

REVISIÓN DE LITERATURA

MÉTODOS UTILIZADOS PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN DE METANO ENDÓGENO EN RUMIANTES

Eduardo Aguiar-Zalzano¹ y Augusto Rojas- Bourrillon²

RESUMEN

La emisión de metano (CH₄) es uno de los principales impactos adversos que comete la ganadería sobre medio ambiente, este se produce en su mayoría en el rumen (87%) y se debe principalmente a la fermentación de fibra. En vacas lecheras la producción de metano aumenta de manera progresiva hasta el pico de la lactancia y permanece así hasta el final de esta, representando importantes pérdidas energéticas en el animal. Su mitigación se puede realizar mediante el uso de suplementos basados en almidones, pastos molidos, asociados con leguminosas o mediante el ensilaje, este último con resultados muy variables dependiendo de la naturaleza del material usado. Como estrategias alimenticias se han propuesto también el uso de grasas insaturadas, saponinas, aceites de diferentes semillas u oleaginosas como: linaza, algodón, canola, girasol entre otras, así como mediante el uso de aditivos como ionóforos, enzimas fibrolíticas y nitratos. Todas las alternativas han dado resultados muy variables aunque la utilización de nitratos y semilla de canola ha causado resultados más satisfactorios, pues a diferencia de las otras técnicas no reducen los niveles de producción animal y si logran disminuir la producción de CH₄. La mejoría de la productividad del bovino mediante el uso de la hormona del crecimiento, implantes y beta agonistas se han asociado indirectamente con una disminución en las emisiones de metano. Una técnica también considerada es la selección genética, demostrando que al seleccionar animales de forma tradicional se disminuye la producción de CH₄ entre un 11 y 26% en 10 años, resultando así en una alternativa fácil de emplear y que implicaría muy pocos cambios en los sistemas de producción actual. Se propone emplear la producción de metano como un indicador de selección del bovino. Investigaciones se realizan en la búsqueda de vacuna que permita controlar la población de metanogénicas del rumen.

Palabras Clave: Metano, pastos, defaunación, lípidos, ionóforos, nitratos, y genética.

¹Universidad de Costa Rica. Estudiante en Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Nutrición Animal. San José, Costa Rica.

²Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Escuela de Zootecnia. San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: augusto.rojas@ucr.ac.cr

Recibido: 2 de mayo, 2014 Aceptado: 5 de octubre, 2014

ABSTRACT

Methods utilized to reduce endogenous methane production in ruminants. The methane emission (CH₄) is one of the principal livestock's negative impact over the environment. It's mainly produced by the rumen (87%) and, it's caused by fiber fermentation. In dairy cows the methane production increases progressively to of the peak production; and remains there until it finalized, representing an important loss of energy to the animal. Mitigation can be accomplished by the use of starch supplementation, ground grasses, legumes, and ensiling with varying results depending upon the nature of the material used. Other alternative had been suggested such as the use of unsaturated fats, saponins, different kind of oils and specially oil seeds such as flax, cotton, canola, sunflower and others; also by using ionophores, fibrolityc enzymes and nitrites. All the above mentioned have given variable results, although the utilization of nitrate and canola seed have given satisfactory results, in contrast by the other techniques didn't reduce the animal production level and could reduce the CH₄ production. The improvement of productivity through de use of bovine somatotropin, implants and β agonist can indirect reduce methane emissions. A new technique was also evaluated, showing that selecting animals traditionally CH₄ production decreases between 11 and 26% in 10 years, giving the resulting as one easy alternative to employ that would cause little change in current production systems. It is proposed to use methane production as a selection criterion in bovine. Research is in progress on the development of vaccines against rumen methanogens.

Keywords: Methane, forages, defaunation, lipids, ionophores, nitrates, and genetics.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola debe sufrir mejoras con el pasar de los años, en la actualidad, debido al aceleramiento del calentamiento global, una de estas mejoras es la disminución de sus efecto perjudicial al medio ambiente, sin afectar la eficiencia productiva y garantizando la sostenibilidad de la producción en el tiempo.

El metano es un subproducto de gran importancia ambiental, ya que es considerado como uno de los principales daños que ocasiona la ganadería al medio ambiente, Murria, Bryant

y Leng (1976). Según Howden y Reyenga (1999), el metano es 20 veces más eficaz en atrapar el calor en la atmósfera que el dióxido de carbono (CO₂) en un periodo de 100 años.

El metano es un gas incoloro e inodoro producido en el rumen de las vacas (87%) y en menor grado en el intestino grueso (17%); y este representa el 52% del total de gases de efecto invernadero producidos durante la producción y procesamiento de leche, FAO (2010).

Este gas de efecto invernadero debe ser tomado muy en cuenta, esto no solo debido a que es 20 veces más poderoso que el dióxido de carbono, sino también porque afecta la eficiencia productiva del animal, ya que si el 6% del consumo de energía bruta, que se pierde en la generación de metano, pudiera ser canalizado en el aumento de peso o la producción de leche, la eficiencia de la producción podría ser mejor (Howden y Reyenga, 1999).

La producción de CH₄ entérico depende de la fermentación ruminal y de los parámetros productivos del animal, tales como peso, ganancia de peso, producción de leche y porcentaje de grasa y/o proteína, así como de las cantidades de alimento y de la microflora ruminal presente en el animal Dämmgen, Rosemann, Haenel y Hutchinson (2012). De igual forma las producciones de metano tienen variaciones durante la lactación, llegando a un máximo al momento del pico de la lactación, con niveles de 400g/día, y manteniéndose así hasta el final de esta (De Haas, Windig, Calus, Dijkstra, De Haan, Bannink y Veerkamp, 2011). La producción de metano depende de la calidad, de la dieta de tal manera que el alimentar con dietas altas en concentraciones de energía metabolizable se considera un método eficaz para reducir las emisiones de metano entérico de las vacas lecheras, con sistemas de producción normales, utilizados en la práctica (Yan, Agnew, Gordon, Patterson, Ferris y Kilpatrick, 2010). Esta mejoría en la reducción de metano está asociada a la disminución en las pérdidas de metano, que según Johnson y Johnson (1995) varían de un 2 y 12%, dependiendo de la dieta, así, al mejorarse esta, se optimiza la energía metabólica de la dieta. Datos similares son presentados por Moe y Tyrrell (1979), quienes indican que el CH₄ entérico representa una salida de 1,6 a 9,9% de la energía bruta de la ración. La producción de metano es afectada por múltiples factores, sin embargo, en términos generales, las dietas más digestibles tienen una menor producción de metano (Johnson y Johnson, 1995). Por tal

motivo estos mismos autores opinan que la manipulación de la digestibilidad del alimento es una de las formas más eficientes de disminuir la emisión de metano, coincidiendo así con lo propuesto por Beauchemin, McGinn, Benchaar y Holtshausen (2009). Otros autores como Yan et al. 2010, indican que tres factores pueden influir la emisión de metano por las vacas lecheras: la cantidad de energía, su distribución de uso y la eficiencia de su utilización.

Debido a la importancia de las emisiones de metano se han propuesto alternativas para su disminución, involucrando modificaciones en la dieta, alteraciones en la funcionalidad ruminal y la selección animal.

MITIGACIÓN DE METANO EN BOVINOS

Selección genética

Es bien conocido que la genética del animal es capaz de potenciar la eficiencia productiva de este. De Haas et al. (2011), indican que la producción endógena de metano tiene una base genética, con índices de heredabilidad entre 0,35, para la producción solo de metano endógeno y 0,58 para la producción endógena de metano por contenido de grasa y proteína, con índice de correlación genética entre la producción de metano de la primera y la última lactación de 0,36. Demostrando estos valores que aunque los efectos ambientales juegan un papel muy importante en la producción de este gas, existe un porcentaje hereditario que tiene una importante influencia. Esta variabilidad genética ha sido enfatizada por los anteriores autores, al demostrar que la producción de CH₄ depende de los niveles de producción de las vacas, con valores que oscilan entre 200 y 400g/día. De igual forma Grainger, Auldist, Clarke, Beauchemin, McGinn, Hannah, Eckard y Lowe (2008) no notaron diferencias significativas entre la producción de metano de vacas multíparas y vacas primíparas, demostrando así que los niveles de producción de los animales no varían con el pasar de los años, pues tiene un rasgo genético considerable.

Aunque la selección animal se realiza basada en rasgos como: la producción de leche y la fertilidad, también se puede emplear el efecto de la producción de metano como criterio de selección (Bell, Well, Russell, Simm y Stott 2011). Por otro lado, Yan et al. (2010) observaron que al realizar una selección de las vacas basada en altos niveles de producción de leche y la eficiencia de utilización de la energía, se puede reducir las emisiones de CH₄ de vacas lecheras. De esta manera se podría mejorar la producción de leche y a la vez disminuir el impacto ambiental de estas explotaciones. Esto está basado en el concepto planteado por estos autores, quienes indican que el CH₄ endógeno, como una proporción de la ingesta de energía, aumenta a medida que aumenta el gasto de energía en el mantenimiento y la ineficiencia de uso para la producción, mientras que se reduce con el aumento de la proporción de consumo de energía metabólica dirigido a la producción de leche y los tejidos del cuerpo. Así estos autores indican que la selección de vacas lecheras de altos niveles de producción y con una elevada eficiencia de utilización de la energía, ofrece un método eficaz para la reducción de las emisiones de CH₄ de vacas lecheras. De igual forma De Haas et al. (2011), afirman que mediante un programa clásico de selección se puede reducir las emisiones de metano entre un 11 y 26% en 10 años, expresado en kilogramos por lactancia y gramos por kilogramos de leche corregido por grasa y proteína, respectivamente. Mientras que en ganado de carne la selección de animales con mejores índices de conversión alimenticia han causado una reducción del 24 - 28% de metano (Nkrumah, Okine, Mathison, Sumid, Li, Basarab, Price, Wang y Moore, 2006; Hegarty, Goopy, Herd y McCorkell, 2007) lo que refuerza el concepto de la interacción entre estas variables.

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

Los ácidos grasos volátiles producidos en el rumen no son una fuente directa para la metanogénesis, debido a que la conversión de CO₂ e hidrógeno es un proceso lento (Hobson y Stewart, 1997) por lo tanto el CH₄ en rumen se produce por la liberación de CO₂ e hidrógeno, que se generan conforme se producen los ácidos grasos volátiles durante la fermentación de los carbohidratos (Hungate, Smith, Bauchop, Yu y Rabinowitz, 1970). La remoción del hidrógeno mediante su uso en la formación de metano es importante para la funcionalidad ruminal ya que su presencia puede inhibir el metabolismo microbiano (Sharp, Ziemer, Stern, Stahl, 1998). La producción de metano se incrementa con

la digestión de la fibra, debido al aumento en la cantidad de ácido acético en relación al ácido propiónico (Jhonson y Jhonson, 1995), así los forrajes más digestibles y fibras de calidad como la cascarilla de soya generan mayor cantidad de metano. Mientras que la fermentación de almidón genera cambios en pH ruminal, no aptos para el desarrollo de metanogénicas y mayor producción de ácido propiónico, debido al estímulo de bacterias amilolíticas, lo que conduce a una disminución en la generación de metano (Van Kessel y Russell, 1996).

Si bien el aumentar el consumo de CNF se reduce la producción de metano, esta estrategia debe considerar los riesgos de acidosis subclínica y clínica lo que afectaría el desempeño y salud del animal. Existen diferencias entre componentes de CNF, así, la inclusión de pectinas es capaz de generar cantidades importantes de ácido acético (Mauronek, Bartos y Brezina 1985) y por consiguiente aumento en la producción de metano, mientras que los azúcares solubles, como aquellos presentes en la melaza, generan butirato (Shultz, Shultz, Carnevali y Chicco, 1971) con menor generación de metano. Inclusive se informa de diferencias en almidón dependiendo de su fermentabilidad ruminal, así, es previsible 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), al sustituir maíz por cebada informa de la reducción en la emisión de metano de 4,03 a 2,81% de la energía bruta ingerida en dietas de confinamiento.

Tamaño de partícula del forraje

La molienda del forraje reduciría la producción de metano a nivel ruminal, al promover una mayor tasa de pasaje, limitando la fermentación de la fibra a nivel ruminal y por ende la disponibilidad de CO₂ e hidrógeno, para las metanogénicas (Jhonson y Jhonson 1995). Así, es de esperar menores producciones de metano en forrajes picados finos en comparación con picado grueso. Este impacto el tamaño de partícula es mayor en pastos de mayor digestibilidad, debido a que se reduce su fermentación ruminal.

Calidad del forraje

De acuerdo a Hegarty (1999) mejorar la digestibilidad del forraje en animales en pastoreo es la manera práctica de reducir las emisiones de metano por unidad de producto generado. Sin embargo se debe considerar que al incrementar la digestibilidad de un forraje se mejora el consumo y esto generalmente se asocia al aumento en CH₄ por animal, pero menor producción por kg de alimento consumido (Wittenberg, 2008). Sejian, Lai, Lakritz y Ezeji (2011), indican que esta mejoría se puede realizar también mediante mejoramiento genético de las plantas u optimizando la dieta forrajera con suplementos tipo concentrados.

Ensilajes

Mc Geough, O'Kiely, Hart, Boland, y Kenny (2010) determinaron una tendencia lineal en la reducción en la relación de metano/consumo de materia seca en novillos, conforme se aumentó la madurez del ensilaje de maíz, como resultado de un incremento en la concentración de almidón y reducción en la fibra, cambios asociados una mayor producción de ácido propiónico con respecto a acetato, lo que causa menor disponibilidad de H₂ para la formación de metano.

Aunque una relación positiva se ha determinado entre el valor de FDN y la producción de metano (Pinares-Patiño, Baumont y Martin, 2003), no hay un claro efecto de la naturaleza del forraje y la producción de metano. Pocas comparaciones entre sistemas de pastos versus ensilajes de maíz se han realizado. Martin, Ferlay, Chilliard y Doreau (2009) cuantificaron menos CH₄ por kg CMS en dos experimentos consecutivos en ensilaje de maíz, en comparación con heno. Por el contrario Mc Court, Yan y Mayne (2007) cuantificaron menos producción de CH₄ en ensilaje de pasto, comparado a ensilaje de maíz, mientras que Van Vugt, Waghorn, Clark y Woodward (2005) no observaron ninguna diferencia entre ensilaje de maíz y ensilaje de trébol blanco.

Inclusión de leguminosas

Según Wittenberg (2008) una de las mejores estrategias para reducir la emisión de metano en sistemas de pastoreo es la inclusión de leguminosas en la mezcla forrajera, lo que se atribuye a una menor proporción de carbohidratos estructurales y a mayor tasa de pasaje, lo cual modifica la fermentación ruminal hacia una mayor producción de ácido propiónico.

Uso de lípidos

Una de las opciones más evaluadas para la mitigación de CH₄, es la adición de grasas en las dietas del bovino, ya que al adicionarla se disminuyen las emisiones de este, mediante la reducción de microorganismos fermentadores en el rumen, especialmente la actividad de bacterias metanogénicas y los protozoarios, además de que los lípidos ricos en ácidos grasos insaturados, son capaces de capturar hidrógenos a través de la biohidrogenación de estos, según Johnson y Jhonson (1995) , lo que reduce la disponibilidad de H₂ para la formación de metano. Según Hegarty (1999) algunas bacterias productoras de metano están íntimamente relacionadas con protozoarios, lo que establece la asociación del conteo de protozoarios y la disminución del CH₄. Esta simbiosis metanógeno-protozoo lo confirma Hegarty (1999) al afirmar que el 37% de la metanogénesis ruminal se origina de esta simbiosis.

Mediante metaanálisis de la información disponible en ganado lechero, se determinó una disminución del 2,2% en la producción de metano por cada 1% de lípidos suplementados en la dieta (Eugene, Masse, Chiquette y Benchaar, 2008). Mientras que Beauchemin et al. 2009, analizando la información en ganado de carne y ovejas, cuantificaron que cada unidad porcentual de lípido adicionado en la dieta causó una disminución del 5,6% en metano.

La adición de lípidos se ha estudiado mediante el uso de ácidos grasos puros, aceites y oleaginosas, con respuestas inconsistentes debido a: muy poca grasa en las dietas, hidrogenación limitada de la grasa en el rumen, reducción de la fermentación ruminal, interacciones entre la grasa y Ca en las dietas y/o aumento o reducción de digestión de la celulosa (Johnson, Kincaid, Westberg, Gaskins, Lamb y Cronrath, 2002).

Se prefiere la inclusión de mezclas de ácidos grasos en lugar de ácidos puros, debido a que estudios *in vitro* han demostrado una mayor disminución en metano relacionado a efectos sinérgicos entre ácidos. (Dohme, Machmüller, Wasserfallen y Kreuzer, 2001; Soliva, Meile, Cieślak, Kreuzer, Machmüller, 2004).

La inclusión de aceite de soya, girasol, coco y linaza, han sido estudiados, siendo el más popular el aceite de coco, el cual posee una relación de ácido laurico:mirístico de 2,6:1, la cual es similar a los valores determinados *in vitro* de 4:1; 3:2 y 2,5:2,5, como los más influyentes en la disminución de la producción de metano (Soliva et al., 2004).

El impacto de los lípidos en la reducción de CH₄ se asocia con el aporte de ácidos grasos insaturados mediante la inclusión de aceites de linaza, semillas de canola y aceite de bacalao en la dieta, debido a que estos funcionan como disipadores de hidrógeno, inhibiendo directamente a las bacterias metanogénicas del rumen, generando un incremento en la síntesis de ácido propiónico (Dong, Bae, McAllister, Mathison y Cheng, 1997). El efecto depende si la fuente de lípidos se suministra como tal o en la materia prima, así, Martin, Rouel, Jouany, Doreau y Chilliard (2008) determinaron que la semilla de linaza, extrusada, logra reducir en un 38% la producción de metano, mientras que el aceite de linaza alcanza un 64%. A pesar del efecto positivo de los lípidos sobre la reducción de metano, también se informa del impacto negativo sobre el consumo. Los autores reportan que el suministro de linaza extrusada redujo en un 16% el consumo de MS, mientras que la alimentación con aceite de linaza redujo en 26% el consumo de MS. De igual forma Beauchemin et al. (2009) determinaron que la semilla de girasol y colza redujo la producción de CH₄ (g/d) en 10%, mientras que la de linaza alcanzo un 18% de reducción, con una merma también del consumo de materia seca entre 18 y 10%. La reducción del consumo se ha asociado a la disminución del 14% de digestibilidad de la FDN (Martin et al. 2008).

Debe considerarse que la merma en la producción de CH₄ acompañado de una caída en la MS digestible, puede resultar en menores índices productivos y ocasionar una menor eficiencia en el uso de los materiales alimenticios suministrados.

Si bien los lípidos pueden ser una alternativa para reducir las emisiones de metano, su inclusión puede afectar la palatabilidad, consumo, respuesta animal y componentes lácteos, lo cual tiene implicaciones a nivel de finca comercial (Odongo et al., 2007).

Ionóforos

Experiencias positivas sobre el uso de ionóforos y reducción de metano han sido documentadas, así Van Vugt et al. 2005, reportan que al ofrecer capsulas de monensina a vacas estabuladas con pasto ryegrass se redujo en 9% en las emisiones de metano (g/kg de MS), persistiendo así durante más de 2 meses después de recibir las cápsulas. De igual forma, Odongo et al. 2007, notaron que vacas lecheras alimentadas con una dieta que contenía 24 mg de monensina/kg de MS redujeron 9% la producción de metano en g/KgPV, manteniéndose por 6 meses. Debido a su clasificación como promotores de crecimiento su utilización a futuro depende de las políticas y conceptos de bienestar animal. La Unión Europea lo enlista en los productos no permitidos en la alimentación animal, por lo que su utilización es restringida, convirtiéndolo en un método no aplicable en la comunidad europea.

Defaunación ruminal

Una de las técnicas más estudiadas es la defaunación ruminal, notando que la eliminación completa de los protozoos ciliados del rumen reduce la emisión de metano entre 50 y 60%, según Ushida, Miyazaki, Kawashima (1986), mientras que Beauchemin et al. 2009, demostraron que la eliminación de protozoarios se puede lograr mediante la adición de lípidos, al causar una reducción entre 37 y 38% de la cantidad de protozoos, mientras que al adicionar semilla de canola y de girasol, se logra una reducción de metano entre 11 y 17%.

El uso de fitoquímicos en la dieta, inhibidores de protozoarios, como las saponinas provenientes de fuentes comerciales de plantas del desierto: *Yucca schidigera* (núcleo esteroideo) de México y *Quillaja saponaria* (triterpenoides) de Chile, se consideran una opción para reducir las emisiones de metano ruminal (Cheeke, 2000).

Mediante estas mismas técnicas Valdez, Bush, Goetsch y Owens (1986), observaron in vitro, que la cantidad de protozoarios disminuyeron linealmente desde 36000 a 29000/ml, conforme la concentración de saponina aumentó de 0 a 77 ppm de sustrato. Similarmente Lila, Mohammed, Kanda, Kamada y Itabashi (2003), informan de una reducción en la

actividad de los protozoos con tratamiento de saponina en estudios in vitro, sin embargo estos autores afirman que la actividad de la saponina sobre los protozoos no siempre se observa in vivo. Las saponinas han producido diferentes respuestas con respecto a la producción de metano, esta variación se puede deber a las diferencias en la fuente de saponina o nivel de dosis utilizado; pues el efecto de estas en la producción de metano, a veces, pero no siempre, produce una disminución en la digestibilidad de la fibra (Holtshausen et al. 2009)

De igual forma el uso de fumarato en la mitigación de metano ha sido ampliamente investigado, tanto in vitro como in vitro, observando resultados positivos (Asanuma, Iwamoto e Hino (1999), pero Van Zijderveld, Dijkstra, Perdok, Newbold y Gerrits (2011) reportan que la administración de cantidades considerables de Ca-fumarato (420 g/vaca por día) ha sido convertida totalmente a propionato, y este habría disminuido las emisiones de metano en sólo 11 g/d (2,6%).

La adición de nitrato en la dieta es otra alternativa evaluada, pues al suplementarlo se redujo la producción de metano en un 16%, cuando se expresa sobre una base diaria, en gramos por kilogramo de MS consumida o como porcentaje del consumo bruto de energía, mientras que cuando se expresa por kilogramo de leche, el metano se redujo en un 14%. Esta depresión en la producción de metano coincidió en gran medida con un aumento en los niveles de hidrógeno en sangre, desarrollando valores elevados de metahemoglobina, esto debido a la reducción en la pérdida de hidrogeno por medio de la producción de CH₄, aunque ningún animal tuvo signos clínicos de este tipo durante el tratamiento. (Van Zijderveld et al., 2011).

Estos autores afirman también que este proceso de mitigación del metano es mucho más eficiente en ovejas que en vacas, 78 a 89% versus 59% respectivamente, sin dar a conocer las razones por las cuales este comportamiento se desarrolla.

Uso de hormona del crecimiento (vacas lecheras) e implantes y β agonistas en ganado de carne.

Estas prácticas de manejo del bovino se han asociado indirectamente a una disminución en las emisiones de metano debido al mejoramiento en la productividad de los animales.

Autores como Capper, Castañeda, Cady, Bauman (2008) en simulación matemática sugieren una disminución del 7,3% de metano por unidad de leche producida. Similarmente el uso de implantes y beta agonistas causan mejora indirecta sobre la emisión de metano (Cottle, Nolan y Wiedemann, 2011) al mejorar las tasas de crecimiento y por lo tanto al reducir la permanencia del animal en los sistemas así como al mejorar la conversión alimenticia.

Vacunas contra bacterias metanogénicas

Se han venido realizando investigaciones en vacunas que podrían estimular el sistema inmune del bovino contra las metanogénicas (Wright, Kennedy, O'Neill 2004) sin embargo se debe considerar que su efectividad está limitada por la variabilidad geográfica y de dieta asociada a las metanogénicas (Wright, Auckland y Lynn, 2007).

Así un requisito importante de dicha vacuna es que tiene que tener una amplia actividad específica sobre las metanogénicas presentes en el rumen e inducir a una suficiente producción de anticuerpos en la saliva capaz de controlar la población de las metanogénicas presente (Wedlock, Janssen, Leahy, Shu y Buddle, 2014).

CONSIDERACIONES FINALES

La utilización de forrajes molido, asociados con leguminosas y/o más digestibles, junto a la incorporación de fuentes de de carbohidratos no fibrosos, principalmente almidón, permite una reducción en la producción de CH₄, sin embargo es necesario controlar la acidez en el rumen, pues estas técnicas pueden ocasionar procesos de timpanismo y/o acidosis ruminal.

De igual forma el empleo de técnicas de preservación de forrajes, como el ensilaje principalmente de granos o cereales, permite una reducción en la producción de este importante gas de efecto invernadero, y a la vez permite una reducción en los costos de producción, pues mediante esta técnica se puede disminuir el uso de componentes alimenticios más costosos.

Los programas de selección clásicos podrían reducir las emisiones de metano a mediano plazo, logrando así un menor impacto ambiental con un mínimo cambio en el manejo actual empleado en las explotaciones lecheras. Así mismo la utilización de tecnologías como la hormona de crecimiento, implantes y beta agonistas indirectamente reducen las emisiones al mejorar la respuesta productiva de los bovinos.

Por otro lado los ionóforos, como el ácido lasalosídico y la monensina de liberación controlada, son una opción que debe ser tomada en cuenta, ya que son capaces de aumentar la producción total de sólidos en leche, producto de un aumento en la producción, sin incrementar la producción de CH_4 , logrando así una reducción en la producción de metano por unidad de leche producida. No obstante, debido a las nuevas tendencias de ganadería el uso de estos compuestos farmacológicos está siendo regulado, obligando así a la investigación de aditivos naturales como saponinas y ácidos orgánicos como el fumarato y malico.

Otra opción que demostró una alta eficiencia en la reducción de CH_4 pudiera ser el uso estratégico de lípidos, explotando la capacidad de la biohidrogenación ruminal, así se plantea el uso de la semilla de canola triturada, pues se ha demostrado que es capaz de mitigar la producción de CH_4 , sin afectar negativamente la digestibilidad de la dieta ni la producción de leche.

La adición de nitrato a dietas de ensilado en vacas lecheras es otra opción, pues es capaz de reducir las emisiones de metano entérico, sin afectar negativamente la digestibilidad de la dieta y la producción de leche, observando también una mejora en la utilización energética del animal, pues la energía perdida por CH_4 es utilizada para producción. Sin embargo es necesario evaluar constantemente la utilización de estos compuestos, debido a que son muy tóxicos para el animal, por la producción de metahemoglobina. Investigaciones en progreso indican el potencial del uso de vacunas contra las metanogénicas del rumen aunque su variabilidad geográfica y por dieta son limitantes importantes a considerar en su eficacia.

LITERATURA CITADA

- Asanuma, N., Iwamoto, M., Hino, T. (1999). Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *Journal of Dairy Science* 82, 780–787.
- Beauchemin, K., 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, 2118–2127.
- Beauchemin, K., Mcginn, S. (2005). Methane emissions from cattle fed barley or corn diets. *Journal of Animal Science* 83, 653-661.
- Bell, M., Wall, E., Russell, G., Simm, G., Stott, A. (2011). The effect of improving cow productivity, fertility, and longevity on the global warming potential of dairy systems. *Journal of Dairy Science*.94, 3662–3678.
- Capper, J.L., Castañeda-Gutierrez, E., Cady, R.A., Bauman D.E. (2008). The environmental impact of recombinant bovine somatotopin (rbST) use in dairy production. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 9668–9673
- Cottle, D. J., Nolan, J. V., Wiedemann S. G. (2011). Ruminant enteric methane mitigation: A review. *Anim. Prod. Sci.* 51, 491–51
- Cheeke, P. (2000). Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins. *Journal of Animal Science* 77, 1-10.
- 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.

- Dohme, F., Machmüller, A., Wasserfallen, A., Kreuzer, M. (2001). Ruminant methanogenesis as influenced by individual fatty acids supplemented to complete ruminant diets. *Letters in Applied Microbiology*. 32 (1), 47–51
- 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.
- 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.
- Grainger, C., Auld, M., Clarke, T., Beauchemin, K., Mccinn, S., Hannah, M., Eckard, R., Lowe, L. (2008). Use of Monensin Controlled-Release Capsules to Reduce Methane Emissions and Improve Milk Production of Dairy Cows Offered Pasture Supplemented with Grain. *Journal of Dairy Science*. 91, 1159–1165.
- Hegarty, R. (1999). Mechanisms for competitively reducing ruminal methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Research*. 50(8), 1299–1305.
- Hegarty, R. (1999). Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 1321–1328
- Hegarty, R. S., Goopy, J. P., Herd, R. M. Y Mccorkell. B. (2007). Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *Journal of Animal Science* 85, 1479-1486.
- Hobson, P., Stewart, C. (1997). *The Rumen Microbial Ecosystem*, Chapman and Hall, London, UK.
- Holtshausen, L., Chaves, A., Beauchemin, K., Mccinn, S., Mcallister, T., Odongo, N., Cheeke, P., Benchaar, C. (2009). Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92, 2809–2821

- 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.
- 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.
- 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.
- Lila, Z., Mohammed, N., Kanda, S., Kamada, T., Itabashi, H. (2003). Effect of Sarsaponin on Ruminant Fermentation with Particular Reference to Methane Production in Vitro. *Journal of Dairy Science* 86, 3330–3336
- Martin, C., A. Ferlay, Y. Chilliard, Doreau, M. (2009). DECREASE IN METHANE EMISSIONS in dairy cows with increase in dietary linseed content *Proceedings of the British Society of Animal Science*. P 21
- Martin, C., Morgavi, D., Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale *Animal* 4, 351–365.
- 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.
- 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. Tier-physiology. Tierernaehr Futtermittler* 53, 50-58
- Mc Geough E., O'kiely, P., Hart, K., Boland, T., Kenny, D. (2010). Methane emission, feed intake, performance, digestibility and rumen fermentation of finishing beef cattle offered whole-crop wheat silages differing in grain content. *Journal of Animal Science* 88, 2703-2716

- Mc Court, A. R., Yan, T., Mayne, C. (2007). Effect of forage time on methane production from dairy cows. Page 48 in Proc. Br. Soc. Anim. Sci. BSAS, Penicuik, UK.
- Moe, P., Tyrrell, H. (1979). Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 62, 1583–1586.
- Murray, R., Bryant, A., Leng, R. (1976). Rates of production of methane in rumen and large-intestine of sheep. *British Journal of Nutrition* 36, 1–14.
- Nkrumah, J. D., Okine E. K., Mathison, G., Schmid, K.W., Li, C., Basarab, J. A., Price, M. A., Wang, Z., Moore, S. S. (2006). Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 84, 145-153.
- Odongo, N., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Or-Rashid, M., Hook, S., Gray, J., Kebreab, E., France, J., McBride, B. (2007). Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows *Journal of Dairy Science* 90, 1781–1788.
- Pinares-Patiño, C. S., Baumont, R., Martin, C. (2003). Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Canadian Journal of Animal Science*. 83, 769–777
- Sejian, V., Lai R., Lakritz, J. Ezeji, T. (2011). Measurement and prediction of methane enteric emissions. *International Journal of Meteorology* 55, 1-16
- 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

- United States Environmental Protection Agency. Methane. disponible on line: <http://www.epa.gov/methane> consultado el 1 de agosto de 2013.
- Ushida, K., Miyazaki, A., Kawashima, R. (1986). Effect of defaunation on ruminal gas and VFA production in vitro. *Japan Journal Zootech Science* 57, 71–77.
- Valdez, F., Bush, L., Goetsch, A., Owens, F. 1986. Effect of steroidal sapogenins on ruminal fermentation and on production of lactating dairy cows. *Journal. Dairy Sci.* 69, 1568–1575.
- Van Kessel J. A., Russell J. B. (1996). The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiology Ecology*. 20(4), 205–210
- Van Vugt, S., Waghorn, G., Clark, D., Woodward, S. (2005). Impact of monensin on methane production and performance of cows fed forage diets. *New Zealand Society of Animal Production* 65:362–366
- Van Zijderveld, S., Dijkstra, J., Perdok, H., Newbold, J., Gerrits, W. (2011). Dietary inclusion of diallyl disulfide, yucca powder, calcium fumarate, an extruded linseed product, or medium-chain fatty acids does not affect methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 94, 3094–3104
- Van Zijderveld, S., Gerrits, W., Apajalahti, J., Newbold, J., Dijkstra, J., Leng, R., Perdok, H. (2010). Nitrate and sulfate: Effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. *Journal of Dairy Science*. 93: 5856–5866
- Van Zijderveld, S., Gerrits, W., Dijkstra, J., Newbold, J., Hulshof, R., Perdok, H. (2011). Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 94, 4028–4038.
- Wall, E., Simm, G., Moran, D. (2010). Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. *Animal* 4:366–376.
- Wedlock, D, N., Janssen, P.H., Leahy, S.C., Shu, D., Buddle, B.M. (2013). Progress in the development of vaccines against rumen methanogens. *Science Supl* 2 244-252.
- Wittenberg, K. M. (2008). Enteric methane emissions and mitigation opportunities for Canadian cattle production systems. *Winnipeg: University of Manitoba*

<http://www.vido.org/beefinonet/otherareas/pdf/CcbMethaneemmissionsWittenburg.pdf> (accessed November 24, 2009)

- Wright, A.D.G, Auckland, C.H., Lynn, D.H. (2007). Molecular diversity of methanogens in feedlot cattle from Ontario and Prince Edward Island, Canada. *Applied and Environmental Microbiology*. 73 (13), 4206–4210.
- Wright, A. D. G, Kennedy P, O’neill C.J. (2004). Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. *Vaccine*. 22(29-30):3976–3985.
- Woodward, S., Waghorn, G., Thomson, N. (2006). Supplementing dairy cows with oils to improve performance and reduce methane—Does it work?. *New Zealand Society of Animal Production*.66:176–181.
- Yan, T., Agnew, R., Gordon, F., Porter, M. (2000). The prediction of methane energy output in dairy and beef cattle offered grass silage-based diets. *Livestock Production Science*. 64:253–263.
- Yan, T., Mayne, C., Gordon, F., Porter, M., Agnew, R., Patterson, D., Ferris, C., Kilpatrick, D. (2010). Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 93, 2630–2638.