

Las dietas en las emisiones de metano durante el proceso de rumia en sistemas de producción bovina

Diets in methane emissions during rumination process in cattle production systems

Luz Elena Santacoloma Varón.

luz.santacoloma@unad.edu.co

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Sede Nacional José Celestino Mutis, Bogotá, Colombia

Resumen.-La población de rumiantes en el mundo es creciente, ya que sus productos constituyen una fuente de proteína de alto valor nutricional para la población humana; sin embargo, este incremento, contribuirá en gran proporción al calentamiento global y al deterioro de la capa de ozono, ya que entre los subproductos de la fermentación ruminal se encuentran el gas carbónico y el metano. Este último es producido por bacterias anaeróbicas presentes en el rumen que utilizan diferentes tipos de sustratos, principalmente H_2 y CO_2 . La acción de las bacterias metanogénicas depende en gran medida del tipo de sustratos presente en la dieta, y de las características químicas y físicas de la misma. Por tanto, es posible disminuir los efectos que sobre el ambiente realizan los sistemas productivos de rumiantes ofreciendo a los animales alternativas nutricionales que además de reducir las emisiones de metano a la atmósfera disminuyan las pérdidas energéticas que por este concepto se presentan en los rumiantes. Esta revisión enfatiza la utilización de forrajes del trópico que por su contenido de metabolitos secundarios puedan afectar la población de protozoarios y en combinación con forrajes de alto valor nutricional es posible obtener muy buenos resultados productivos y reducir la emisión de metano a la atmósfera.

Palabras clave: Calentamiento global, Bacterias metanogénicas, Forrajes de baja calidad, Metalogénesis, Metabolitos secundarios

Abstract.- The population of ruminants in the world is increasing, since its products constitute a source of protein of high nutritional value for the human population; nevertheless, this increase, will contribute in great proportion to the global warming and to the deterioration of the ozone layer, since between the sub-products of the ruminal fermentation, carbonic gas and methane are found. The last one is produced by the anaerobic bacteria present in the rumen that different types of substrata use, principally H_2 and CO_2 . The action of the bacteria producers of methane depends to a great extent on the type of substrata presented in the diet, and of the chemical and physical characteristics of the same one. Therefore, it is possible to diminish the effects that the productive systems of ruminants have on the environment, offering the animals nutritional alternatives that besides reducing the emission of methane to the atmosphere, will also reduce the energetic losses that for this concept it presents in the ruminants. In the present review the idea of using forages of the tropic that contain secondary metabolites that could concern the population of protozoan's combined with forages of high nutritional value is presented and the idea of obtaining very good proved productive results is possible to simultaneously diminishes the gas emission of methane to the atmosphere.

Keywords: Global warming, Methanogenic bacteria, Low quality forages, Metallogeny, Secondary metabolites

Introducción

Los sistemas ganaderos en el mundo, en particular los sistemas pastoriles han afectado significativamente el medio ambiente, ya que al ubicarse en zonas donde existían bosques naturales han propiciado la expansión de la frontera agrícola, con la fragmentación y pérdida de hábitats naturales como los bosques tropicales y sus impactos indirectos han generado erosión e inestabilidad geológica, entre otros.

La disminución de árboles, como consecuencia de la adecuación de potreros, ha contribuido a una reducción de captación de CO₂ atmosférico, ya que las pasturas no tienen la misma eficiencia que los árboles y arbustos para esta actividad al sumarse al calentamiento global. Por su parte, los rumiantes contribuyen de manera significativa a la liberación de altas cantidades de gases a la atmósfera como el gas carbónico y el metano, resultado de los procesos de fermentación que se realizan en el rumen.

Estos gases junto con el óxido nitroso (NO₂), son considerados de gran impacto en el calentamiento de la superficie de la tierra y en la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera (Primavesi *et al.* 2004). Aunque se estima que actualmente el CO₂ es el que aporta mayor proporción al efecto invernadero, el metano se está incrementando paulatinamente y tiene un efecto 21 a 30 veces de mayor poder de absorción calórica que el CO₂.

Las emisiones de metano provenientes de ganado bovino representan un 80% del total de aporte de todas las especies (Mc Caughey *et al.* 1999) y la composición de la dieta tiene un efecto directo sobre esta contribución. Al respecto, se ha encontrado que con dietas altamente fibrosas y de baja digestibilidad se aumentan las emisiones de metano y se genera una gran pérdida de energía por esta vía.

El propósito de este trabajo es describir los factores que inciden en las emisiones de metano a

la atmósfera por parte de los rumiantes y analizar las alternativas alimenticias que existen para atenuar la producción de este gas en los sistemas ganaderos.

Crecimiento de la ganadería en el mundo

Según Delgado (1990), se plantea que en el mundo se ha presentado una "revolución pecuaria", que ha conllevado a un drástico aumento en la demanda de productos del sector pecuario, que se prolongará desde el presente hasta unos 10 a 20 años más. Este incremento en el consumo de productos de origen pecuario muestra notables diferencias entre países desarrollados y países en desarrollo, observándose que en los primeros el crecimiento es menor como consecuencia de las bajas tasas de crecimiento poblacional y la saturación en el consumo.

Por su parte, en los países en desarrollo sí se destacan unos incrementos muy significativos, duplicándose el consumo de carne anual per cápita, que en 1980 correspondió a 14 kg y en 2002 pasó a 28 kg (Steinfeld 2008). En coherencia con estas tendencias la producción de carne también experimenta altos incrementos en su producción, particularmente en los países de economías emergentes como Brasil, India y China, que en conjunto concentran casi las dos terceras partes del total de la producción de carne de los países en desarrollo y más de la mitad de la producción de leche (Steinfeld 2008).

Es previsible que estos países requieran importar grandes cantidades de cereales para el sostenimiento de estas producciones o incluso importar alimentos de origen animal para satisfacer las altas demandas. Por su parte, en los países de Latinoamérica que se consolidan como potencias en productos pecuarios, tales como Argentina y Brasil, son importantes los adelantos en la elaboración de alimentos balanceados, resultado de la disponibilidad de áreas para siembra de cereales y oleaginosas.

Es importante destacar que en América Latina y el Caribe existen aproximadamente 590 millones de hectáreas de pastos y la población ganadera es de alrededor de 330 millones de cabezas. Cerca del 78% se encuentra en pequeños productores con sistemas de producción de doble propósito (leche y carne al tiempo). Estos sistemas productivos representan el 41% de la leche producida en la región (CIAT 1993).

En Colombia, la ganadería bovina es la principal actividad del sector rural, y genera el 3,6% del PIB total y el 27,0% del PIB agropecuario (Fedegan 2006). Esta situación se presentó como consecuencia de la crisis en cultivos transitorios, resultado de la apertura económica, en la cual, una gran extensión de tierra utilizada en estos cultivos fue destinada a la ganadería, y por otra parte se continuó con la expansión de la frontera agrícola incorporando a la ganadería rastrojos y zonas de bosques tropical.

La anterior situación es planteada por Aldana (1995), quien considera que la inexistencia de otras opciones viables dentro de la agricultura, estimuló un proceso de siembra de pastos y de sustitución de algunos cultivos por ganadería. De esta manera, en Colombia el inventario ganadero bovino durante el período 1979 a 2005 creció significativamente de 15.598.984 a 25.245.716 cabezas, momento en el cual, las haciendas ganaderas diseminaron nuevas razas por todo el territorio nacional, además de nuevas variedades de pastos más productivos, con una buena adaptación a las condiciones tropicales (Kalmanovitz & López 2007).

Además, entre los objetivos sectoriales, expuestos en el Plan Estratégico de la Ganadería Colombia (PEGA 2019), la cifra proyectada del inventario ganadero bovino 2019, es de 48 millones de cabezas, que significaría un incremento superior al 100%. No obstante, el propósito del gremio ganadero es lograr estas metas en el hato bovino colombiano sin incrementar el área dedicada a esta actividad productiva; lo cual implica una reconversión tecnológica

de los sistemas de producción, incorporando estrategias de alimentación con fuentes de forrajes de alta calidad nutricional, mejoramiento de los suelos, prácticas de conservación de los recursos del entorno, adecuado manejo sanitario y de bienestar animal.

Por tanto, la ganadería bovina tanto en el mundo, como en Latinoamérica y Colombia, muestra una gran importancia económica y social en contraste con los efectos ambientales que generan estos sistemas productivos, el crecimiento de la producción y de la población animal ejercerá mayor presión sobre los recursos naturales en los cuales se sustenta.

Efectos de la ganadería en el ambiente

Los efectos ambientales de la ganadería en el mundo se han expresado tanto en el suelo, agua, atmósfera y en la disminución de las especies existentes en los bosques primarios y secundarios. Así, los impactos generados por estos sistemas productivos han propiciado la extinción y/o desplazamiento de muchas comunidades tanto vegetales como animales, y la modificación en la distribución de las comunidades bióticas dentro de los ecosistemas, es decir, el aumento de algunas especies y la disminución de otras (Steinfeld 2008). Por ejemplo, la introducción de una especie nueva (como un pasto mejorado) en un ecosistema puede afectar el número de individuos de otra población, sin llegar a extinguirlos.

La alta presión de la ganadería origina fundamentalmente erosión por el sobrepastoreo y su desarrollo en terrenos no aptos; la compactación que se genera en el suelo se relaciona directamente con la pérdida de la estructura y la disminución en la capacidad de retención de humedad; éstos, entre otros factores, ocasionan un bajo rendimiento en la producción de forrajes (Mahecha 2002).

Por otra parte, si bien los sistemas extensivos han ocasionado serios problemas en la pér-

dida de suelos frágiles y de biodiversidad, los sistemas intensivos, resultantes de profundas transformaciones tecnológicas en la actividad ganadera, han desplazado el impacto ambiental hacia otros recursos naturales como el agua y la atmósfera. Lo anterior se explica porque en su desarrollo, se ha generado un cambio en la ubicación geográfica al “acercar” los sistemas a zonas periurbanas, centros de consumo y a los lugares de abastecimiento de alimentos elaborados. Además se suma el aumento significativo del número de animales por área.

Este fenómeno de “intensificación de los sistemas productivos” es creciente debido a que la demanda mundial de carne y leche, experimenta un gran auge como consecuencia de fenómenos de urbanización de la sociedad, mejoramiento de los ingresos de las familias, crecimiento de la población y auge del comercio internacional (Delgado 1990).

En este contexto, se prevé que se incrementará la producción mundial de carne y de leche a más del doble, pasando la primera de 229 millones de toneladas en 2001 a 465 millones de toneladas en 2050 y la leche de 580 a 1.043 millones de toneladas para este mismo período (Steinfeld 2008). De igual forma el impacto ambiental ocasionado por esta actividad aumentará al mismo ritmo que las demandas mundiales de estos productos, considerando que se continúe con el actual manejo de los sistemas productivos ganaderos y no se modifiquen las prácticas de producción.

Al respecto, es posible realizar cambios sustanciales en el manejo de los sistemas ganaderos que involucran entre otras cosas su intensificación, productividad, bienes sociales y servicios ambientales (regulación hídrica, captura de carbono, conservación de la biodiversidad). Simultáneamente a lo anterior, se requiere el incremento de la cobertura vegetal, liberación de áreas críticas por su deterioro o estratégicas por su valor como fuente de servicios ambientales en especial todo lo

relacionado con la regulación del ciclo hidrológico a escala de predios y de microcuencas (Murgueitio 2002).

Efectos de la ganadería en la atmósfera

Los efectos que tiene la ganadería sobre la atmósfera, están unidos a los elementos volátiles emanados durante los procesos de transformación de los forrajes y de los residuos orgánicos; el impacto de estas sustancias es diverso, mientras unos se relacionan con efectos globales sobre el planeta, otros sólo con efectos sobre el ambiente a nivel local (Mahecha 2002).

El primero de ellos, es decir, el efecto global del metano, derivado de la actividad fermentativa sobre la atmósfera, genera un alto incremento de la temperatura global, y en consecuencia un desplazamiento de las especies continentales en dirección a los polos, con el respectivo efecto sobre los ecosistemas y especies, que no estén en capacidad de redistribuirse rápidamente. Se conoce que después de su emisión, el metano permanece en la atmósfera alrededor de de 9 a 15 años y su poder de retención de calor es 21 veces superior al del dióxido de carbono en un período de más de 100 años (Steinfeld 2008).

Johnson y Johnson (1995), señalan que el metano participa directamente en los efectos climáticos por su interacción con la energía infrarroja e indirectamente a través de las reacciones de oxidación atmosféricas que producen CO₂. Por su parte, las concentraciones de metano se han aumentado en un 150% desde el período preindustrial, hasta el presente, aunque en los últimos años se ha experimentado una disminución de su crecimiento.

Las emisiones mundiales de este gas de efecto invernadero (Tabla 1), se estiman en 500 millones de toneladas por año, de las cuales entre 70 y 120 millones provienen de la actividad bovina, siendo la especie que más contribuye a estas emisiones (Mahecha 2002).

Tabla 1. Concentraciones de los principales gases de efecto invernadero.

Gas	Concentraciones preindustriales (1750)	Concentraciones troposféricas (2008)	Potencial del calentamiento global *
Dióxido de Carbono	277 mg L ⁻¹	386 mg L ⁻¹	1
Metano	600 µg L ⁻¹	1728 µg L ⁻¹	23
Oxido nitroso	270-290 µg L ⁻¹	318 µg L ⁻¹	296

*Potencial del calentamiento global directo (PCG) relativo al CO₂ en un horizonte temporal de 100 años, y éste depende de su capacidad de absorción, reflexión, radiación y del tiempo de duración del efecto. Fuente: Steinfeld 2008

Producción de metano por los animales rumiantes

La producción de metano por parte de los microorganismos del rumen se estima entre 300 y 600 L al año en ganado adulto (González *et al.* 2006), esto representa alrededor de 80 a 110 millones de toneladas al año.

El metano es producido fundamentalmente por microorganismos del rumen durante la fermentación anaeróbica de carbohidratos solubles y carbohidratos estructurales, siendo éstos últimos preponderantes en dietas basadas en forrajes (Kurihara *et al.* 1999). Las bacterias productoras de metano son las *archaea*, las cuales constituyen un grupo microbial filogenéticamente diferente a las bacterias verdaderas (Van Soest 1994).

Las bacterias metanogénicas utilizan diferentes sustratos para la producción de metano, pero los principales son H₂ y CO₂. La eliminación de estos gases, principalmente del H₂ implica la remoción de un factor implicado en la estabilidad del pH ruminal siendo éste esencial para una óptima fermentación (Carmona 2005).

La manipulación de la dieta de los rumiantes se considera una alternativa viable para disminuir la producción de metano, y así mismo, disminuir las pérdidas energéticas en el animal. Esta alternativa toma mayor fuerza en las condiciones de trópico, donde la mayoría de los sistemas de producción ganadera tienen bajos rendimientos debido a las dietas de baja calidad (Carmona 2005).

Es importante reportar que Hess *et al.* (2002), exponen que la liberación de metano se puede disminuir con el uso de frutos *Sapindus saponaria* cuando se provee en dietas con pastos de baja calidad con o sin suplementación de leguminosa. Sin embargo, Abreu *et al.* 2003, señalan que el uso del mismo árbol en proporciones de 8% de fruto y 5% de pericarpio o 1,2% de extracto de saponinas semipurificadas (en base seca de la dieta basal) en una dieta compuesta por *Brachiaria dictyoneura* (60%) y *Cratylia argentea* (40%) no manifestó efectos sobre la disminución de las emisiones de metano. Los autores explican que aunque el efecto de los tratamientos sobre la metanogénesis no fue significativo, si se observó una reducción alta en la liberación de metano en relación con la cantidad degradada de materia seca como en la materia orgánica *in vivo*, lo cual podría reflejarse en una reducción de metano emitido por unidad de proteína animal producida, que sería útil aún cuando la cantidad total de metano emitido por animal no disminuya.

Según Lila *et al.* (2003), la producción de metano presenta una correlación negativa con la disponibilidad de energía proveniente de los alimentos, por lo tanto, una reducción en la producción de metano a través del uso de aditivos para alimentos y de la canalización de hidrógeno hacia los ácidos grasos de cadena corta y masa microbial, es deseable siempre y cuando éstos no afecten la productividad animal. Dichos autores reportan una reducción en la producción de metano *in vitro* con niveles de 1,2 a 3,2 g de saponina/L.

Según Carmona (2005), diversas evidencias muestran que la tasa de emisión de metano por fermentación ruminal, está relacionada con las características físico-químicas de la dieta, las cuales afectan el nivel de consumo y la frecuencia de alimentación. Así mismo Moss *et al.* (2000), señalan que los modelos basados en el balance químico de la fermentación han sido utilizados en la predicción de la producción de metano y que existe una correlación negativa alta entre la proporción molar de propionato y la producción de metano por unidad de sustrato fermentado. Al respecto, Carmona (2005) expresa que los autores observaron que estos modelos no tienen presente la fermentación de sustratos no carbohidráticos como la proteína, los cuales deben ser considerados.

Otra interacción importante de destacar es la existente entre los protozoarios ciliados y los microorganismos metanogénicos endo y ectosimbóticos (Finlay 2004), los organismos metanogénicos utilizan el hidrógeno disponible proveniente del metabolismo de los protozoarios (Krumholz *et al.* citado por Monsalve 2003).

Métodos químicos en la reducción de las emisiones de Metano

En países de zonas templadas es frecuente la manipulación ruminal mediante el uso de aditivos químicos (Chalupa 1988) tales como antibióticos ionóforos, de los cuales los más conocidos son monensina y la salinomycin. Estas sustancias generan cambios en la composición ruminal que ocasionan disminución de la producción de metano por unidad del producto (Moss *et al.* 2000) y aumento en la proporción de ácido propiónico, precursor glucogénico.

Lo anterior ha implicado significativos avances; sin embargo, en el trópico estas tecnologías resultan de poca aplicación debido a los altos costos y al tipo de sistemas productivos que predominan en los territorios, los cuales son en su mayor parte sistemas extensivos, con baja

aplicación de insumos externos. Por otra parte, en Europa se están cuestionando las consecuencias de los residuos de antibióticos en los sistemas de producción animal y la generación de resistencia de microorganismos patógenos a antibióticos, tanto en animales como en humanos.

Otras sustancias de reconocido uso en la reducción de metano son los aceites naturales (Jouany 1996), los cuales presentan tres vías: 1) reducción en la disponibilidad de energía fermentable, 2) la relación con el hidrógeno necesario para la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados, el cual disminuye la reserva de hidrógeno para la formación de metano, 3) la existencia de efectos adversos directos de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga y saturados de cadena media sobre los microorganismos metanogénicos (Van Nevel & Demeyer 1988, Dong *et al.* 1997).

Varios trabajos han demostrado que la adición de grasas no protegidas a la dieta de rumiantes disminuye significativamente la emisión de metano, mientras que estas adiciones no se hagan en altas cantidades que afecten negativamente el patrón de fermentación ruminal. Por tanto, es conveniente la adición de cantidades pequeñas de ácidos grasos insaturados de cadena larga, presentes, por ejemplo, en semillas de oleaginosa (algodón, soya, girasol), ya que ello genera un efecto favorable tanto en la disminución de emisión de metano como en la generación de precursores glucogénicos.

Estas alternativas, si bien resultan convenientes desde la perspectiva metabólica en países tropicales, tampoco presentan mucha aplicación dado el alto costo de materias primas de naturaleza lipídica. Por su parte, el auge de biocombustibles complica aún más el uso de estas alternativas en la nutrición animal.

Carmona (2005), plantea que el mejoramiento de las características nutricionales del forraje y la implementación de sistemas estratégicos de

suplementación, como la presencia de otros estratos vegetales en el ecosistema pastura, el tipo de sistemas silvopastoril, pueden mejorar las características fermentativas a nivel ruminal, reflejándose en mayor productividad y generalmente en una disminución en las emisiones de metano.

Como se ha mencionado, las tecnologías que mejoren la calidad de forraje resultan atractivas para las zonas tropicales donde existen una gran variedad de plantas tanto leguminosas como de especies que no sólo cumplen con propósitos nutricionales sino que presentan un alto valor nutricional para los animales y generan bajo impacto ambiental.

Efecto de la alimentación en la producción de metano

Numerosos estudios señalan que las estrategias de alimentación que aportan nitrógeno fermentable, además de mejorar el desempeño productivo de los animales, contribuyen a reducir la producción de metano por unidad de carne o de leche producida en condiciones tropicales (Monsalve 2003). Leng (1997) también encontró que en condiciones, de escasa productividad de los animales como resultado de baja digestibilidad y deficiencia de nutrientes esenciales -por ejemplo proteína cruda- en los forrajes, es posible mejorar las condiciones, modificando la fermentación ruminal a través del manejo de la dieta (uso de leguminosas), o afectando de manera selectiva las poblaciones microbiales del rumen, lo cual además de mejorar, la conversión alimenticia y la productividad animal, disminuye la emisión de metano y de otras pérdidas energéticas.

Hay diversas alternativas estudiadas para reducir las emisiones de metano por parte de los bovinos como la composición de la dieta, suplemento de aditivos como ionóforos, ácidos orgánicos, compuestos halógenos, lípidos y la selección de plantas forrajeras con altos contenidos de metabolitos secundarios (taninos y

saponinas), así como opciones en mejoramiento animal tales como la inmunización o transformación genética de microorganismos del rumen (Lascano & Cárdenas 2010).

La manipulación de la composición de la dieta puede reducir directamente la emisión de metano por los rumiantes, por ejemplo, una dieta con alto contenido de concentrados tiende a reducir la población de protozoarios en el rumen, reduce el pH ruminal, altera la proporción de acetato: propionato y disminuye la cantidad de metano producido por unidad de alimento consumido (Blaxter & Clapperton 1965). La proporción de concentrados en la dieta de rumiantes para disminuir la emisión de metano debe ser aproximadamente del 50%, lo cual resulta bastante costoso para los sistemas productivos, por tanto, se debe propender por el uso de forrajes que reduzcan la emisión de metano en vez de incentivar el uso de concentrados.

Según Lascano & Cárdenas (2010), varios estudios han demostrado que leguminosas de zonas templadas (*Hedysarium coronarium*, *Lespedeza cuneata*, *Lotus corniculatus* y *L. uliginosus*) y tropicales (*Calliandra calothyrsus*, *Flemingia macrophylla*) presentan metabolitos secundarios (taninos condensados - CT) que posiblemente reducen la metanogénesis. Lo anterior se explica porque, probablemente, tanto taninos como compuestos fenólicos pueden ser tóxicos para algunos de los microorganismos del rumen, especialmente los protozoarios ciliados, bacterias degradadoras de fibra, bacterias metanogénicas, y en consecuencia, el uso de estas plantas puede disminuir la metanogénesis.

Por su parte Tiemann *et al.* (2008), explica que las leguminosas tropicales como *Calliandra calothyrsus* y *Flemingia macrophylla*, presentan contenidos de taninos que disminuye la digestibilidad de la fibra y por tanto, se reduce la metanogénesis *in vitro*.

González *et al.* (2006), utilizaron un método con el propósito de disminuir el metano en el

rumen; en el ensayo se contaron las bacterias metanogénicas (BES ácido bromoetano sulfónico), y las bacterias *fibrobacter succinógenes* y *ruminococcus flavefaciens* y el producto redujo cuatro veces la producción de metano respecto del tratamiento control, sin embargo no se alteró la concentración de poblaciones microbianas ruminales y las bacterias metanogénicas disminuyeron 1,5 veces su concentración en el rumen con el compuesto químico. Se concluyó que el BES ejerció gran efecto de inhibición en la producción de metano ruminal, pero no alteró a las poblaciones metanogénicas ni a las que intervienen en la degradación de la fibra y puede utilizarse con éxito en la disminución de metano ruminal.

Según Montenegro & Abarca (2000) los ensayos realizados en Costa Rica, el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) presenta una mayor eficiencia en la producción de leche que la estrella africana (*Cynodon nlenfuensis*), en gran parte, por su menor producción de metano. Igualmente se concluye, que para ambas pasturas la producción de metano es mayor a medida que la edad de pastoreo se aumenta, debido al aumento en el material lignocelulósico (Carmona 2005).

Consideraciones finales

Las emisiones de metano que realizan los rumiantes a través de su proceso digestivo ejercen un impacto importante en el medio ambiente, debido a la participación que tiene este gas, tanto en el calentamiento global como en la disminución de la capa de ozono. Los anteriores son factores que inciden en el cambio climático que viene afectando la supervivencia de diversos ecosistemas y de los sistemas productivos agrícolas y pecuarios. Otro aspecto que se debe destacar de la producción de metano es que constituye una pérdida energética y por tanto un detrimento económico para los productores de ganado. Teniendo presentes las anteriores consideraciones, es primordial plantear opciones que propendan por una disminución de estas emisiones, disminuyendo los efectos so-

bre la contaminación ambiental y mejorando la eficiencia de los sistemas ganaderos.

Por otra parte, la población ganadera continúa en expansión, por el incremento de consumo de productos derivados de la actividad ganadera y como resultado del aumento del ingreso per cápita de habitantes de la cuenca del Pacífico y de países en desarrollo (como Colombia), por lo tanto, bajo condiciones tropicales, donde es común la baja calidad de las fuentes de forrajes se hace necesaria la búsqueda de opciones alimenticias que mejoren los patrones fermentativos existentes en nuestros ganados, incrementen los parámetros productivos y se generen menos emisiones de metano a la atmósfera.

En el presente trabajo se ha realizado una revisión de las principales investigaciones que han dado luces sobre el mejoramiento de los parámetros fermentativos de rumiantes a través del uso de algunas leguminosas del trópico y que constituyen el punto de partida para un estudio y conocimiento más riguroso de la eco-fisiología ruminal. Se encuentran aún, algunas contradicciones en los trabajos consultados y no son muy claras las proporciones recomendadas entre forrajes de alta calidad con forrajes de baja calidad nutricional que deben suministrarse en la dieta. Hay que tener presente, que muchos forrajes de baja digestibilidad y valor nutricional, regularmente contienen metabolitos secundarios que reducen tanto la población de protozoarios en el rumen como la de bacterias metanogénicas, lo cual posibilita una disminución de la emisión de metano a la atmósfera y mejora los patrones de fermentación ruminal.

En consecuencia, se hace necesario profundizar en este tema, analizando adecuadamente las correlaciones entre los factores que participan en el proceso, tanto ambiental como fisiológico, ya que el avance en el conocimiento de este fenómeno constituye un aporte invaluable, en la sostenibilidad del planeta y de los sistemas ganaderos existentes.

Literatura citada

- Abreu A., Carulla J.E., Kreuzer M., Lascano C., Díaz T.E., Cano A., Hess. 2003. Efecto del fruto, del pericarpio y del extracto semipurificado de saponinas de *Sapindus saponaria* sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis in vitro en un sistema RUSITEC. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias; 16: 147-154
- Aldana V. C. 1995 "Presente y futuro de la ganadería" Cega, revista Coyuntura Colombiana, vol 8 No 1, pp.37-42
- Benchaa, C., & Wang, A. V. Chaves, T. A. McAllister, & K. A. Beauchemin. 2007. Use of plant extracts in ruminant nutrition. Pages 465-489 in Advances in Medicinal Plant Research. S. N Acharya and J. E. Thomas, ed. Research Signpost, Kerala, India
- Blaxter K.L. & Clapperton. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. British Journal of nutrition V 19 p 511-522.
- Carmona J. 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 no.1 Medellín Jan./Apr.
- CIAT. 1993. Trends in CIAT commodities 1993. Working document N. 128. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali.
- Chalupa W. 1988. Manipulation of rumen fermentation. In: Haresign W. and Cole D.J.A (eds.). Recent Developments in ruminant Nutrition, Butterworths, London, U.K., 1-18
- Delgado C., Rosegrant, M., Steinfeld, H., Ehui, S. y Courbrios, C. 1990. Livestock to 2020: The next food revolution, Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 28. Washington D.C, IFPRI/FAO/IIIG (Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias /FAO/Instituto Internacional de Investigaciones ganaderas.
- FEDEGAN. 2006. Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019. Bogotá. 296 pp
- Finlay R, 2004. The rumen anaerobic fungi. En: Jouany, J.-P. (Ed.). Rumen microbial metabolism and ruminant digestion. INRA editions, Paris, France. pp. 53-70.
- González, N., Galindo, J., González, R., Sosa, Areadne; Moreira, O., Delgado, D., Martín, E., Sanabria, C., 2006. Utilización de la técnica de PCR en tiempo real y de la producción de gas in vitro para determinar el efecto del ácido bromoetano sulfónico en la metanogénesis y la población microbiana ruminal. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas, Tomo 40 Número 2: 183-189.
- Greg K, Allen G, Beard C. 1999. Genetic manipulations of rumen bacteria: from potential to reality, Australian Journal of agricultural Research, v 47, p247-256.
- Hess H.D., Monsalve L.M., Carulla J.E., Lascano C.E., Díaz T.E., Kreuzer M. In vitro evaluation of the effect of *Sapindus saponaria* on methane release and microbial populations (1.4.1). 2002. URL: http://www.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/output1_2002.pdf, consultada en Marzo de 2010
- Hess H. D, Beuret M, Lotscher I. K, Hindrichsen A, Machmuller, J. E. Carulla, C. E. Lascano, and M. Kreuzer. 2004. Ruminal fermentation, methanogenesis and nitrogen utilization of sheep receiving tropical grass hay-concentrate diets offered with *Sapindus saponaria* fruits and *Cratylia argentea* foliage. Anim.Sci. 79:177-189
- Jouany J.P. 1996. Manipulation of microbial activity in the rumen. Archives of animal Nutrition 46, 133-153
- Johnson K.A., Johnson DE. Methane emissions from cattle. J Anim Sci, 1995; 73: 2483-2492

- Kalmanovitz S, López, F. 2007, Historia de la agricultura en Colombia, Universidad Nacional de Colombia, p 144.
- Kurihara M, Magner T Mc, Crabb H .1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of nutrition*, 81: 227-234.
- Lascano C, Cárdenas E .2010. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. *Revista Brasileira de Zootecnia, J Anim Sci*; 89: 2654-2754
- Leng, R.A. 1997. Tree foliage in ruminant nutrition. *Fao Animal Production and Health. Documento No. 139, Rome.*
- Lila, Z.A, N. Mohammed, S. Kanda, T. Kamada & H. Itabashi. 2003. Effect of saponin on ruminal fermentation with particular reference to methane production in vitro. *J. Dairy Sci.* 86:3330–3336.
- Mahecha L. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuaria Vol. 15: 2*, disponible en <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/89/88>
- McCaughey W, K.Wittenberg & D. Corrigan. 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can J An Sc*; 79 (2) 221-226.
- Moss A.R, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales of Zootechnie* 49, 231-253
- Montenegro J, Abarca S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE- FAO - SIDE. Ed Nuestra Tierra.* 334 p
- Monsalve L, 2003. Suplementación de una gramínea tropical con leguminosas y *Sapindus saponaria*: Efectos sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis in vitro. Trabajo de grado para optar el título de Zootecnista, Universidad Santa Rosa de Cabal.
- Murgueitio E. 2002. Sistemas de producción ganadera y sus impactos en la transformación de los Ecosistemas andinos de Colombia En: *Memorias del Seminario Internacional sobre Transformación de Ecosistemas, Universidad Javeriana, Bogotá Agosto 15-17 Bogotá, Colombia.*
- Primavesi O, Shiraisi RT, Dos Santos M, Aparecida M, Teresinha T, Franklin P. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros em condiciones tropicales brasileiras. *Pesq agropec bras*, 39 (3) 277-283
- Santoso, B, B. Mwenya, C. Sar, Y. Gamo, T. Kobayashi, R. Morikawa, K. Kimura, H. Mizukoshi, & J. Takahashi. 2004. Effects of supplementing galacto-oligosaccharides, *Yucca schidigera* or nisin on rumen methanogenesis, nitrogen and energy metabolism in sheep. *Livest. Prod. Sci.* 91:209–217.
- Steinfeld B. 2008. La larga sombra del Ganado, problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. FAO
- Tiemann, T.T, Lascano, C, E; Kreuzer, M. 2008. The ruminal degradability of fibre explains part of the low nutritional value and reduced methanogenesis in highly tanniniferous tropical legumes. *Journal of the Science of food and agriculture.* v 88 p 1794-1803.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Second edition. Cornell University Press; p 476

Recibido: 02 de mayo de 2011
Aceptado: 08 de junio de 2011