

XXIV Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal
XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal, A.G.
Puerto Varas, 9-13 de noviembre de 2015

Emisiones de metano y su mitigación: Una mirada desde distintas escalas de trabajo

Gustavo Jaurena¹ y Juan Manuel Cantet

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires – Ave. San Martín 4453 (C1417 DSE). Argentina

Methane emissions and mitigation: Viewpoint from operations of different scale

Abstract. Methane emissions from cattle production systems are of increasing concern in broad sections of the population. The nutritional origin of enteric methane generation and the rapid response it undergoes in response to altered feeding practices, has led to nutrition management being the most studied of mitigation strategies. The object of the present paper is to present some of the research results obtained at the School of Agronomy of Buenos Aires University on the relationship between nutrition and CH₄ emissions. *In vitro* techniques were used to compare the methanogenic capacities of different forages and the effects of aqueous and alcoholic extracts of condensed tannins thereon. The parallel development of a simulation model has permitted prediction of CH₄ production with respect to several variables measured at farm level.

Keywords: Livestock, Methane, Mitigation strategies, Simulation models.

Resumen. Las emisiones de metano por parte de los sistemas de ganadería bovina son motivo de creciente preocupación por parte de amplios sectores de la población. La raíz nutricional de la generación de metano entérico, así como la rápida respuesta asociada a los cambios en la alimentación, ha contribuido a que el manejo nutricional esté entre las estrategias de mitigación más frecuentemente estudiadas. El objetivo del artículo fue presentar algunos de los resultados obtenidos en la Facultad de Agronomía de la UBA sobre la relación entre la nutrición y las emisiones de CH₄. Se utilizó la técnica *in vitro* para estudiar las capacidades metanogénicas diferenciales de distintas forrajeras y el efecto de extractos acuosos y alcohólicos de taninos condensados. En forma paralela se desarrolló un modelo de simulación que permitió predecir la producción de metano a partir de variables medidas a nivel predial.

Palabras clave: Estrategias de mitigación, Ganado, Metano, Modelos de simulación.

Introducción

Los productos derivados de los animales de granja son una fuente de alimentos para amplios sectores de la población mundial, y su demanda es creciente debido al aumento poblacional y del poder adquisitivo en los países emergentes (Alexandratos y Bruinsma, 2003). Además, la producción ganadera es un medio de vida para

muchas familias (especialmente en las zonas rurales más pobres del planeta), pero simultáneamente, es una fuente significativa de gases con efecto invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático del planeta.

Cerca de la mitad de las emisiones antropogénicas acumuladas de CO₂ entre 1750 y 2011

Recibido: 2016-04-16. Aceptado: 2016-05-08.

¹ Autor para la correspondencia: Gustavo Jaurena E-mail gjaurena@agro.uba.ar

ocurrieron en los últimos 40 años (IPCC, 2014, p. 45), y para el año 2010 el rubro "Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo" (AFOLU) representó el 24% del total (49 Gt CO₂eq; IPCC, 2014: 9). A nivel global, el sector ganadero aportaría el 18% de las emisiones de GEI (medido como CO₂eq, Steinfeld *et al.*, 2006), aunque otras estimaciones sugieren valores menores (8-11%; O'Mara, 2011). Así, la ganadería contribuiría con el 37% del metano antropogénico (con un potencial de calentamiento atmosférico 25 veces mayor que el CO₂), fundamentalmente de tipo entérico emitido por los rumiantes, y el 65% de N₂O (296 veces más potente que el CO₂ en cuanto a su capacidad de

calentamiento atmosférico), fundamentalmente derivado de los efluentes (Steinfeld *et al.*, 2006).

Las consecuencias ambientales de la ganadería son diversas, sin embargo su contribución a la emisión de GEI actualmente está entre los aspectos con mayor repercusión social. La identificación de estrategias de mitigación tendientes a mejorar la sustentabilidad de los sistemas de producción es una demanda que requiere de una aproximación interdisciplinaria.

El objetivo de este artículo fue presentar algunos de los resultados que hemos obtenido en la Facultad de Agronomía de la UBA sobre la relación entre la nutrición y las emisiones de CH₄.

Nutrición y Producción de Metano

El metano producido por los rumiantes es consecuencia de un proceso natural, asociado al modo de digestión característico de estos animales. La fermentación microbiana de los alimentos en el rumen produce ácidos grasos volátiles (principalmente acético, propiónico y butírico) a partir de los azúcares liberados por hidrólisis de los polisacáridos. Sin embargo, en forma simultánea se produce y elimina metano debido a la actividad de las archaeo-bacterias metanogénicas presentes en el rumen. Esto constituye una pérdida energética significativa (2-14% de la energía bruta consumida; Johnson y Johnson, 1995), y que además presenta un impacto negativo sobre el ambiente.

La identificación y desarrollo de estrategias que colaboren en reducir las emisiones (estrategias de mitigación) es una preocupación a nivel mundial y que se está explorando desde distintos enfoques: *e.g.* mejoramiento genético, sanidad, manejo, control biológico, defaunación ruminal, desarrollo de vacunas y, por supuesto, el manejo nutricional (Eckard *et al.*, 2010).

La complejidad del problema y su naturaleza multiescalar (el metano se genera en el rumen por la actividad microbiana, pero sus efectos son globales) requiere del uso de herramientas de naturaleza muy distinta y complementaria.

En el campo de la nutrición animal, las técnicas *in vitro* son prácticas y económicas, permitiendo evaluar un gran número de alimentos en forma simultánea, pero por su propia naturaleza, sus resultados deben ser validados con posterioridad. Por otro lado, la producción de metano (PCH₄) de una región no solo es consecuencia de la cantidad y proporción de las distintas categorías animales presentes y de la calidad de los alimentos disponibles, sino que está determinada, entre otras cosas, por los biotipos de los

animales, por los períodos y número de animales productivos o improductivos. El empleo de modelos matemáticos permite predecir resultados que de otro modo serían imposibles de medir (*e.g.* inventario nacional).

Conocimientos Actuales

Estudios in vitro

La raíz nutricional de la metanogénesis ruminal y la velocidad de respuesta de los planteos alimenticios justifican que la alimentación sea la estrategia de mitigación más frecuentemente evaluada (Beauchemin *et al.*, 2008). La composición de la dieta, y particularmente el contenido de fibra (Cantet *et al.*, 2015; Jaurena *et al.*, 2015; Moe and Tyrrell, 1979), y de lípidos (Hristov *et al.*, 2013) se encuentran entre los compuestos más ampliamente estudiados.

La PCH₄ se ha asociado con el tipo de alimento y particularmente de forraje. Por ejemplo, en un meta-análisis Archimède *et al.* (2011) encontraron que la digestión de las gramíneas C4 produjo un 17% más metano que las C3 y que los animales alimentados con leguminosas de clima templado produjeron un 20% menos que los que recibieron gramíneas C4. La mayor PCH₄ asociada a las forrajeras C4 (Hess *et al.*, 2004; Kurihara *et al.*, 1999) estaría vinculada con la mayor proporción de pared celular (Van Soest, 1994) y menor digestibilidad (Minson, 1990) características de estas especies.

No obstante lo anterior, la PCH₄ varía en asociación con características de las forrajeras más allá de su composición química. Por ejemplo, recientemente encontramos que la PCH₄ varió ampliamente entre forrajeras C4 (desde 3.5 a 9.3 g kg MS⁻¹). Más aún, al evaluar la PCH₄ independientemente de la digestibilidad (por unidad de materia orgánica digerida), encontramos que *Paspalum dilatatum* produjo la menor cantidad, diferenciándose de otras megatérmicas, e

Tabla 1. Producción de metano (g/kg) expresado por Materia Seca incubada (CH₄MSi) o Materia Orgánica digerida (CH₄MOd) de ocho forrajes lavados con agua o sin lavar (Original)

	Producción de metano	
	CH ₄ MSi	CH ₄ MOd
Alfalfa	10.3a	11.5ab
<i>Milium coloratum</i>	8.3abc	12.5ca
<i>Chloris gayana</i>	9.3ab	12.2a
<i>Paspalum dilatatum</i>	3.5e	6.8c
Raigrás (<i>Lolium perenne</i>)	7.6abcd	8.7abc
<i>Urochloa brizanta</i> (ex Brach.)	4.9de	7.7bc
<i>Cenchrus ciliaris</i>	6.0cde	8.6abc
<i>Megathyrsus maximum</i>	6.8bcd	9.2abc
EEM ¹	1.42	2.17
Significancia ²		
Especie	***	**
Lavado	ns	ns
Sust×Trat	ns	ns

¹EEM - error estándar de la media.

²ns - no significativo (P>0.10).

***P<0,01.

***P<0,001.

a,b,c,d,eComparaciones según Tukey, letras diferentes en cada columna para los sustratos indican P<0,05.

incluso de la alfalfa. Sin embargo, la menor PCH₄ observada en *P. dilatatum* y *Urochloa brizanta* (con respecto a alfalfa, raigrás, *Chloris gayana* y *Milium coloratum*) es controversial respecto a lo hallado en otros trabajos.

En el mismo experimento, la eliminación de los compuestos solubles en agua no arrojó diferencias entre el material íntegro y aquel libre de los compuestos solubles (P > 0.05), sugiriendo la ausencia

de sustancias en la fracción soluble que produjeran efectos detectables sobre la PCH₄.

Estudios subsiguientes, detectaron interacciones asociadas a la especie. Así por ejemplo mientras que la pared celular fresca de *C. gayana* produjo más metano (13.3 g kg MOd⁻¹) que el forraje tal cual original (7.0 g kg MOd⁻¹; P < 0.05), en *M. coloratum* (original = 10.3; pared celular fresca = 5.4 g kg MOd⁻¹; P > 0.05) y raigrás (original: 7.1; pared celular fresca

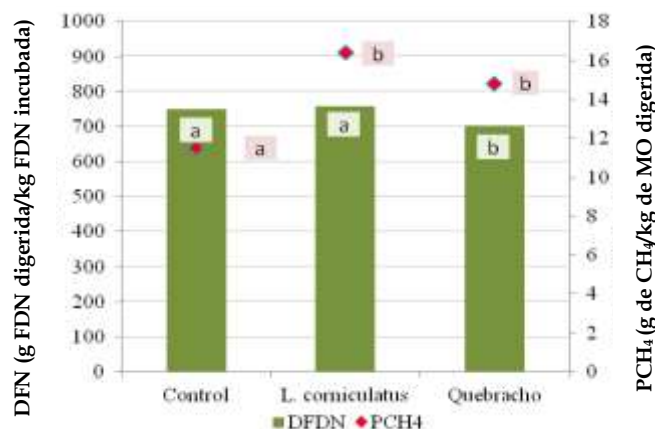


Figura 1. Digestibilidad de la fibra insoluble en detergente neutro (DFDN, columnas) y producción de metano *in vitro* (PCH₄, puntos) de forrajes sin adición de TC (Control) o con la adición de TC de extractos de *Lotus corniculatus* y *Quebracho* sp. Las letras diferentes en columnas o puntos indican (P < 0.05).

= 9.3 g kg MOD⁻¹; P > 0.05). Pese a las diferencias numéricas, no se detectaron diferencias significativas.

Por otro lado, la presencia de compuestos secundarios (e.g. saponinas o taninos condensados, TC) pueden reducir la emisión de metano (Patra y Saxena, 2009), tal como fuera demostrado para TC *in vitro* (Bueno *et al.*, 2015; Jayanegara *et al.*, 2015), e *in vivo* (Hess *et al.*, 2006).

La reducción en la PCH₄ se asocia fundamentalmente con la menor digestibilidad de la fibra (DFDN) resultante del agregado de TC (Jayanegara *et al.*, 2015; Makkar *et al.*, 1995; Mcsweeney *et al.*, 1998), sin embargo, en trabajos realizados por los presentes autores, el agregado de extractos de taninos de *Quebrachos sp* y de *Lotus corniculatus*, sorpresivamente aumentó la PCH₄ (por kg de MS o MO digerida) en raigrás y en *Megathyrus maximum*. Si bien en el tratamiento con *Quebracho* se redujo la DFDN, el metano aumentó un 29% con respecto al Control, mientras que en las botellas que contenían extracto de *Lotus*, el metano aumentó un 43%, sin generar cambios en la DFDN.

El efecto exclusivo de los TC presentes en los extractos se evaluó con el agregado de un potente inhibidor específico de los TC, el polietilenglicol (PEG). En las botellas conteniendo *Quebracho*, se detectó que el PEG inhibía el efecto negativo del extracto en la DFDN, indicando un efecto específico de los TC en la disminución de la DFDN. Sin embargo, al evaluar la PCH₄ no hubo diferencias entre botellas con o sin PEG, lo que sugiere que otros compuestos diferentes a los TC, presentes en el extracto, pudieron haber generado una situación favorable en la microbiota ruminal responsable de la mayor emisión de metano de fermentación.

Por lo tanto, compuestos diferentes a los TC presentes en los extractos evaluados serían los responsables del aumento en la PCH₄, que posiblemente generaron un ambiente favorable para los microorganismos metanogénicos sin afectar la acción

negativa de los TC en la DFDN, por una inhibición de bacterias celulolíticas (i.e. *Fibrobacter succinogenes*) y hongos anaeróbicos (Jayanegara *et al.*, 2015).

Modelos de predicción

Si bien la emisión del metano se inicia a escala microbiana, y esto puede monitorearse con rigurosidad en estudios como los antes descriptos, o con medidas sobre individuos sometidos a distintos regímenes de alimentación, las interacciones con el animal y el ambiente pueden generar resultados que distan de la aplicación lineal de dichos resultados. Con el propósito de contar con herramientas de estudio de la emisión de metano que respondan a cambios en la composición de la dieta se abordó el problema desarrollando un modelo de predicción.

En breve, el modelo permitió predecir la emisión de metano para una amplia variedad de condiciones de sistemas de producción bovina utilizando información disponible a nivel de establecimiento (Jaurena *et al.*, 2015). El modelo cuenta con una descripción detallada de los animales, la dieta y la situación productiva y su desarrollo se basó en el análisis estadístico de 180 tratamientos provenientes de 54 trabajos científicos publicados en la literatura internacional.

El modelo identificó que la proporción de la energía bruta que se pierde como metano (Y_m) estuvo fundamentalmente explicada por el consumo y el contenido de FDN, seguido por la digestibilidad de la ración (40, 39 y 21% respectivamente). El modelo es sensible al sistema de producción en el que se encuentran los animales, y la PCH₄ predicha muestra una tendencia decreciente según aumenta el consumo, y también es sensible a la digestibilidad y contenido de FDN (Figura 2). Se trata de características más cercanas a la realidad, pero obviados por otros modelos disponibles, como por ejemplo el propuesto por el IPCC (2007).

Conclusiones

La PCH₄ es la consecuencia de un fenómeno natural asociado al proceso digestivo de los rumiantes, y su estudio requiere del empleo de distintas estrategias de investigación. La técnica *in vitro* tiene la gran ventaja de ser práctica y económica, y su uso permitió identificar especies forrajeras con características asociadas a amplias variaciones en la PCH₄.

Algunos resultados han sido controversiales y ameritan subsiguientes estudios antes de sacar conclusiones definitivas, tal como los efectos

específicos y complementarios que podrían tener los TC y otros compuestos presentes en los extractos a evaluar, en la PCH₄ y la eficiencia de digestión de forrajeras utilizadas con los rumiantes.

El modelo desarrollado permitió predecir la PCH₄ para distintos sistemas de producción bovina y resultó sensible a variables destacadas que determinan la relación entre la PCH₄ y la alimentación (i.e. consumo, digestibilidad y FDN), por lo que es apto para realizar predicciones a nivel predial.



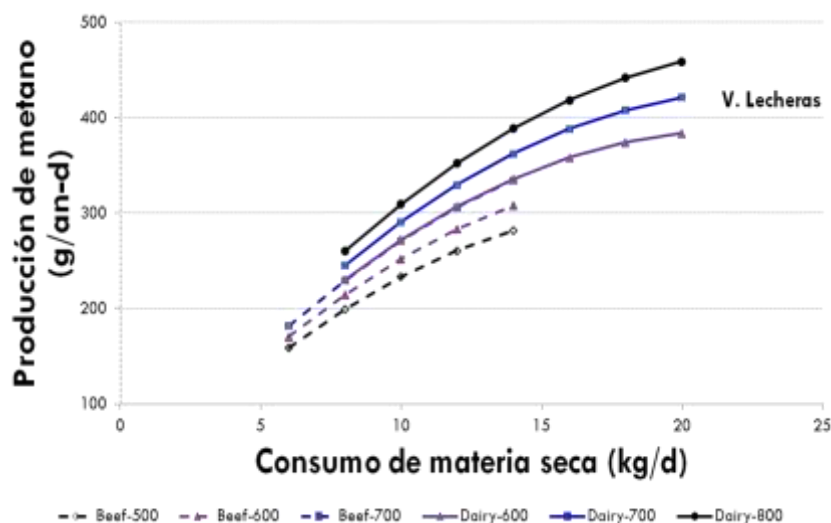


Figura 2. Producción de metano ($\text{g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en función del consumo de materia seca para diferentes digestibilidades de la dieta (500, 600, 700 y 800 g kg MS^{-1}) diferenciado para vacas lecheras (Dairy) y de cría (Beef).

Literatura Citada

- Archimède, H., M. Eugène, C. M. Magdeleine, M. Boval, C. Martin, D. P. Morgavi, P. Lecomte, M. Doreau, C. Marie Magdeleine, M. Boval, C. Martin, D. P. Morgavi, and P. Lecomte. 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167, 59-64. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003
- Beauchemin, K. A., M. Kreuzer, F. O'Mara, and T. A. McAllister. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Austr. J. Exp. Agric.* 48:21-27.
- Bueno, I. C. S., R. A. Brandi, R. Franzolin, G. Benetel, G. M. Fagundes, A. L. Abdalla, H. Louvandini, and J. P. Muir. 2015. *In vitro* methane production and tolerance to condensed tannins in five ruminant species. *Anim. Feed Sci. Technol.* 205: 1-9.
- Cantet, J. M., D. Colombatto, and G. Jaurena. 2015. Methane production and *in vitro* digestibility of low quality forages treated with a protease or a cellulase. *Anim. Prod. Sci.* doi:10.1002/cjoc.2013xxxx.
- Eckard, R.J., C. Grainger, and C. A. M. de Klein. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livest. Sci.* 130:47-56.
- Hess, H. D., R. A. Beuret, M. Lotscher, I. K. Hindrichsen, A. Machmüller, J. E. Carulla, C. E. Lascano, and M. Kreuzer. 2004. Ruminant 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.
- Hess, H. D., T. T. Tiemann, F. Noto, J. E. Carulla, and M. Kreuzer. 2006. Strategic use of tannins as means to limit methane emission from ruminant livestock. *Int. Congr. Ser.* 1293:164-167.
- Hristov, A.N.N., J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F. Montes, T. Ott, J. Firkins, A. Rots, C. Dell, A. Adesogan, A., W. Yang, J. Tricarico, E. Kebreak, G. Waghorn, J. Dijkstra, and S. Oosting. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: A review of technical options for non-CO2 emissions. *FAO Animal Production and Health*, Rome, Italy.
- IPCC. 2014. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II. In: Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mac, K. J., Masrandrea, M. D., Bilir, T. E., Catterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Gena, R. C., Girmma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCrcken, S., Mastrandrea, P. R. y White, L. L. (Eds.), 5º Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organización Meteorologica Mundial, Ginebra (Suiza).
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jaurena, G., J. M. Cantet, J. I. Arroquy, D. Colombatto, R. A. Palladino, and M. Wawrzkievicz. 2015. Prediction of the Ym factor for livestock from

- on-farm accessible data. *Livest. Sci.* 177:52-62. doi:10.1016/j.livsci.2015.04.009
- Jayanegara, A., G. Goel, H. P. S. Makkar, and K. Becker. 2015. Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population *in vitro*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 209:60-68.
- Johnson, K. A. and D. E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2483-2492.
- Kurihara, M., T. Magner, R. A. Hunter, and G. J. McCrabb. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Br. J. Nutr.* 81: 227-234. doi:10.1017/S0007114599000422
- Makkar, H. P. S., M. Blummel, and K. Becker. 1995. *In vitro* effects and interactions of tannins and saponins and fate of tannins in rumen. *J. Sci. Food. Agric.* 69:481-493.
- Mcsweeney, C. S., B. Palmer, P. M. Kennedy, D. Krause. 1998. Effect of Calliandra tannins on rumen microbial function. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 22, 4068.
- Minson, D. J., 1990. Energy utilization by ruminants, in: *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press Inc., New York, USA, pp. 150-161.
- Moe, P. W. and H. F. Tyrrell. 1979. Methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 62:1583-1586. doi:10.3168/jds.S0022-0302(79)83465-7
- O'Mara, F. P. 2011. The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167, 7-15.
- Patra, A. K. and J. Saxena. 2009. The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutr. Res. Rev.* 22:204-219. doi:10.1017/S0954422409990163
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. de Haan. 2006. *Livestock's long shadow - environmental issues and options*.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*, (2nd Ed.) Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca and London.