracts and isoquercitrin on the fermentation of diets varying in forage contents by rumen microorganisms in batch culture. *Reproduction Nutrition Development, 40:431–440.*
- Buccioni, A.; Minieri, S.; Rapaccini, S.; Antongiovanni, M.; Mele, M. (2011). Effect of chestnut and quebracho tannins on fatty acid profile in rumen liquid- and solid-associated bacteria: an *in vitro* study, *en: Animal, 5(10):1521-1530.*
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). *Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Revista unam México, Volumen 8 Número 10 • ISSN: 1067-6079.*
- Canul-Solis J.R., Piñeiro-Vázquez A.T., Briceño-Poot E.G., Chay-Canul A.J., Alayón-Gamboa J.A., Ayala-Burgos A.J., Aguilar-Pérez C.F., Solorio-Sánchez F.J., Castelán-Ortega O.A., Ku-Vera

- J.C. (2014). Effect of supplementation with saponins from *Yucca schidigera* on ruminal methane production by Pelibuey sheep fed *Pennisetum*.
- Carmona, J., Bolivar, D., & Giraldo, L. (2005). *El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo*. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, Vol. 18:1,49-63.
- Carolina, J. Bonato, P. Romina, F. Flavia, P. Osvaldo, T. Gustavo T. (2018). *Adicion de Taninos a dietas de Rumiantes y su efecto sobre la Calidad y Rendimiento de la Carne*. *Ciencia Docencia y Tecnología*. no.56, 224-241.
- Castillo., C. Abuelo., A. Hernández., J (05 de Mayo de 2016). *Nutrición Animal.info*. Obtenido de *Nutrición Animal.info*: nutricionanimal.info/el-desafio-de-la-metanogenesis-en-bovinos.
- Córdoba, U. d. (15 de Marzo de 2008). *uco.es*. Obtenido de *uco.es*: www.uco.es/zootecniaygestion/menu.php?tema=153
- Corrales,L.C et al (2015). *Bacterias Anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta*. *Revista Nova*, 13 (23): 55-81.
- Cowan MM. (1999) Plant products as antimicrobial agents. *Clin Microbiol Rev*;(12):564-582.
- Crozier, A., Jaganath, I.B., Clifford, M.N. (2006). Phenols, polyphenols and tannins: an overview. In: Crozier, A., Clifford, M.N., Ashihara, H. (Eds.), *Plant Secondary Metabolites Occurrence Structure and Role in the Human Diet*. Blackwell Publishing, Chennai, India, pp. 1–24
- Daly, H.E. (1968). On Economics as a Life Science. *Journal of Political Economy*, 76, 392-406
- Dämmgen, U., Rösemann, C., Haenel, H., Hutchings, N. (2012). Enteric methane emissions from German dairy cows. *Agriculture and Forestry Research* 62, 21-32
- De Haas, Y., Windig, J., Calus, M., Dijkstra, J., De Haan, M., Bannink, A., 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.

- Dong, Y., Bae, H., Mcallister, T., Mathison, G., Cheng, K. (1997). Lipid-induced depression in methane production and digestibility in the artificial rumen system (RUSITEC). *Journal of Animal Science* 77:269–278.
- eco, c. (9 de Abril de 2012). *conciencia eco*. Obtenido de conciencia eco: https://www.concienciaeco.com/2012/04/09/que-es-el-efecto-invernadero/#Gases_de_efecto_invernadero_el_oxido_nitroso_N2O
- Ecoembes. (18 de Enero de 2017). *Ecoembes*. Obtenido de Ecoembes: www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/nueve-actividades-humanas-que-generan-gases-de-efecto-invernadero
- Espíndola, C., Valderrama, O., J (2012). *Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y complejidades metodológicas*. *Rev Información Tecnológica Vol. 23 N° 1*, 163-176.
- Espinoza., V. B, Ramírez., M. M, Sánchez., V. A (2018). *Microbiota Ruminal y la Emisión de Gases de Efecto I Aguiar, Z. E., & Rojas, B. A. (2014). MÉTODOS UTILIZADOS PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN DE METANO ENDÓGENO EN RUMIANTES. Nutrición Animal Tropical, 8(2): 72-90nvernadero Mediante la Aplicacion de la Genómica. Agroproductividad vol 11 Num2, 3-8.*
- Eugene, M., Masse, D., Chiquette, J., 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.
- FAO. (2010). Greenhouse gas emissions from the dairy sector. A Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization.
- Fao. (26 de Septiembre de 2013). *fao.org*. Obtenido de fao.org: <http://www.fao.org/news/story/es/item/198166/icode/>
- Fao. (29 de Marzo de 2015). *Fao.org*. Obtenido de Fao.org: <http://www.fao.org/gleam/results/es/>
- Flores, J. d. (1 de Marzo de 2017). *ActualidadGanadera.com*. Obtenido de ActualidadGanadera.com: <http://www.actualidadganadera.com/articulos/importancia-de-la-fibra-en-la-salud-ruminal-del-ganado-productor-de-carne.html>

- Frutos, P.; Hervás, G.; Giráldez, F. J.; Mantecón, A. R. (2004a). An *in vitro* study on the ability of polyethylene glycol to inhibit the effect of quebracho tannins and tannic acid on rumen fermentation in sheep, goats, cows, and deer, en: *Australian Journal of Agricultural Research*, 55:1125-1132.
- Goel G., Makkar H.P.S., Becker K. (2008). Changes in microbial community structure, methanogenesis and rumen fermentation in response to saponin-rich fractions from different plant materials. *Journal of Applied Microbiology* 105: 770-777.
- Harrison, M. T.; McSweeney, C.; Tomkins, N. W. & Eckard, R. J. (2015) Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. *Agr. Syst.* 136:138-146
- Haro., R, J. Gómez., B, C. (2018). *fontagro.org*. Obtenido de fontagro.org: www.fontagro.org/wp-content/uploads/2017/04/documento-mitigacion-alta.pdf
- Haslam, E. (1986) Hydroxybenzoic acid and the enigma of gallic acid. In: E. E. Conn, ed. *The Shikimic acid Pathway, recent advances in Phytochemistry*. New York: Plenum Press. vol. 20. p. 163-200.
- Hegarty, R. (1999). Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 1321–1328
- Hess H.D., Beuret R.A., Lotscher M., Hindrichsen I.K., Machmüller A., Carulla J.E., Lascano C.E., Kreuzer M. (2004). Ruminant fermentation, methanogenesis and nitrogen utilization of sheep receiving tropical grass hay-concentrate diets offered with *Sapindus saponaria* fruits and *Cratylia argentea* foliage. *Animal Science* 79: 177-189.
- Hobson, P., Stewart, C. (1997). *The Rumen Microbial Ecosystem*, Chapman and Hall, London, UK.
- Howden, S., Reyenga, P. (1999). Methane emissions from Australian livestock. Páginas 81–89 en *Meeting the Kyoto Target, Implications for the Australian Livestock Industries*. Canberra, Australia.
- Hristov A.N., Ott T., Tricarico J., Rotz A., Waghorn G., Adesogan A., Dijkstra J., Montes F., Oh J., Kebreab E., Oosting S.J., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P.S., Firkins J.L. (2013). Special

- topics- Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science* 91: 5095-5113.
- Hungate, R. E., Smith, W., Bauchop T., Yu, I., Rabinowitz, J. C. (1970). Formate as an intermediate in the bovine rumen fermentation. *Journal of Bacteriology*. 102 (2), 389–397.
- ICA. (2017). *fedegan.org*. Obtenido de fedegan.org: <http://www.fedegan.org.co/noticias/conozca-el-censo-pecuario-nacional-del-ica-2017.eju>
- Johnson, K., Johnson, D. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*.73, 2483–2492.
- Johnson, K., Kincaid, R., Westberg, H., Gaskins, C., Lamb, B., Cronrath, J. (2002). The Effect of Oilseeds in Diets of Lactating Cows on Milk Production and Methane Emissions. *Journal of Dairy Science*. 85, 1509–1515.
- Johnson KA, Johnson DE. Methane emissions from cattle. *J Anim Sci*, (1995); 73: 2483-2492
- Jumilla, F. (2012). La huella de carbono. Retos Medioambientales de La Industria Alimentaria, 27–54. Retrieved from [http://www.croem.es/Web20/CROEMMedioAmbiente.nsf/a7e81c71d3b8cd60c125774300507426/37dcc9af669a7773c1257a1c00410246/\\$FILE/Ponencia -- Huella de carbono-Francisco Victoria.pdf](http://www.croem.es/Web20/CROEMMedioAmbiente.nsf/a7e81c71d3b8cd60c125774300507426/37dcc9af669a7773c1257a1c00410246/$FILE/Ponencia--Huella%20de%20carbono-Francisco%20Victoria.pdf)
- Leontief, W. (1970). Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. *Review of Economics and Statistics*, 52, 262-271.
- Leontief, W. y D. Ford. (1971) Air Pollution and the Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Calculations. Paper presented at the Fifth International Conference on Input-Output Techniques North Holland Pub. Co Geneva, Switzerland
- Luciano, G.; Monahan, F.J.; Vasta, V.; Biondi, L.; Lanza, M.; Priolo, A. (2009). Dietary tannins improve lamb meat colour stability, en: *Meat Science*, 81:120-125
- Makkar H.P.S. (2003). Quantification of tannins in tree and shrub foliage. A laboratory manual. FAO/IAEA Publication, Rome, Italy.
- Martín, C., Brada,B., Castro,J et al (2010). *Consecuencias del efecto invernadero*. (pág. 5).

- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J., Doreau, M., 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.
- Martínez Y. *El cambio climático afecta también a la salud mental*. Tendencia 21. Rev Electr Cienc Tecnol. Sociedad Y Cultura. Madrid: tendencia 21 [Internet]. 2013 [citado 20 diciembre 2012]. Disponible en: http://www.tendencias21.net/El-cambio-climatico-afecta-tambien-a-la-salud-mental_a3949.html
- Mauronek, M., Bartos, S., Brezina, P. (1985). Factors influencing the production of volatile fatty acids from hemicelulose, pectins and starch by mixed cultures of microorganisms. *Z. Tierphysiology. Tierernaehr Futtermittlker* 53, 50-58
- Mayer, A. F. (3 de Diciembre de 2013). *on24*. Obtenido de on24: <http://www.on24.com.ar/negocios/agro/la-racin-para-el-ganado-cereal-entero-o-molido/>
- McIntosh FM, Williams P, Losa R, Wallace RJ, Beever DA, Newbold CJ. (2003) Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. *Appl Environ Microb*; (69):5011-5014.
- Mendoza, C.A , Narváez, G. J. (2017). *Relación entre el efecto invernadero y el cambio climático* (pág. 3).
- Minx, J.C., T. Wiedman et al (2010) Input–Output analysis and carbon footprinting: an overview of applications. *Economic Systems Research*, 21(3), 187-216
- Mohammed, A. H. M.; Aguilar-Pérez, C. F.; Ayala- Burgos, J.; Bottini-Luzardo, María B.; Solorio-Sánchez, F. J. & Ku-Vera, J. C. (2015) Evaluation of milk composition and fresh soft cheese from an intensive silvopastoral system in the tropics. *Dairy Sci. Technol.* 96 (2):159-172.
- Molina, H., S, Astudillo, M., L (Septiembre de 2012). *better.cl*. Obtenido de better.cl: <http://www.better.cl/assets/files/publicaciones/Newsbetter-Huella-de-carbono.pdf>
- Molina, I. C.; Donney`s, G.; Montoya, S.; Rivera, J. E.; Villegas, G.; Chará, J. *et al.* (2015) La inclusión de *Leucaena leucocephala* reduce la producción de metano de terneras Lucerna alimentadas

- con *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrus maximus*. *LRRD*. 27
 (5). <http://www.lrrd.org/lrrd27/5/moli27096.html>,
- Mundial, O. M. (23 de Noviembre de 2009). *wmo*. Obtenido de wmo: https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/868_es.pdf
- Murgueitio, E.; Calle, Zoraida; Uribe, F.; Calle, Alicia & Solorio, B. (2011) Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecol. Manag.* 261 (10):1654-1663.
- Murgueitio, E.; Xóchitl, M.; Calle, Zoraida; Chará, J.; Barahona-Rosales, R.; Molina, C. H. *et al.* (2015) *Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina*. En: Florencia Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola y B. Eibl, eds. *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Turrialba, Costa Rica, Cali, Colombia: CATIE, CIPAV. p. 59-101.
- Naranjo, J. F.; Cuartas, C. A.; Murgueitio, E.; Chará, J. & Barahona-Rosales, R. (2012) *Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con Leucaena leucocephala en Colombia*. *LRRD*. 24 (8). <http://www.lrrd.org/lrrd24/8/nara24150.htm>.
- Newbold CJ, McIntosh FM, Williams P, Losa R, Wallace RJ. (2004) Effects of a specific blend of essential oil compounds on rumen fermentation. *Anim Feed Sci Tech*;(114):105-112.
- Oceana. (2008). *oceana.org*. Obtenido de oceana.org: <https://eu.oceana.org/es/node/46897>
- Organización Mundial de la Salud. *Cambios ambientales mundiales. Programas y proyectos. Cambio climático y salud humana*. Ginebra: OMS [Internet]. 2013 [citado 20 diciembre 2012]. Disponible en: <http://www.who.int/globalchange/environment/es/index.html>
- Pasinato, A. (2010). Utilización de taninos condensados en rumiantes. (pp.25-32). En Pasinato, A.; Santini, F.; Geraci, J. (Eds.). *Jornadas proyecto nacional de nutrición animal*. Concepción del Uruguay: inta-eea Concepción del Uruguay.

- Patra, A., Saxena, J. (2010). A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*, 71:1198–1222.
- Patra A.K., Park T., Kim M., Yu Z. 2017. Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8:13
- Polin-Raygoza, L. A. Muro, R.A, Díaz-García, L-H (2014). *Aceites Esenciales Modificadores de Perfiles de Fermentación Ruminal y Mitigación de Metano en Rumiantes. Rev. mex. de cienc. pecuarias vol.5 no.1, 25-47.*
- Portal del Instituto Nacional de Ecología. *Cambio climático en México*. México DF: INE [Internet]. 2013 [citado 20 diciembre 2012]. Disponible en: http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/porquydonesomosvul/somosvulalcc.html
- Ramírez., J,F, Posada., O.S, Noguera.,R(2014). *Metanogénesis ruminal y estrategias para su mitigación. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia vol 9 Núm 2, 307-323.*
- Rivera, H.J.E; Molina, B.I; Chará, O.J; Murgueito, R.E; Barahona, R.R. (2017) *Sistemas silvopastoriles intensivos con Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. Revista Pastos y Forrajes Vol. 40, No. 3, 171-183.*
- Rivera, J.; Chará, J. & Barahona-Rosales, R. (2016) *Análisis del ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema intensivo convencional bajo condiciones de bosque seco tropical. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 19 (3):237-251.*
- Rivera, J.; Molina, I. C.; Donney`s, G.; Villegas, G.; Chará, J. & Barahona-Rosales, R. (2015) *Dinámica de fermentación y producción de metano en dietas de sistemas silvopastoriles intensivos con Leucaena leucocephala y sistemas convencionales orientados a la producción de leche. LRRD. 27 (4). <http://www.lrrd.org/lrrd27/4/rive27076>. Html..*
- Rodriguez R., Britos A., Rodriguez-Romero N, Fondevila M. (2011). Effect of plant extracts from several tanniferous browse legumes on in vitro microbial fermentation of the tropical grass Pennisetum purpureum. *Animal Feed Science and Technology* 168: 188-195.

- Salem, A. Z. Gonzalez, J.S, López, S, Ranilla, M.J, Rojo, R, Camacho, L.M, Avilés, F (7 de Octubre de 2009). *researchgate.net*. Obtenido de [researchgate.net:www.researchgate.net/publication/262688571_Impactos_y_adaptaciones_a_los_taninos_en_los_rumiantes](https://www.researchgate.net/publication/262688571_Impactos_y_adaptaciones_a_los_taninos_en_los_rumiantes)
- Sánchez, Y. G. Díaz, Y. F. Soto, T.G. (2013). *El cambio climático y sus efectos en la salud. Rev Cubana Higiene Epidemiologia vol 51 no. 3, 331-337 .*
- Sanz, S. C. (2015). *Contaminación atmosférica mitigación y adaptación a través de la nutrición animal*. Obtenido de nutricionanimal.info: <https://nutricionanimal.info/download/0315-medioambiente.pdf>
- Sharp, R., Ziemer, C.J., Stern, M.D., Stahl, D.A. (1998). Taxon –specific associations between protozoal and methanogens populations in the rumen and a model rumen system. *FEMS Microbiology Ecology* 26 (1), 71-78
- Shultz, E., Shultz, T. A., Carnevali, A., Chicco.C.C. (1971). Suplementación con urea-melaza y pulidura de arroz en bovinos alimentados con pastos de pobre calidad. *Agronomía Tropical* 21(3),195-204
- Soliva, C. R., Meile, L., Cie´Slak, A., Kreuzer, M., Machmüller, A. (2004). Rumen simulation technique study on the interactions of dietary lauric and myristic acid supplementation in suppressing ruminal methanogenesis. *British Journal of Nutrition*. 92(4),689–700
- Torres, R., L, K. Carbo, B., N. López, G., J, L (2017) *Huella de carbono y los conocimientos, actitudes y prácticas de los estudiantes y personal del nivel secundario sobre emisiones de gases de efecto invernadero*. *Revista de Investigación Apuntes Universitarios* vol 7 no. 2, p 1-10.
- Valderrama, J.O., A. Espíndola y R. Quezada. (2011) *Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias*. *Form. Univ.*, .4(3), 3-12
- Valtierra, J. M. (2010). *La Dieta del Dióxido de Carbono . Revista Conciencia Tecnológica*, pp. 50-53.
- Van Kessel J. A., Russell J. B. (1996). The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiology Ecology*. 20(4), 205–210

- Vásquez, P. Canul, J.R, Alayón, J.A, Chay, A.J, Ayala, A.J, Aguilar, C.F, Solorio, F.J, Ku, J.C (2015). *Potencial de los Taninos Condensados para reducir las emisiones de metano entérico y sus efectos en producción de Rumiantes. Arch Med Vet 47, 263-272.*
- Vélez-Terranova, M. Campos-Gaona, R, Sánchez-Guerrero, H(2014). Uso de metabolitos secundarios de las plantas para reducir la metanogénesis ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 489 - 499.
- Victor, P. A. (1972) *Pollution: Economy and Environment* George Allen and Unwin, Oxford
- Vidal, M. (2010). Huella de carbono, la primera medida, 65. Retrieved from [http://ecodes.org/documentos/Ecodes_HC_Ser Responsable.pdf](http://ecodes.org/documentos/Ecodes_HC_Ser%20Responsable.pdf)
- Waghorn, G. (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-Progress and challenges, en: *Animal Feed Science and Technology*, 147:116-139.
- Wiedmann, T. y J. Minx. A (2008) Definition of Carbon Footprint In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends*, n. 1, p. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA
- Wink M, Schimmer O. (1999) Modes of action of defensive secondary metabolites. In: Wink M editor. *Functions of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology*. Sheffield UK: Sheffield Academic Press;;17-112.