

POTENCIAL DE LA MONENSINA PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE METANO POR PARTE DE LA GANADERÍA

Ing. Agr. Darío Colombatto, PhD. Depto. de Producción Animal, Fac. de Agronomía, Universidad de Bs. As.
www.produccion-animal.com.ar / www.produccionbovina.com

Volver a: [Principal P.B.C.](#) > [Invernada en general](#)

INTRODUCCIÓN

Existe un creciente interés en reducir el potencial de calentamiento global, causado por el incremento de la temperatura atmosférica, a través de la reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI). Por ejemplo, el Protocolo de Kyoto establece en sus considerandos que las emisiones de GEI deben reducirse en un promedio de 5.2% por debajo de los niveles de 1990 durante el período 2008-2012 para los países industrializados (Moss, 2002). Los principales gases que integran la categoría de GEI son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los llamados clorofluorcarbonados (CFC-11 y CFC-12) (Moss et al., 2000). Estos gases difieren en sus características generales y tendencias en función del tiempo (Tabla 1). En el presente trabajo nos concentraremos solamente en el gas metano.

El metano es un potente GEI, ya que su potencial de absorción de radiación es aproximadamente 21 veces superior al del CO₂ (Moss et al., 2000) (Tabla 1).

Tabla 1. Concentraciones, vida media atmosférica y tendencias de los principales GEI (IPCC, 1990)

	CO ₂	CH ₄	CFC-11	CFC-12	N ₂ O
Concentración atmosférica	(ppmv) ¹	(ppmv)	(pptv) ³	(pptv)	(ppbv) ²
Pre-industrial	280	0.8	0	0	288
Presente (1990)	355	1,72	280	484	310
Tasa de Cambio (% por año)	0,5	0,9	4	4	0,25
Vida media atmosférica (años)	50-200	10	65	130	150
Potencial de Absorción Relativa					
Por Unidad de molécula	1	21	12400	15800	206
Por Unidad de masa	1	58	3970	5750	206

Partes por millón en volumen, ²Partes por billón en volumen, ³Partes por trillón en volumen

Esto trae como consecuencia que, si bien su concentración con respecto al CO₂ es muy baja, su contribución al efecto invernadero es importante. Asimismo, dado que su tiempo medio de vida atmosférica es corto, disminuciones en su concentración pueden ser notadas en corto tiempo.

Las fuentes de emisión de gas metano se pueden separar en una primera instancia en antropogénicas o no antropogénicas, contribuyendo las primeras en un 70% del total de las emisiones (Johnson y Johnson, 1995; Kurihara y Terada, 2001). Dentro de las emisiones globales de metano, que totalizan aproximadamente 535 Tg/año (g x 10¹²), alrededor del 16% está explicado por la fermentación entérica de los animales (Figura 1) (Crutzen et al., 1986; Leng, 1993), contribuyendo los rumiantes (bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos en un 95% (US EPA, 1994) (Tabla 2).

Figura 1. Contribución de la fermentación entérica a las emisiones de metano (Kurihara y Terada, 2001)

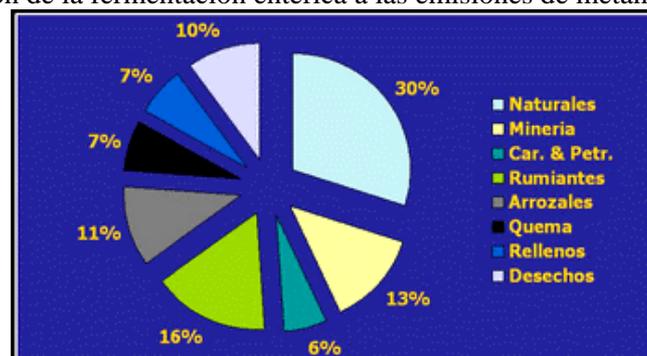


Tabla 2.- Poblaciones globales de especies animales domésticas y emisiones de metano en 1990 (US EPA, 1994)

Especie	Población (en miles)	Emisiones (Tg/año)
Bovinos	1.279.257	58,1 (72,8 %)
Bubalinos	140.758	7,7 (9,6 %)
Ovinos	1.190.500	7,6 (9,5 %)
Caprinos	557.030	2,8 (3,5 %)
Camellos	19.450	0,9 (1,1 %)
Cerdos	856.763	1 (1,2 %)
Equinos	60.920	1,1 (1,4 %)
Mulas/Burros	58.396	0,6 (0,8 %)
Totales	N/A	79,8

Algunos países como Australia, Nueva Zelanda, Irlanda, Inglaterra y Canadá realizan esfuerzos para cuantificar el impacto de la fermentación entérica en las emisiones de metano (Hegarty, 2002; Moss, 2002; McCrabb, 2002; O'Hara et al., 2003; Beauchemin and McGinn, 2005). La Argentina, en tanto, ha estimado sus valores de emisiones de metano, basadas primordialmente en modelos estadísticos y ecuaciones matemáticas, siendo las mismas de 2.44 Tg/año (US EPA, 1994).

PRODUCCIÓN DE METANO EN EL RUMEN

La fermentación microbiana que ocurre en rumen transforma los carbohidratos, proteínas y glicerol a acetato, dióxido de carbono y amoníaco, produciéndose además metano, propionato y butirato como resultado de reacciones de transferencia de protones y electrones (Van Nevel y Demeyer, 1995). El metano es un producto de desecho nutricional (O'Kelly y Spiers, 1992; Lana et al., 1998), y puede representar entre el 2 y 12 % de la energía bruta consumida por el rumiante (Johnson y Johnson, 1995). La reacción química que lleva a la producción de metano es la siguiente (Van Soest, 1994):



Excelentes revisiones bibliográficas sobre los aspectos dietarios, ambientales y microbiológicos de la producción de metano en rumiantes han sido publicadas (Johnson y Johnson, 1995; McAllister et al., 1996).

Sin embargo, la producción de metano cumple un objetivo importante en el rumen, ya que ayuda a mantener la presión parcial de hidrógeno en un nivel muy bajo, lo que evita que lactato o etanol sean los mayores productos de fermentación, permitiendo que se forme más acetato (Wolin y Miller, 1988). Esto conlleva a una mayor eficiencia del crecimiento bacteriano (Van Nevel y Demeyer, 1995) como resultado de la formación de metano en el rumen. En adición a eso, todas las reacciones del metabolismo ruminal son partes integradas en una serie de reacciones interdependientes entre sí. Por ejemplo, la maximización de la degradación de la fibra está asociada con una mayor producción de metano (Dong et al, 1999). Siguiendo esta línea de razonamiento, uno podría concluir que la eliminación de la producción de metano en el rumen no puede ser considerada una intervención separada del resto, y que sus consecuencias sobre el metabolismo animal y la fermentación del rumen en particular no pueden ser ignoradas (Van Nevel y Demeyer, 1995).

A pesar de lo mencionado, los aspectos negativos de la producción de metano en rumen (pérdidas de eficiencia en el uso de la energía por parte de los animales y contribución al efecto invernadero) han motivado un creciente interés en investigar posibles formas de disminuir las emisiones. Desde el punto de vista de la adopción de tecnologías por parte del productor de carne o leche, es claro que un enfoque que se base en las pérdidas de energía dietaria por parte de los animales, que influyen directamente sobre los márgenes económicos que obtiene cada productor, tendrá un efecto mucho más "convinciente" que el enfoque de la disminución de la emisión de GEI para evitar el calentamiento global. Czerkawski (1986) concluyó que las pérdidas de eficiencia en el uso de la energía provocadas por las emisiones de metano significaba una pérdida anual de 15.000 millones de libras esterlinas. Cuantificar la contribución de las emisiones de metano por parte de la ganadería al calentamiento global aparece como más dificultoso (Van Nevel y Demeyer, 1995). Sin embargo, un enfoque integrado debería ser tomado en cuenta por gobiernos o formadores de opinión para desarrollar políticas que contribuyan a un incremento en la productividad ganadera en una forma sostenible en el tiempo.

ESTRATEGIAS PARA MITIGAR LAS EMISIONES DE METANO

Está claro que el primer paso para desarrollar estrategias para disminuir las emisiones de metano debería ser lograr estimadores confiables para cuantificar las emisiones por parte de los animales. Al respecto, existen variados métodos, individuales o grupales, que escapan al objetivo de este trabajo pero que pueden ser

consultados por el lector interesado (Johnson et al., 1994; Johnson y Johnson, 1995; McCaughey et al., 1997; McGinn et al., 2004). Las guías del Panel Intergubernamental del cambio climático (IPCC según sus siglas en inglés) contiene una serie de ecuaciones para la cuantificación de las emisiones de metano por parte de la ganadería (IPCC, 2000). En su versión más simplificada, el método IPCC se basa en definir un factor de emisión de metano para una población específica de animales, y multiplicar este factor por el total de animales que componen la población bajo estudio. Una versión un poco más compleja requiere mayor cantidad de datos de requerimientos, consumo y tasa de conversión de metano (expresadas en unidades de energía por cada 100 unidades de energía bruta consumida) de tipos específicos de alimentos.

I) INTERVENCIONES DIETARIAS

Investigaciones de los años '60 demostraron que la producción de metano (expresado como porcentaje de la energía del alimento) estaba inversamente relacionada con el nivel de consumo voluntario de alimentos (Blaxter y Clapperton, 1965). Este concepto se ilustra claramente en la Tabla 3, en donde se puede ver que animales consumiendo dietas basadas en silaje de maíz o ryegrass anual, a niveles de mantenimiento o a 3 veces el nivel de mantenimiento, disminuían sus emisiones de metano en un 39 y 22% con silaje de maíz y ryegrass anual, respectivamente (Kurihara y Terada, 2001).

Tabla 3. Efecto del nivel de consumo en las emisiones de metano (Kurihara y Terada, 2001)

	Silaje de maíz ¹		Ryegrass anual ²	
	M	3M	M	3M
Peso vivo (kg)	728	629	687	602
Consumo MS (kg)	7.6	21.1	7.4	19.0
CH ₄ (litros/día)	297	505	267	536
CH ₄ (litros/kg MSI) ³	39.1	23.9	36.0	28.2

¹ Dieta contenía 35 % de silaje de maíz, 13 % de heno de alfalfa o pastura, y 52 % de concentrado.

² Dieta contenía 35 % de ryegrass anual, 15 % de heno de alfalfa o pastura, y 50 % de concentrado.

³ MSI: Materia seca ingerida.

Johnson y Johnson (1995) concluyeron que el porcentaje de energía bruta del alimento perdido como metano disminuía 1.6 unidades porcentuales por cada unidad de incremento del consumo por encima del nivel de mantenimiento. Asimismo, la tasa de fermentación de los sustratos es importante: aquellos alimentos que se degradan a tasas más lentas (caso de los carbohidratos estructurales como la celulosa), producen más metano que aquellos que se fermentan a tasas más rápidas (McCrabb, 2002; Eun et al., 2004).

En general, la inclusión de concentrados en dietas de rumiantes trae aparejado una disminución en el pH ruminal, lo que redundaría en una disminución de la relación acético:propiónico y de la producción de metano (Van Kessel y Russell, 1996; Lana et al., 1998; Russell, 1998). En el rumen, las bacterias usan metanogénesis o producción de propionato como estrategias para desligarse de poder reductor, siendo la relación entre ambos (metano y propionato) inversa (Lana et al., 1998).

En función de lo expuesto, Van Nevel y Demeyer (1995) concluyeron que toda aquella intervención dietaria (cantidad/calidad) que produjera una alteración en los perfiles de ácidos grasos volátiles producidos a nivel ruminal (más propionato y menos acetato) impactaría sobre la producción de metano. Al respecto, ejemplos de intervenciones incluyen:

- ◆ Incrementar el nivel de carbohidratos de alta fermentabilidad en la dieta, en desmedro de forrajes groseros (McCrabb et al., 1998; Eun et al., 2004).
- ◆ Tratamientos físicos de forrajes (molido, peleteado) o de granos (tratamientos con vapor) (Zinn, 1987).
- ◆ Tratamientos con urea y minerales en dietas de baja calidad (Leng, 1993).
- ◆ Suplementación con buffers u otras sustancias modificadoras del ambiente ruminal (monensina) (Van Nevel y Demeyer, 1995; Nagaraja et al., 1997).

Investigadores japoneses (Kurihara y Terada, 2001) revisaron bibliografía y encontraron que incrementos en la productividad (ya sea en carne o leche) conllevarían a menores emisiones de metano por unidad de producto (Figuras 2 y 3). Si bien las relaciones son cuadráticas, existe claro potencial en la reducción de emisiones de metano a través del aumento de la productividad.

Figura 2.- Relación entre la ganancia de peso y la producción de metano para Bos taurus (círculos cerrados) y Bos indicus (círculos abiertos)

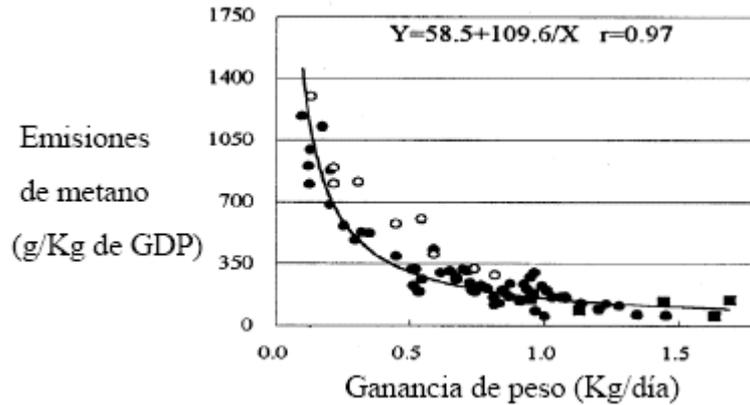
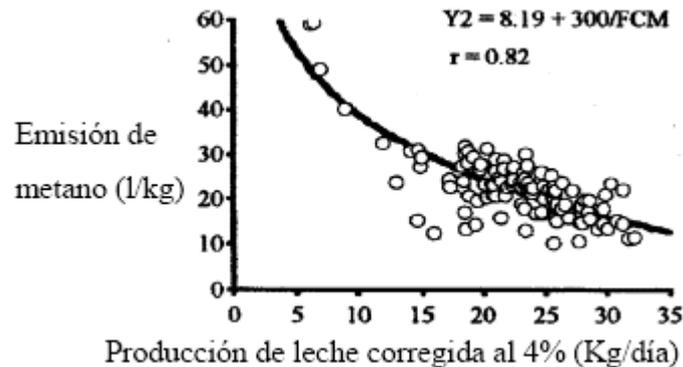


Figura 3.- Relación entre la producción de leche corregida al 4% de grasa y la producción de metano



II) USO DE ADITIVOS PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE METANO

Se han investigado variados tipos de aditivos dietarios con el fin de reducir las emisiones de metano. Entre ellos, se pueden citar a los análogos halogenados del metano (Van Nevel y Demeyer, 1995; Dong et al., 1999; Moss et al., 2000), taninos (Puchala et al., 2005); aceptores de hidrógeno que estimulan la producción de ácidos propiónico o butírico (Asanuma et al., 1999; Ungerfeld et al., 2003), extractos de plantas (Lila et al., 2003), galacto-oligosacáridos (Santoso et al., 2004), levaduras (McGinn et al., 2004), etc. También se han desarrollado vacunas específicas contra microorganismos productores de metano, tal lo reportado por McSweeney y McCrabb (2002). Sin embargo, los resultados hasta el momento han sido inconsistentes, y mucha investigación será necesaria antes de poder prescribir con certeza estos tratamientos para reducir las emisiones de metano.

Dentro de los aditivos dietarios que mejores resultados han mostrado, sobresalen los suplementos lipídicos y los antibióticos ionóforos. Los lípidos utilizados como suplementos a las dietas incluyen tanto ácidos grasos de cadena media (Machmüller et al., 2001; Machmüller et al., 2003) o aceites vegetales como el aceite de coco (Machmüller et al., 1999), girasol (McGinn et al., 2004), pescado (Fievez et al., 2003), u oliva (Ungerfeld et al., 2005). Estos compuestos reducen las emisiones de metano directamente a través de la competencia por equivalentes reductores con los microorganismos metanogénicos y el efecto tóxico directo sobre microorganismos ruminales, e indirectamente a través de la reducción de la población de protozoarios del rumen, que mantienen relaciones simbióticas con los microorganismos metanogénicos. Otros autores (Johnson y Johnson, 1995) atribuyeron esta reducción en las emisiones de metano a una reducción en la cantidad de sustrato fermentable (menor digestibilidad de la fibra). Esta reducción de la digestibilidad de la fibra que resulta del agregado de lípidos por encima de ciertos niveles en la dieta (McGinn et al., 2004) resulta una desventaja para la aplicación de estos aditivos en sistemas de producción basados en aprovechamiento de forrajes.

POTENCIAL DE LOS ANTIBIÓTICOS IONÓFOROS PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE METANO

Los antibióticos ionóforos son usados regularmente en países productores de ganado desde hace más de 40 años (Nagaraja, 1995). Dentro de estos antibióticos, el más estudiado es la monensina, desarrollada a partir de investigaciones del Dr. A. P. Raun y colaboradores en los laboratorios Lilly (Raun, et al., 1976; Raun, 1990). Los efectos de la monensina en animales de carne y leche han sido revisados exhaustivamente (Bergen y Bates, 1984;

Ipharraguerre y Clark, 2003). Bergen y Bates (1984) concluyeron que la monensina actúa sobre tres aspectos de la fermentación ruminal:

- ◆ Un incremento en la producción de propionato y una disminución en la producción de metano, resultando en un incremento en la eficiencia de utilización de la energía consumida por el animal.
- ◆ Una reducción en la degradación de la proteína y de la deaminación de los aminoácidos, que resulta en una mejora en el metabolismo proteico.
- ◆ Reducción de la producción de ácido láctico y en la formación de espuma en el rumen, lo que reduce la incidencia de desórdenes ruminales tales como acidosis y empaste.

En el presente trabajo nos concentraremos en el potencial de la monensina para reducir las emisiones de metano. La monensina reduce las emisiones de metano debido a que altera las poblaciones microbianas en el rumen, reduciendo las cantidades de bacterias que producen ácidos láctico, acético, butírico, fórmico y gas hidrógeno (susceptibles al ionóforo), favoreciendo a las que producen ácidos propiónico y succínico (resistentes al ionóforo). Esto trae como resultado una reducción en la relación acético- propiónico (Russell y Strobel, 1989). En un principio, se creyó que la monensina actuaba directamente sobre los microorganismos metanogénicos, pero luego se probó que en realidad la monensina reduce la metanogénesis porque priva a los metanogénicos de hidrógeno y ácido fórmico, los principales precursores del metano en el rumen (McGuffey et al., 2001). Sin embargo, Nagaraja et al. (1997) sostuvieron que la monensina podría inhibir la producción de metano directamente por parte de los microorganismos metanogénicos. El efecto defaunante (reducción de protozoarios) de la monensina puede ser también un factor importante, como ya fuera mencionado anteriormente, aunque esto tendría como contrapartida una posible reducción en la digestibilidad de la fibra (Hino y Asanuma, 2003).

Van Nevel y Demeyer (1995) revisaron una gran cantidad de trabajos y concluyeron que la monensina inhibe la producción de metano in vivo entre un 20 y un 25 %, mientras que Schelling (1984) reportó que la reducción puede ser de hasta el 30 %. Datos de trabajos in vitro mostraron reducciones de metano de alrededor del 32±2.8 % (Van Nevel y Demeyer, 1996). Algunos resultados experimentales in vivo se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4.- Efecto de la monensina sobre la producción de metano in vivo

Ración	Tipo de Animal	Dosis	Inhibición (%)	Referencia
Silaje y maíz partido	Novillos	3 mg/d por Kg. de PM ¹	26	Wedegaertner y Johnson (1983)
Bajo Forraje	Novillos	200 mg/d	16	Thornton y Owens (1981)
Alto Forraje	Novillos	200 mg/d	24	(1981)
Heno de alfalfa a voluntad	Novillos	33 mg por kg alimento	26	O'Kelly y Spiers (1992)
Heno de alfalfa (250 g/h)	Novillos	33 mg por kg alimento	0	O'Kelly y Spiers (1992)
Heno de alfalfa	Corderos	10 ppm	26	Joyner et al., (1979)
Heno de alfalfa y concentrados (50:50)	Corderos	20 ppm	31	Joyner et al., (1979)
Ración total mezclada, base maíz, cebada y soja	Vacas lecheras	24 ppm	10,5	Sauer et al., (1998)
Silaje de cebada, grano de cebada y supl. Proteico (74:19:6)	Novillos	33 mg por kg alimento	9	Sauer et al., (1998)

¹ PM= Peso metabólico

Sin embargo, algunos autores han sugerido que la reducción en las emisiones de metano por parte de la monensina no persistiría en el tiempo (Rumpler et al., 1986; Johnson et al., 1991; Sauer et al., 1998; Hino y Asanuma, 2003), lo que fue interpretado como una posible adaptación de las poblaciones ruminales al ionóforo (Johnson y Johnson, 1995). Esto es sorprendente porque la alteración de los perfiles de ácidos grasos volátiles (baja relación acético:propiónico) asociada con el agregado de monensina persiste por largos períodos de tiempo (40 a 240 días) (Richardson et al., 1976; Mbanzamihiigo et al., 1995; Rogers et., 1997). Estos últimos trabajos no mostraron ninguna evidencia de adaptación microbiana al agregado de la monensina. Desde el punto de vista de la estequiometría de la fermentación ruminal, esto sería posible siempre y cuando no haya otras vías para eliminar el exceso de hidrógeno del rumen (Hino y Asanuma, 2003). Tedeschi et al. (2003) discutieron esta aparente contradicción e indicaron que posiblemente está relacionada con el uso de diferentes métodos para medir la producción de metano, o a las proporciones de forraje y concentrado usadas en diferentes experimentos.

De todas maneras, aún cuando la adaptación de la microflora ruminal existiera, la reducción de las emisiones de metano como resultado del agregado de monensina a las dietas seguiría existiendo, debido a la reducción en el consumo de materia seca que se observa (Nagaraja, 1995). Con respecto a esto, O'Kelly y Spiers (1992) indicaron

que la reducción en el consumo voluntario explicaba el 55% de la reducción en las cantidades de metano producidas por novillos.

CONCLUSIONES

La producción de metano es negativa desde un punto de vista productivo y ambiental, y es necesario estudiar formas de decrecer las emisiones. Incrementos en la productividad conllevan a una menor producción de metano. La monensina es un arma para incrementar la productividad, y ha sido probado que reduce las emisiones de metano. El uso de monensina en animales de carne y leche tiene, además de sus efectos positivos sobre la eficiencia productiva, el meteorismo y la cetosis, reduce las emisiones de metano, proporcionando una eficaz arma para reducir el impacto de la ganadería sobre el efecto invernadero. En el futuro, la combinación de monensina con otros productos, tales como los aceptores alternativos de hidrógeno, puede contribuir a disminuir las emisiones de metano en forma más eficiente.

REFERENCIAS

- Asanuma, N., M. Iwamoto, and T. Hino. 1999. Effects of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganisms in vitro. *J. Dairy Sci.* 82:780-787.
- Beauchemin, K. A., and S. M. McGinn. 2005. Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *J. Anim. Sci.* 83: 653-661.
- Bergen, W. G., and D. B. Bates. 1984. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.* 58: 1465-1483.
- Blaxter, K. L. and J. L. Clapperton. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br. J. Nutr.* 19: 511-522.
- Crutzen, P. J., I. Aselmann, and W. Seiler. 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. *Tellus* 38B: 271-284.
- Czerkawski, J. W. 1986. *An introduction to Rumen Studies*. Pergamon Press, New York, USA.
- Dong, Y., H. D. Bae, T. A. Mc Allister, G. W. Mathison, and K.-J. Cheng. 1999. Effects of exogenous fibrolytic enzymes, á-bromoethanesulfonate and monensin on fermentation in a rumen simulation (RUSITEC) system. *Can. J. Anim. Sci.* 79:491-498.
- Eun, J. S., V. Fellner, and M. L. Gumpertz. 2004. Methane production by mixed ruminal cultures incubated in dual-flow fermentors. *J. Dairy Sci.* 87: 112-121.
- Fievez, V., F. Dohme, M. Danneels, K. Raes, and D. Demeyer. 2003. Fish oils as potent rumen methane inhibitors and associated effects on rumen fermentation in vitro and in vivo. *Anim. Feed Sci. Technol.* 104: 41-58.
- Hegarty, R. S. 2002. Strategies for mitigating methane emissions from livestock – Australian options and opportunities. Pages 61-65 in *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. Takahashi, J., and B. A. Young, (Eds.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Hino, T., and N. Asanuma. 2003. Suppression of ruminal methanogenesis by decreasing the substrates available to methanogenic bacteria. *Nutr. Abstr. Rev. Ser. B Liv. Feeds Feeding* 73: 1R-8R.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1990. *Climate Change: The IPCC science assessment*. Cambridge University Press, UK.
- IPCC. 2000. *Good practice guidance and uncertainly management in national greenhouse gas inventories*. Available at <http://ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/gpgaum.htm>. Accessed 20/03/2005.
- Ipharraguerre, I. R., and J. H. Clark. 2003. Usefulness of ionophores for lactating dairy cows: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106: 39-57.
- Johnson, D. E., T. M. Hill, B. R. Carmean, D. W. Lodman, and G. M. Ward. 1991. New perspectives on ruminant methane emissions. Pages 376-379 In *Energy Metabolism of Farm Animals*. C. Wenk, and M. Boessinger (Eds.). ETH, Zurich, Switzerland.
- Johnson, K. A., M. T. Huyler, H. H. Westberg, B. K. Lamb, and P. Zimmerman. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. *Environ. Sci. Technol.* 28: 359-362.
- Johnson, K. A. and D. E. Johnson. 1995. Methane emissions in cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2483-2492.
- Joyner, A. E., L. J. Brown, T. J. Fogg, and R. T. Rossi. 1979. Effect of monensin on growth, feed efficiency and energy metabolism in lambs. *J. Anim. Sci.* 48: 1065-1069.
- Kurihara, M. and F. Terada. 2001. Livestock Production and Greenhouse Gas Emission. Pages 55-68 in *Calidad de las Carnes Bovinas Argentinas*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Lana, R. P., J. B. Russell, and M. E. van Amburgh. 1998. The role of pH in regulating ruminal methane and ammonia production. *J. Anim. Sci.* 76: 2190-2196.
- Leng, R. A. 1993. Quantitative ruminant nutrition- A green science. *Aust. J. Agric. Res.* 44: 363-380.
- Lila, Z. A., N. Mohammed, S. Kanda, T. Komada, and H. Itabashi. 2003. Effect of sarsaponin on ruminal fermentation with particular reference to methane production in vitro. *J. Dairy Sci.* 86: 3330-3336.
- Machmüller, A., and M. Kreuzer. 1999. Methane suppression by coconut oil and associated effects on nutrient and energy balance in sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 79:65-72.
- Machmüller, A., F. Dohme, C. R. Soliva, M. Wanner, and M. Kreuzer. 2001. Diet composition affects the level of ruminal methane suppression by medium-chain fatty acids. *Aust. J. Agric. Res.* 52: 713-722.

- Machmüller, A., C. R. Soliva, and M. Kreuzer. 2003. Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage production. *Brit. J. Nutr.* 90: 529-540.
- Mbanzamihiigo, L., C. J. Van Nevel, and D. Demeyer. 1995. Essai sur l'adaptation de la fermentation ruminale au monensin. *Reprod. Nutr. Dev.* 35: 353-365.
- McAllister, T. A., E. K. Okine, G. W. Mathison, and K.-J. Cheng. 1996. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 76: 231-243.
- McCaughey, W. P., K. Wittenberg, and D. Corrigan. 1997. Methane production by steers on pasture. *Can. J. Anim. Sci.* 77: 519-524.
- McCraab, G. J. 2002. Nutritional options for abatement of methane emissions from beef and dairy systems in Australia. Pages 115-124 in *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. Takahashi, J., and B. A. Young, (Eds.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- McCraab, G. J., M. Kurihara, and R. A. Hunter. 1998. The effect of finishing strategy on lifetime methane production of beef cattle in northern Australia. *Proc. of the Aust. Nutr. Soc.* 22: 25.
- McGinn, S. M., K. A. Beauchemin, T. Coates, and D. Colombatto. 2004. Methane emissions from beef cattle: Effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *J. Anim. Sci.* 82: 3346-3356.
- McGuffey, R. K., L. F. Richardson, and J. I. D. Wilkinson. 2001. Ionophores for dairy cattle: Current status and future outlook. *J. Dairy Sci.* 84(E-Suppl.): E194-E203.
- McSweeney, C. S., and G. J. McCraab. 2002. Inhibition of rumen methanogenesis and its effects on feed intake, digestion, and animal production. Pages 129-137 in *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. Takahashi, J., and B. A. Young, (Eds.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Moss, A. R., J. P. Jouany, and C. J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 43: 231-253.
- Moss, A. R. 2002. Environmental control of methane production by ruminants. Pages 67-76 in *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. Takahashi, J., and B. A. Young, (Eds.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Nagaraja, T. G. 1995. Ionophores and antibiotics in ruminants. Pages 173-204 in *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*. R. J. Wallace, and A. Chesson (Eds.). VCH, Germany.
- Nagaraja, T. G., C. J. Newbold, C. J. Van Nevel, and D. I. Demeyer. 1997. Pages 523-632 In *The Rumen Microbial Ecosystem*. P. N. Hobson, and C. J. Stewart (Eds.). Blackie Academic and Professional, London, UK.
- O'Hara, P., J. Freney, and M. Ulyatt. 2003. Abatement of Agricultural Non-Dioxide greenhouse gas emissions. A study of research requirements. Ministry of Agriculture and Forestry. New Zealand.
- O'Kelly, J. C., and W. G. Spiers. 1992. Effect of monensin on methane and heat productions of steers fed Lucerne hay. *Aust. J. Agric. Res.* 43: 1789-1793.
- Puchala, R., B. R. Min, A. L. Goetsch, and T. Sahlu. 2005. The effect of a condensed tannin-containing forage on methane emission by goats. *J. Anim. Sci.* 83: 182-186.
- Raun, A. P. 1990. Ionophores – a case study in additive development. *Feed Manag.* 41:63.
- Raun, A. P., C. O. Cooley, E. L. Potter, R. P. Rathmacher, and L. F. Richardson. 1976. Effect of monensin on feed efficiency of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 43: 670-677.
- Richardson, L. F., A. P. Raun, E. L. Potter, C. O. Cooley, and R. P. Rathmacher. 1976. Effect of monensin on rumen fermentation in vitro and in vivo. *J. Anim. Sci.* 43:657-664.
- Rogers, M., J. P. Jouany, P. Thivend, and J. P. Fontenot. 1997. The effect of short term and long term monensin supplementation and its subsequent withdrawal on digestion in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 65: 113-127.
- Rumpler, W. V., D. E. Johnson, and D. B. Bates. 1986. The effect of high dietary cation concentration on methanogenesis by steers fed diets with and without ionophores. *J. Anim. Sci.* 62: 1737-1741.
- Russell, J. B., and H. J. Strobel. 1989. The effect of ionophores on ruminal fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 55: 1-6.
- Russell, J. B. 1998. The importance of pH in the regulation of ruminal acetate and propionate ratio and methane production in vitro. *J. Dairy Sci.* 81: 3222-3230.
- Santoso, B., B. Mwenya, C. Sar, Y. Gamo, T. Kobayashi, R. Morikawa, K. Kimura, H. Mizukoshi, and J. Takahashi. 2004. Effects of supplementing galacto- oligosaccharides, *Yucca schidigera* or nisin on rumen methanogenesis, nitrogen and energy metabolism in sheep. *Liv. Prod. Sci.* 91: 209-217.
- Sauer, F. D., V. Fellner, R. Kinsman, J. K. G. Kramer, H. A. Jackson, A. J. Lee, and S. Chen. 1998. Methane output and lactation response in Holstein cattle with monensin or unsaturated fat added to the diet. *J. Anim. Sci.* 76: 906-914.
- Schelling, G. T. 1984. Monensin mode of action in the rumen. *J. Anim. Sci.* 58: 1518-1527.
- Tedeschi, L. O., D. G. Fox, and T. P. Tytlutki. 2003. Potential environmental benefits of ionophores in ruminant diets. *J. Environ. Qual.* 32: 1591-1602.
- Thornton, J. H., and F. N. Owens. 1981. Monensin supplementation and in vivo methane production by steers. *J. Anim. Sci.* 52: 628-634.
- Ungerfeld, E. M., S. R. Rust, and R. J. Burnett. 2003. Effects of combinations of propionic acid and crotonic acid or 3-butenic acid on ruminal digestibility and microbial efficiency in vitro. Page 37 in *Proc. Gastr. Function Conf.* Chicago, IL, USA.
- Ungerfeld, E. M., S. R. Rust, R. J. Burnett, M. T. Yokoyama, and J. K. Wang. 2005. Effects of two lipids on in vitro ruminal methane production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 119: 179-185.
- US EPA (United States Environmental Policy Agency). 1994. International Anthropogenic methane emissions: Estimates for 1990. US EPA 230-R-93-010. Washington, DC, USA.

- Van Kessel, J. A. S. and J. B. Russell. 1996. The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiol. Ecol.* 20: 205-210.
- Van Nevel, C., and D. Demeyer. 1995. Feed additives and other interventions for decreasing methane emissions. Pages 329-349 in *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*. R. J. Wallace, and A. Chesson (Eds.). VCH, Germany.
- Van Nevel, C., and D. Demeyer. 1996. Control of rumen methanogenesis. *Environ. Monit. Assess.* 42: 73-97.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- Wedegaertner, T. C., and D. E. Johnson. 1983. Monensin effects on digestibility, methanogenesis and heat increment of a cracked corn- silage fed to steers. *J. Anim. Sci.* 57: 168-177.
- Wolin, M. J., and T. L. Miller. 1988. Microbe interactions in the rumen microbial ecosystem. Pages 343-359 In *The Rumen Microbial Ecosystem*. P. N. Hobson (Ed.). Elsevier Applied Science, New York, USA.
- Zinn, R. A. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 65: 256-266.

Volver a: [Principal P.B.C.](#) > [Invernada en general](#)