

PRODUCCIÓN DE GAS Y METANO DE SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

PRODUCTION OF GAS AND METHANE FROM AGRICULTURAL BYPRODUCTS IN RUMINANT DIETS

Curzaynz-Leyva, K.R.¹; Escobar-España, J.C.¹; Santillán-Gómez, E.A.¹; Tapia-Díaz, L.¹; Parral-Herrera, E.¹; Bárcena-Gama, J.R.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Ganadería. Carretera Federal México-co-Textcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

*Autor de correspondencia: rbarcena@colpos.mx

RESUMEN

Una de las estrategias para disminuir la emisión de gases efecto invernadero (GEI) en el sector agropecuario sobre todo en rumiantes, es ofrecer alimentos que disminuyan la producción, y por ende las emisiones de estos gases por el ganado. Es pertinente conocer y tomar en cuenta la producción de metano que tienen los ingredientes comúnmente utilizados en la alimentación de rumiantes, para que la energía y proteína que contengan se relacione con el potencial metanogénico. Los alimentos que se utilizan en la alimentación de rumiantes proporcionan nutrientes según sus características que derivan en una diferente proporción de los productos finales de la fermentación (H_2 y CH_4). Existen diversas estrategias para la mitigación de metano en rumiantes, entre ellas: la composición de la dieta, el uso de lípidos, defaunación de protozoarios ruminales, vacunas metanógenas, el uso de monensina, compuesto naturales de plantas y ácidos orgánicos. En general la fermentación acética (comúnmente generada por ingredientes fibrosos) produce mayores cantidades de CH_4 al disponer los metanógenos de más H_2 , conjugado con el ambiente anaerobio ruminal (CO_2), mientras que los granos y los ingredientes proteicos (aunque dependerá de su contenido de fibra) propician una fermentación propionica, disminuyendo según reportes hasta en 15 % la producción de CH_4 .

Palabras clave: Cambio climático, rumiantes, gases efecto invernadero, ingredientes, alimentación.

ABSTRACT

One of the strategies to reduce the emission of greenhouse gases (GHG) in the agricultural and livestock production sector is to offer foods that decrease production, and therefore the emissions of these gases by livestock. It is pertinent to understand and take into account the methane production capacity of the ingredients commonly used in ruminant diets, in order to reduce the methanogenic potential. The foods that are used to feed ruminants provide nutrients according to their characteristics which derive into a different proportion of the final fermentation products: hydrogen ions (H_2) and methane (CH_4). There are several strategies for methane mitigation in ruminants, among them: diet composition, use of lipids, defaunation of ruminal protozoa, methanogenic vaccines, and use of monensin, natural plant compounds and organic acids. In general, acetic fermentation (when adding fibrous ingredients) produces greater amounts of CH_4 , while grains and protein ingredients promote propionic fermentation (although it will depend on their fiber content), which makes it possible to decrease CH_4 production up to 15%.

Keywords: Climate change, ruminants, greenhouse gases, ingredients, animal nutrition.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 52-56.

Recibido: diciembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha incrementado la emisión de gases efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, mencionándose que la ganadería es uno de los principales productores de estos gases, debido a la producción de metano entérico, dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno, que son los principales gases que contribuyen al calentamiento global (Rangubhet *et al.*, 2017). Se han propuesto estrategias para disminuir la emisión de estos gases en el sector agropecuario sobre todo en rumiantes. Una de las estrategias es ofrecer alimentos que disminuyan la producción, y por ende las emisiones de estos gases por el ganado. El uso de los subproductos agroindustriales, como alimento para el ganado, pueden ser una opción viable debido al precio y calidad nutrimental de estos. Algunos estudios han reportado que ciertos subproductos pueden disminuir el número de protozoarios y arqueas metanogénicas, relacionándolas con la disminución en la producción de metano (Abubakr *et al.*, 2014). Además, es pertinente conocer y tomar en cuenta la producción de metano que tienen los ingredientes comúnmente utilizados en la alimentación de rumiantes, para que la energía y proteína que contengan se relacione con el potencial metanogénico.

Importancia de la alimentación de rumiantes en la producción de metano

Los alimentos que se utilizan en la alimentación de rumiantes proporcionan nutrientes según sus características que derivan en una diferente proporción de los productos finales de la fermentación (H₂ y CH₄) (Ramin y Huhtanen, 2013). La productividad del ganado en áreas tropicales y sub-tropicales generalmente es baja debido al bajo contenido nutricional de los alimentos disponibles, que en general son altamente lignificados, baja digestibilidad y pobre cantidad de Nitrógeno (Goel y Makkar, 2012). Estas condiciones propician baja productividad y, en consecuencia, altas emisiones absolutas de metano por unidad de producto (Aluwong *et al.*, 2011). Johnson y Johnson (1995), indicaron que las emisiones de metano, expresado como porcentaje del consumo de energía o por kg de materia seca consumida, son menores en ganado alimentado con dietas altas en concentrado que en forraje. Grainger y Beauchemin (2011) mencionaron que el tipo y nivel de grasa en la dieta puede ser el factor más importante que afecta la metanogénesis, y que un incremento del 5 al 6 % de grasa en la dieta disminuye la producción de metano en 5.1 % en el ganado. El contenido de grasa se asocia con la disminu-

ción de la digestión ruminal de la materia seca debido a que niveles altos de ácidos grasos resultan tóxicos para cierto tipo de bacterias y arqueobacterias, como las metanogénicas, y protozoarios, los que según Martin *et al.* (2010), su disminución frecuentemente se relaciona con una baja en la producción de metano en rumen.

Existen diversas estrategias para la mitigación de metano en rumiantes, estas pueden ser: la composición de la dieta, el uso de lípidos, defaunación de protozoarios ruminales, vacunas metanógenas, el uso de monensina, compuestos naturales de plantas y ácidos orgánicos (Hook *et al.*, 2010). De la energía total dada en la alimentación, alrededor de 2 a 12 % se pierde en forma de metano (Inamdar *et al.*, 2015). La alimentación a partir de subproductos generados de las cosechas es una actividad estrecha por los humanos y los sistemas de producción animal; la dependencia del uso de granos en la alimentación de rumiantes y el consumo por parte de los humanos son dos factores de competencia que limitan su uso como insumo en dietas para rumiantes. La alimentación de rumiantes para disminuir costos se basa, principalmente, en la disponibilidad local de subproductos alimenticios, como una práctica común, ya que los microorganismos del rumen pueden digerir gran cantidad de la fibra estructural de esos subproductos y pueden cubrir sus requerimientos de nutrientes para crecimiento, mantenimiento y reproducción; de ahí la necesidad de estudios, análisis, evaluación y caracterización de la gran cantidad y variedad de subproductos originados en la cosecha, agroindustria y producción de biodiesel (Paya *et al.*, 2012).

Para reducir las emisiones de GEI y la dependencia a los combustibles fósiles en las explotaciones ganaderas, los gobiernos han apoyado la producción de combustibles con fuentes renovables como el maíz y otros granos, lo cual lleva a un incremento exponencial de la producción de etanol. Los granos secos de destilaría (DDGS; por sus siglas en inglés) son el subproducto principal resultante de la producción de etanol, y por su alto contenido energético pueden sustituir mayormente a los granos (Klopfenstein *et al.*, 2008) y, en menor medida a los forrajes (Li *et al.*, 2011).

Producción de gases efecto invernadero de ingredientes utilizados en la alimentación de rumiantes

El contenido nutrimental de los ingredientes utilizados para formular las dietas en la alimentación de rumiantes

definen los patrones de fermentación y producción de AGV (Hook *et al.*, 2010), y cuyas proporciones individuales son influenciadas por la materia orgánica de las dietas, lo que está vinculado con la síntesis de CH₄ (Moss *et al.*, 2000).

Los DDGS son un subproducto que cada vez tienen mayor disponibilidad en muchos países debido al incremento en la producción de etanol. Su disponibilidad, contenido nutricional y precio, han sido objeto de investigación para su uso en la alimentación animal. Avila-Stagno *et al.* (2013) reportaron un incremento en la producción de CH₄ cuando incluyeron 40 % de DDGS, la cual relacionaron con la disminución de la DIVMS y el aumento en la producción de biogás total. Pecka-Kielb *et al.* (2015) indicaron que la producción de biogás aumenta cuando la dieta para corderos contiene 30 % de MS de DDGS, después de 24 h de incubación. Hünerberg *et al.* (2013) reportaron que la sustitución del 40 % de grano de cebada por DDGS incrementó el contenido de la grasa de la dieta en 5.4 % lo que redujo en 6.3 % la producción de CH₄ por cada unidad porcentual de la grasa y concluyeron que la producción de CH₄ dependerá directamente del contenido de grasa de los DDGS en respuesta a la adición de estos. La producción de CH₄ de ingredientes utilizados para la dieta de corderos las reportan Cobos *et al.* (2018) en el Cuadro 1, donde se puede observar que los DDGS y la pasta de soja tienen la mayor producción de CH₄ (mL) a las 72 h de incubación, a pe-

Cuadro 1. Producción de CH₄ *in vitro* por 100 mL de biogás de los ingredientes utilizados en dietas experimentales para corderos en crecimiento (Adaptado de Cobos *et al.*, 2018).

Ingredientes	Tiempo de Fermentación (h)		
	24	48	72
	CH ₄ , mL		
Grano de maíz	12.58 ^d	33.58 ^b	42.84 ^{bc}
Pasta de soja	25.39 ^{ab}	42.91 ^a	54.73 ^a
Rastrojo de maíz	27.54 ^{ab}	30.66 ^b	38.91 ^c
Salvado de trigo	21.85 ^{bc}	35.61 ^{ab}	29.21 ^d
DDGS [¶]	16.42 ^{cd}	31.09 ^b	56.84 ^a
Gluten de maíz	31.47 ^a	37.93 ^{ab}	49.21 ^{ab}
EEM [§]	1.37	1.95	1.76

[¶]DDGS: Granos secos de destilería; [§]EEM: Error estándar de la media. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (P<0.05).

sar que, en general, otros reportes mencionan que los subproductos fibrosos producen, en promedio, mayor cantidad de CH₄ que los subproductos ricos en proteína.

Por ejemplo, la cascarilla de soja generó 52 mL g.MS. incubada⁻¹ de CH₄ mientras que los DDGS generan sólo 25.9 mL g.MS. incubada⁻¹ en fermentaciones *in vitro* (Cuadro 2), aunque en relación a la MS degradada el ensilado de maíz y la cascarilla de soja son los que mayor producción de CH₄ tienen, 58.8 y 60.2 mL g.MS. degradada⁻¹ (Chen *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Producción de CH₄ de ingredientes incubados con líquido ruminal (Adaptado de Chen *et al.*, 2016).

Ingredientes	48 h de incubación	
	CH ₄ (mL g.MS.incubada ⁻¹)	CH ₄ (mL g.MS.degradada ⁻¹)
Grano de maíz	42.1 ^c	47.2 ^d
Grano de cebada	40.0 ^d	44.5 ^e
Grano de trigo	39.1 ^{de}	43.3 ^e
Salvado de trigo	36.7 ^f	51.5 ^{bc}
Cascarilla de soja	52.0 ^a	60.2 ^a
Pulpa de remolacha	46.4 ^b	53.6 ^b
DDGS [¶]	25.9 ⁱ	35.3 ^g
Pasta de soja	38.1 ^{def}	39.9 ^f
Pasta de canola	29.0 ^h	35.3 ^g
Heno de alfalfa	32.3 ^g	51.9 ^{bc}
Heno de pasto Bermuda	30.0 ^h	49.9 ^c
Ensilado de maíz	33.3 ^c	58.8 ^a
EEM [§]	1.16	0.91

[¶]DDGS: Granos secos de destilería; [§]EEM: Error estándar de la media. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (P<0.05).

Mientras que Kim *et al.* (2013) reportan que los granos de cereales son los que más CH₄ producen a diferentes tiempos de incubación, aunque la pasta de soja se agrupo con esta característica, y la cascarilla de maíz es el que menor producción de CH₄ genera, agrupándose con los DDGS y el gluten de maíz, como lo muestra el Cuadro 3.

Los factores como el consumo de alimento, digestibilidad, estado fisiológico, especie, concentrados, relación forraje:concentrado pueden afectar la producción de metano entérico, el potencial de producción de metano de diferentes ingredientes usado en dietas para rumiantes, puede diferir debido a su composición nutricional, tipo de grano, procesamiento y digestibilidad, por lo

Cuadro 3. Producción de CH₄ de diferentes ingredientes a las 48 y 72 h de incubación.

Ingredientes	Porcentaje de CH ₄ del biogás producido	
	48 h de incubación	72 h de incubación
Grano de maíz	23.00 ^a	22.33 ^a
Grano de cebada	10.87 ^c	11.80 ^b
Grano de trigo	22.13 ^{ab}	24.20 ^a
EEM [§]	0.796	1.104
Salvado de trigo	4.71 ^{ab}	5.06 ^b
Cascarilla de maíz	0.53 ^b	0.69 ^f
EEM [§]	1.211	0.531
DDGS [¶]	8.98 ^{cd}	8.69 ^{bcd}
Pasta de soya	18.32 ^a	17.88 ^a
Pasta de canola	7.30 ^{de}	7.31 ^{bcde}
Pasta de semilla de algodón	3.86 ^f	4.08 ^e
Gluten de maíz	5.57 ^{ef}	5.51 ^{cde}
Pasta de coco	8.90 ^{cd}	9.75 ^{bc}
EEM [§]	0.769	0.963

[¶]DDGS: Granos secos de destilería; [§]EEM: Error estándar de la media. Literales diferentes en la misma columna indican diferencia significativa (P<0.05).

que la disminución de metano entérico se puede realizar con una selección de ingredientes alimenticios, para ser usados en el balanceo de dietas (Kim *et al.*, 2013).

Los subproductos agroindustriales derivados de la extracción de aceite de palma (*Elaeis guinnensis* Jacq.) como la torta de palmiste, torta decantada y aceite de palma usados en dietas para cabras pueden disminuir el número de protozoarios y arqueas metanogénicas en rumen, lo cual está asociado con la disminución en la producción de metano, y un incremento en la concentración de bacterias celulolíticas (Abubakr *et al.*, 2014).

La utilización de aceite de coco, puede disminuir la producción de CH₄ debido a su elevado contenido de ácidos grasos de cadena larga, cuyo perfil es el siguiente: mirístico (17 %), palmítico (9 %), esteárico (2.5 %), oleico (7 %) y linoleico (1.8 %) (Blas *et al.*, 2010).

Machmuller *et al.* (2000) reportan una reducción de 26 % de metano en corderos, sin afectar la digestibilidad de la MS, al incluir aceite de coco en su dieta. La inclusión de 7.5 % en el suplemento ofrecido a corderos, redujo 47.05 % la población de metanógenos ruminales (Galindo *et al.*, 2009); sin embargo, Jordan *et al.* (2006) encontraron que con la adición de 375 g día⁻¹ de aceite de coco en una dieta 50:50 forraje:concentrado, para ganado de carne, se redujo el consumo y la di-

gestibilidad de la dieta sin que haya disminuido la producción de CH₄ en forma proporcional. El efecto que tiene el aceite de coco en la población microbiana parece ser desfaunante, como lo reporta Méndez *et al.* (2012), quienes encontraron una disminución del 99,9 % de los protozoarios en los tratamientos con aceite de coco, sobre todo el que se adicionó 4 %. Resultados similares fueron publicados por Cieslak *et al.* (2006) quienes evaluaron la inclusión de aceite de coco en dietas para ovinos, indicando una reducción significativa en la población de protozoarios y de la población metanogénica en el rumen.

CONCLUSIONES

LOS ingredientes que se utilizan en la alimentación de rumiantes generan diferentes cantidades de CH₄ y al interactuar entre ellos en las dietas, se genera una eficiencia alimenticia que va rela-

cionada con la fermentación ruminal y la cantidad de metabolitos producidos en el rumen. El conocimiento del potencial metanogénico de los ingredientes utilizados para formular las dietas para rumiantes, con base en los requerimientos nutricionales del animal y la manipulación de la fermentación ruminal con los ingredientes disponibles, es de suma importancia para predecir la emisión de GEI y establecer las estrategias alimenticias para su reducción. En general la fermentación acética (comúnmente generada por ingredientes fibrosos) produce mayores cantidades de CH₄ al disponer los metanógenos de más H₂, conjugado con el ambiente anaerobio ruminal (CO₂), mientras que los granos y los ingredientes proteicos propician una fermentación propionica, disminuyendo la producción de CH₄.

LITERATURA CITADA

- Abubakr A., Alimon A. R., Yaakub H., Abdullah N., Ivan M. 2014. Effect of feeding palm oil by-products based diets on total bacteria, cellulolytic bacteria and methanogenic archaea in the rumen of goats. *PLoS ONE* 9: 1-6.
- Aluwong T., Wuyep P., Allam L. 2011. Livestock-environment interactions: Methane emissions from ruminants. *African Journal of Biotechnology* 10: 1265-1269.
- Avila-Stagno J., Chaves A.V., He M.L., McAllister T.A. 2013. Increasing concentrations of wheat dry distillers' grains with solubles in iso-nitrogenous finishing diets reduce lamb performance. *Small Ruminant Research* 114: 10-19.
- Blas C., Mateos G.G., García-Rebollar P. 2010. Ingredientes para piensos (Tablas FEDNA 2010). FEDNA. Madrid,

- España. Consultado en: <http://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-pensos>
- Chen C.N., Lee T. T., Yu B. 2016. Improving the prediction of methane production determined by *in vitro* gas production technique for ruminants. *Annals of Animal Science* 16: 565-584.
- Cieslak A., Szumacher-Strabel M., Szymankiewicz E., Piekniowski M., Oleszak P., Siwinski L., Potkanski A. 2006. Coconut oil reduces protozoa count and methane release during fermentation in a Rusitec system. *Journal Of Animal And Feed Sciences*, 15: 19-22.
- Cobos M. A., Curzaynz K. R., Rivas M. I., Santillán E.A., Bárcena J. R. 2018. Efecto *in vitro* de dietas para corderos suplementadas con granos secos de destilería en la fermentación ruminal y emisiones de gases. *Agrociencia. Remitido*.
- Galindo J., González N., Delgado D., Sosa A., González R., Torres V., Cairo J. 2009. Efecto del aceite de coco en la población de bacterias metanogénicas y su relación con otros grupos microbianos del rumen en condiciones *in vitro*. Consultado en: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=193015425006>
- Goel G., Makkar H. P. S. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production* 44: 729-739.
- Grainger C., Beauchemin K. A. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 308-320.
- Hook S.E., Wright A.-D.G., McBride B.W. 2010. Methanogens: Methane Producers of the Rumen and Mitigation Strategies. *Archaea* 2010: e945785.
- Hünerberg M., McGinn S.M., Beauchemin K. A., Okine E. K., Harstad O. M., McAllister T. A. 2013. Effect of dried distillers' grains with solubles on enteric methane emissions and nitrogen excretion from finishing beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 93: 373-385.
- Inamdar A.I., Chaudhary L.C., Agarwal N., Kamra D. N. 2015. Effect of *Madhuca longifolia* and *Terminalia chebula* on methane production and nutrient utilization in buffaloes. *Animal Feed Science and Technology* 201: 38-45.
- Johnson K. A., Johnson D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483-2492.
- Jordan E., Lovett D.K., Hawkins M., Callan J.J., O'Mara F.P. 2006. The effect of varying levels of coconut oil on intake, digestibility and methane output from continental cross beef heifers. *Animal Science* 82: 859-865.
- Kim S.H., Mamuad L.L., Jeong C.D., Choi Y.J., Lee S.S., Ko J.Y., Lee S.S. 2013. *In vitro* evaluation of different feeds for their potential to generate methane and change methanogen diversity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 26: 1698-1707.
- Klopfenstein T.J., Erickson G.E., Bremer V.R. 2008. Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *Journal of Animal Science* 86: 1223-1231.
- Li Y.L., McAllister T.A., Beauchemin K.A., He M.L., McKinnon J.J., Yang W.Z. 2011. Substitution of wheat dried distillers grains with solubles for barley grain or barley silage in feedlot cattle diets: Intake, digestibility, and ruminal fermentation. *Journal of Animal Science* 89: 2491-2501.
- Machmuller A., Ossowski D.A., Kreuzer M. 2000. Comparative evaluation of the effects of coconut oil, oilseeds and crystalline fat on methane release, digestion and energy balance in lambs. *Animal Feed Science and Technology* 85: 41-60.
- Martin C., Morgavi D.P., Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4: 351-365.
- Méndez M., Obispo N., Valdez M. 2012. Efectos de la desfaunación con aceite de coco (*Cocos nucifera*) sobre el ecosistema ruminal en ovinos. *Revista de La Facultad de Agronomía UCV* 38: 89-97.
- Moss A.R., Jouany J.P., Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49: 231-253.
- Paya H., Taghizadeh A., Lashkari S., Shirmohammadi S. 2012. Evaluation of rumen fermentation kinetics of some by-products using *in situ* and *in vitro* gas production technique. *Slovak Journal of Animal Science* 45: 127-133.
- Pecka-Kielb E., Zawadzki W., Zachwieja A., Michel O., Mazur M., Miśta D. 2015. *In vitro* study of the effect of corn dried distillers grains with solubles on rumen fermentation in sheep. *Polish Journal of Veterinary Sciences* 18: 751-758.
- Ramin M., Huhtanen P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science* 96: 2476-2493.
- Rangubhet K.T., Mangwe M.C., Mlambo V., Fan Y.K., Chiang H.I. 2017. Enteric methane emissions and protozoa populations in Holstein steers fed spent mushroom (*Flammulina velutipes*) substrate silage-based diets. *Animal Feed Science and Technology* 234: 78-87.

