

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA GANADERÍA

GREENHOUSE GAS MITIGATION STRATEGIES IN LIVESTOCK PRODUCTION

Alayón-Gamboa, J.A.^{1*}; Jiménez-Ferrer, G.²; Piñeiro-Vázquez, Á.T.³; Canul-Solís, J.⁴; Albores-Moreno, S.¹; Villanueva-López, G.²; Nahed-Toral, J.²; Ku-Vera, J.C.⁵

¹El Colegio de la Frontera Sur. Av. Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial, Lerma, Campeche. C. P. 24500. ²El Colegio de la Frontera Sur. Carr. Panamericana y Periférico Sur, Barrio María Auxiliadora, San Cristóbal de las Casas, Chiapas. C. P. 29290. ³Instituto Tecnológico de Conkal. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Avenida Tecnológico s/. Conkal, Yucatán. C. P. 97345. ⁴Instituto Tecnológico de Tizimin. Final de Aeropuerto Cupul s/n. C. P. 97700 Tizimin, Yucatán. ⁵Departamento de Nutrición Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil km 15.5. Mérida, Yucatán. C. P. 97300.

*Autor de correspondencia: jalayon@ecosur.mx

RESUMEN

A nivel mundial la producción de rumiantes contribuye con 18 % del total de gases de efecto invernadero; principalmente por las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al transformarse el uso del suelo; la emisión de metano (CH₄) por fermentación entérica y manejo del estiércol y óxido nitroso (N₂O) por descomposición del estiércol en las unidades ganaderas. La emisión de CH₄ y N₂O repercuten en la producción animal. Por ello se ha estado trabajando en la búsqueda e implementación de prácticas orientadas a la mitigación de sus emisiones, con el fin de impactar en la rentabilidad de las unidades de producción. En el presente documento se hace una revisión de las estrategias prácticas que pueden ser factibles de implementar a nivel de unidades de producción bajo un enfoque de manejo del sistema ganadero.

Palabra clave: Cambio climático, gases de efecto invernadero, GEI, ganadería.

ABSTRACT

Worldwide ruminant production contributes 18 % of total greenhouse gases, mainly from carbon dioxide (CO₂) emissions as a result of land use change; methane (CH₄) emission from enteric fermentation and manure management; and nitrous oxide (N₂O) from the decomposition of manure in livestock production units. The emission of CH₄ and N₂O impacts animal production. For this reason, there has been work to develop and implement practices aimed at mitigating these emissions, in order to impact the profitability of production units. This manuscript is a review of practical strategies that may be feasible to implement at production units under the approach of livestock system management.

Keywords: Climate change, greenhouse effect gases, GEG, livestock.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el sector ganadero, y con especial énfasis los rumiantes, representa una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Anualmente contribuye con 18 % del total de GEI de origen antropogénico (Steinfeld *et al.*, 2006), principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). No obstante, la relación entre la ganadería y el cambio climático es mucho más compleja; la ganadería juega un papel crítico en la reducción de la pobreza rural y los servicios ambientales que proveen han sido subestimados y pueden ser cruciales para su adaptación en el futuro (Sejian *et al.*, 2015).

El N₂O y el CH₄ emitido por los rumiantes son los GEI más importantes (75 % del total de emisiones equivalentes en CO₂) y no solo se relaciona con problemas ambientales, también amenaza la sustentabilidad de los sistemas de producción, por una pérdida de energía en el animal (2-12 %) y una disminución en su eficiencia productiva (Hristov *et al.*, 2013; Moumen *et al.*, 2016). Por ello las prácticas orientadas a la mitigación de las emisiones CH₄ y N₂O pueden constituirse en factores importantes que impactan en la rentabilidad de un sistema de producción. En este sentido, es importante considerar que cualquier práctica de mitigación que requiera una inversión adicional y que no sea compensada por agentes externos (por ejemplo programas de gobierno, programas de organizaciones no gubernamentales, entre otros), o que afecte la productividad animal, o aumente los costos de producción, es muy probable que sea rechazada por el productor (Gerber *et al.*, 2013).

Emisión de metano por fermentación entérica

A nivel global los rumiantes producen ~80 teragramos (Tg) de CH₄ anualmente y representan el ~33 % de las emisiones de origen antropogénico (Beuchemin *et al.*, 2008). Los animales rumiantes, particularmente bovinos, búfalos, ovejas, cabras y camellos, producen cantidades importantes de metano mediante procesos digestivos normales (fermentación entérica) que ocurren en condiciones anaeróbicas por acción de la microbiota que vive en el rumen. En esta microbiota se encuentran las arqueas metanógenas que utilizan CO₂ e hidrógeno (H₂) para formar CH₄ (McAllister y Newbold, 2008). La cantidad de metano que se produce en la fermentación entérica es influenciada por varios factores entre ellos están: a) tipo y talla animal; b) digestibilidad del alimento; c) consumo de materia seca, carbohidratos totales, y carbohidratos digestibles (Wilkerson *et al.*, 1995). Al respecto se reporta que del 6 al 10 % de la energía bruta consumida por una vaca se convierte a metano y se elimina por vía respiratoria (Eckard *et al.*, 2010), por lo que reducir su emisión puede conducir a beneficios en la producción.

Emisión de metano y óxido nitroso a partir del manejo del estiércol

El estiércol del ganado y su uso como fertilizante contribuye significativamente en la emisión CH₄ y N₂O; debido a que el estiércol contiene compuestos orgánicos tales como carbohidratos y proteínas que son desdobladas por bacterias. En presencia de oxígeno (O₂) las bacterias aeróbicas convierten las estructuras de carbono (C) a CO₂, pero en ausencia de O₂ las bacterias anaeróbicas convierten las estructuras de C en CH₄ (Sejian *et al.*, 2015).

En condiciones de pastoreo extensivo, el ganado dispersa su estiércol sobre la superficie del terreno, y predomina el proceso de descomposición aeróbica con la consecuente emisión a la atmósfera de CO₂; mientras que, con los sistemas modernos de producción en confinamiento, las grandes cantidades de estiércol que se producen se pueden almacenar en tanques o lagunas bajo condiciones anaeróbicas para la producción de CH₄. Además, el estiércol de los animales contiene distintos compuestos de nitrógeno (N) que son utilizados por las bacterias en los procesos de nitrificación y desnitrificación para formar N₂O. Otras emisiones que se obtienen, en menor cantidad, a partir del manejo del estiércol son el amoníaco (NH₃), óxido nítrico (NO) y compuestos orgánicos volátiles distintos al CH₄ (COVDM).

Estrategias de mitigación

La mitigación de los GEI en la ganadería comprende la identificación de las diferentes fuentes de emisión en el sistema de producción. Las estrategias o acciones de mitigación pueden orientarse a disminuir la producción de los GEI, o aumentar los mecanismos de captura (fuentes sumidero) de los compuestos críticos que promueven la formación de GEI.

A nivel de unidades de explotación, las prácticas de mitigación pueden encaminarse en las siguientes áreas: a) A nivel de los animales y su alimentación; prácticas en el manejo alimenticio y nutrición, modificación en el ambiente ruminal, mejoramiento reproductivo y genético; b) A nivel del sistema de manejo; mejora y manejo de la pradera y de fuentes alimenticias, manejo de la salud animal, y manejo del estiércol.

El énfasis se ha puesto en las estrategias de mitigación relacionadas con el primer inciso, en especial sobre las modificaciones en la alimentación, la fermentación entérica, el manejo del estiércol y deshechos (Gerber *et al.*, 2013). Estos aspectos se abordarán en este documento, debido a que del 40 al 60 % del total de los GEI de la ganadería provienen de la fermentación entérica, el manejo del estiércol y las diferentes actividades relacionadas con la obtención de alimento para los animales (Sejian *et al.*, 2015). Idealmente las estrategias de mitigación se encaminan a disminuir la producción de CH₄, sin alterar la producción animal y mejorando la eficiencia de conversión del alimento.

Prácticas a nivel de unidad de explotación

En el contexto de las unidades de producción ganadera existe un amplio abanico de tecnologías basadas en las buenas prácticas y en la agroforestería para mitigar las emisiones de los GEI. Los sistemas silvopastoriles (SS), a diferencia de otras estrategias de mitigación, son los que se han determinado como los de mayor factibilidad de adopción entre los pequeños productores en el sureste de México (Jiménez-Ferrer *et al.*, 2015). La diversidad de arreglos para el manejo de sistemas silvopastoriles han ayudado a transitar de una ganadería de altos insumos, a una ganadería orgánica con bajos insumos, como lo demuestran las experiencias de Chiapas (Nahed-Toral *et al.*, 2013). En los sistemas de manejo extensivo se ha aprovechado la diversidad y riqueza vegetal de las explotaciones mediante su uso como forraje, por su fácil acceso para el productor. Los sistemas silvopastoriles representan una de las mejores opciones para mitigar las emisiones de CH₄ y N₂O, ya que el uso de los árboles brindan múltiples beneficios; tales como forraje, leña, alimento, medicina, sombra, fertilizan el suelo al incorporar las leguminosas fijadoras de nitrógeno, y reducen el efecto de deforestación al usar la vegetación arbórea en sucesión (Alayón-Gamboa *et al.*, 2016). Respecto a la mitigación de emisiones de CO₂ se ha señalado que con árboles dispersos en los potreros es posible promover una captura de carbono de 88.9 toneladas de carbono por hectárea, y con cercos vivos de 87.5 t C ha⁻¹, mientras que con monocultivo de pasturas solo se obtiene 60.6 t C ha⁻¹ (Jiménez *et al.*, 2008). Asimismo, los cercos vivos con *Gliricidia sepium* promueven un almacenamiento de carbono en el suelo de 20.4 t C ha⁻¹ año⁻¹, en comparación con 19.2 t C ha⁻¹ año⁻¹ de las pasturas en monocultivo (Villanueva-López *et al.*, 2015).

Prácticas de manejo de la alimentación animal

Los países Latinoamericanos se caracterizan por poseer una baja producción de carne y leche de origen animal y con alta producción de emisiones de metano (69 %); los productores poseen muchos animales que son poco productivos, en lugar de mantener pocos animales con alta producción. Se conoce bien que existe una relación inversa entre la productividad animal y las emisiones de CH₄, cuando ésta se expresa como intensificación de la emisión [cantidad de CH₄ emitido por unidad de producto obtenido (carne, leche)] (Gerber *et al.*, 2013; Hristov *et al.*, 2013). Las dos principales limitantes que se presentan para aumentar la productividad animal son un bajo potencial genético y una pobre disponibilidad en cantidad y calidad de alimentos que limitan su eficiencia de utilización (Tarawali *et al.*, 2011). Las estrategias

utilizadas para superar estas limitaciones, si bien tienen un fuerte impacto en la productividad animal, presentan bajos a medios impactos en la mitigación de CH₄ y N₂O en los sistemas de producción animal (Cuadro 1).

Para superar la limitación en la alimentación y disminuir las emisiones de CH₄ se ha ocupado de la suplementación. La práctica de suplementación con mayor posibilidad de adopción por los productores es el uso de alimentos verdes provenientes de follajes arbóreos y pastos de buena calidad (ej. *Pennisetum purpureum*) (Owen *et al.*, 2012). También se ha utilizado la suplementación con fuentes de N (solución de urea de 0.5 a 3 %) para eliminar la limitación de proteína que presentan las dietas a base de pajas y rastrojos. Otras fuentes de suplementación para mejorar la calidad alimenticia han sido la incorporación de nitrato, calcio (Ca), fósforo (P), Cu y Zn (Hristov *et al.*, 2013). También se han utilizado alimentos concentrados, aditivos como grasas, hormonas y promotores de crecimiento (ionóforos; implantes de hormonas, acetato de melengestrol, acetato de trembolona; uso de β -agonistas, rectopamina, zilpaterol). El uso de concentrados ricos en carbohidratos no estructurales (azúcares, almidón) a concentraciones arriba de 35 % de la dieta, provoca una reducción en la producción e intensidad de emisión de CH₄, al reducirse las fuentes de hidrógeno en el rumen, al mismo tiempo que se incrementa el consumo y degradación del alimento, el flujo ruminal del alimento, y un incremento en la captura de hidrógeno mediante la mayor producción de ácido propiónico. No obstante, también se incrementa la emisión de CH₄ vía estiércol y se

Cuadro 1. Estrategias de manejo animal que ofrecen una reducción en la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero distintas al CO₂ (Modificado de Hristov *et al.*, 2013).

Categoría	Especie	Efecto en productividad	¹ Potencial mitigación CH ₄	¹ Potencial mitigación N ₂ O	² Recomendado
Promotores de crecimiento	Bovinos carne y cerdos	Incremento	Medio	Bajo	Sí; depende de la regulación sanitaria para uso
Selección genética para consumo de alimento residual	Bovinos carne, leche y cerdos	No	Bajo	Inconsistente	Sí; requiere de mayor investigación
Mejora en Salud animal	Todas	Incremento	Bajo	Bajo	Sí
Disminución de mortalidad animal	Todas	Incremento	Bajo	Bajo	Sí
Reducción en días de alimentación y edad de sacrificio	Todas	No	Medio	Medio	Sí

¹ alto= ≥ 30 % mitigación; medio=10 a 30 % de mitigación; bajo= ≤ 10 % de mitigación sobre una práctica estándar² basada en investigación disponible.

puede comprometer la digestibilidad de la fibra en la dieta (Sejian *et al.*, 2015). La adición de grasas en la dieta tiene efectos positivos en la mitigación de CH₄ solo cuando se acompaña con dietas de alta calidad y cuando la concentración no excede el 6 % del extracto etéreo (EE) de la dieta consumida. Los ácidos grasos poliinsaturados ejercen un efecto tóxico en las bacterias celulolíticas y en la población de protozoarios, ocasionando una reducción en la fermentación y digestibilidad de la materia orgánica (MO) y un incremento en la producción de propionato y disminución en la producción de metano. No obstante, al disminuir la fermentación y digestibilidad de la materia orgánica en el rumen, se incrementa la concentración de material orgánico en las heces de los animales y con ello un incremento en la emisión de CH₄ vía estiércol (Sejian *et al.*, 2015). Otras tecnologías que se están implementando en los sistemas de producción intensiva son la alimentación de precisión, que se refiere a cubrir los requerimientos nutricionales de los animales con la formulación y suplementación de nutrientes en la dieta. Su objetivo es disminuir las pérdidas de alimento, maximizar la producción y minimizar las emisiones de CH₄ y N₂O. No obstante, su implementación requiere de disponibilidad de recursos económicos, alimenticios, equipamiento, y un estricto manejo de los sistemas intensivos; por ello, es imposible pensar su implementación en sistemas de producción de subsistencia (Gerber *et al.*, 2013).

Modificación del ecosistema ruminal

La fermentación ruminal puede intervenir con diferentes técnicas para estimular la captura de hidrógeno disponible en el rumen y lograr reducir las emisiones de CH₄. Los inhibidores de metano importantes son los ionóforos, ácidos orgánicos, análogos de metano

halogenados, aceites insaturados y metabolitos secundarios de las plantas (MSP) que agrupan a un conjunto de compuestos entre los que están: taninos, saponinas, alcaloides, y aceites esenciales (AE); también se utilizan probióticos y vacunas contra metanógenos. Todas estas estrategias poseen ventajas y desventajas al usarse como inhibidores en la producción de metano (Kamra *et al.*, 2015).

Entre las diferentes técnicas para intervenir en la fermentación ruminal, el uso de los MSP como aditivos es la más importante debido a que presenta diversas ventajas: a) se presentan de forma natural en la vegetación; b) son más seguros que los compuestos químicos sintéticos; c) con frecuencia lo utilizan los productores con fines terapéuticos; d) presentan un potencial medio a alto de inhibición de CH₄ (Ku-Vera *et al.*, 2013). En la última década se ha realizado un trabajo exhaustivo para inhibir la emisión de metano usando los MSP de una amplia diversidad de plantas en diferentes regiones del mundo. En la región sureste de México Nahed-Toral *et al.* (2013) reportan el uso de 53 especies de plantas dentro de los sistemas silvopastoriles. Por su parte, Jiménez *et al.* (2008) y Ku-Vera *et al.* (2013) reportan cerca de 50 especies ricas en taninos y saponinas con potencial para mitigar CH₄ en la fermentación entérica de rumiantes. Los MSP han mostrado, en condiciones *in vitro*, su habilidad de inhibir la metanogénesis y la población de protozoarios ciliados (Bhatta *et al.*, 2012), e indirectamente la población de arqueas metanógenas o su actividad. No obstante, las respuestas obtenidas dependen del compuesto bioactivo, su concentración, la dieta en la que se adiciona, y la especie animal. Adicionalmente, es posible que afecten también la digestión de la materia orgánica (DMO) y se modifiquen los patrones de fermentación en el rumen

(Patra y Saxena, 2010). La inhibición de la metanogénesis y su efecto en la población de protozoarios ciliados puede variar de 25 % hasta más de 90 % (Patra *et al.*, 2006; Kamra *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2011). Albores-Moreno *et al.* (2017) concluyen que con 30 % de suplementación de *Enterolobium cyclocarpum* en dietas para borregos se reduce 36 % la producción de metano entérico y ocurre una disminución transitoria en la población total de protozoarios; aunque estos efectos son influenciados por el consumo y digestibilidad de la materia orgánica, y la fibra detergente neutro del alimento.

Los taninos forman parte de los MSP, y son sustancias complejas de compuestos poli fenólicos, dependiendo de su estructura química y peso molecular, tienen propiedades bacteriostáticas y bactericidas y alteran la fermentación ruminal mediante inactivación enzimática; formando complejos con las proteínas, aminoácidos y polisacáridos. Pueden presentar efectos benéficos o negativos dependiendo de su concentración en la dieta, la naturaleza de su origen, la especie animal, estado fisiológico del animal y la composición de la dieta (Makkar, 2003). En dietas a base de pasto (*Pennisetum purpureum*) suplementadas con 30 % de extractos de taninos condensados (TC) de follajes *Acacia cornigera*, *Albizia lebekkoides* y *Leucaena leucocephala*, se reducen significativamente la metanogénesis y la población de *Ruminococcus albus*; asimismo, aumenta la producción de propionato y la eficiencia de utilización de la energía (Rodríguez *et al.*, 2011). Por otra parte, Piñeiro-Vázquez *et al.* (2017) reportaron que TC de *Havardia albicans*, *Acacia pennatula* y *Bursera simaruba* incorporados al 30 % de la materia seca (MS) de la dieta, no afectaron la metanogénesis, la proporción molar de ácidos grasos volátiles (AGV's), y el consumo de materia orgánica (MO) de la dieta. Pero con concentraciones de TC entre 2 % y 3 % de la MS en la ración para novillas, se logra una reducción de 31 % y 47 % de pérdida de energía en forma de metano; sin afectar el consumo de MS y MO, aunque se compromete su digestibilidad en el rumen (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017). Otros hallazgos señalan que el uso de TC en la dieta reduce la población de protozoarios hasta en 79 % y la producción de CH₄ en el rumen de 33 % hasta 58 %. Además, su utilización en concentraciones de 3 a 6 % de la materia seca en la dieta de rumiantes tiene el potencial de aumentar la ganancia de peso en 26 % (Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2015). Se ha sugerido que la acción de los TC puede atribuirse a una inhibición directa de las metanógenas, dependiendo de su estructura química; e indirectamente por su

acción sobre los protozoarios, o por la disminución de la digestibilidad de la fibra. Cuando las fuentes de taninos contienen tanto TC como taninos hidrolizables (TH) se observa una mayor efectividad en la inhibición de la formación de CH₄, en comparación a lo obtenido solo con la presencia de TH (Bhatta *et al.*, 2009).

Otro compuesto de los MSP que se ha estudiado con creciente interés son las saponinas. Las evidencias de sus efectos en la inhibición de CH₄ entérico son muy variadas. Se ven influenciadas por la dosis utilizada, su origen y composición química, y la dieta en la que se encuentra como complemento. La evidencia reciente sugiere que su incorporación a las dietas disminuyen la producción de CH₄, debido a una reducción en el número de protozoarios y/o una disminución en la actividad de las arqueas metanógenas (Bhatta, 2015). Sin embargo existen estudios que señalan que a pesar de que se puede reducir en 20 % la producción de CH₄ al usar saponinas de *Sapindus mukorossi* o *S. saponaria* (Agarwal *et al.*, 2006; Hess *et al.*, 2004), no se reduce el número de protozoarios y de metanógenas; similar respuesta observaron Albores-Moreno *et al.* (2017) al incorporar dosis crecientes de saponinas de *Enterolobium cyclocarpum*. Se sospecha que la falta de efecto en la defaunación ruminal se debe a la adaptación (destoxificación) que desarrollan los protozoarios ante una constante exposición a estos compuestos. Por otro lado, la actividad de inhibición que ejercen las saponinas sobre la metanogénesis también depende de la composición de la dieta. Así se ha encontrado que las saponinas de *Sesbania sesban* ejercen un efecto de inhibición en la producción de CH₄, por una reducción en la población de arqueas (78 %). Este efecto es más pronunciado cuando se adicionan a dietas a base de concentrados que con dietas a base de forrajes (Goel *et al.*, 2008). Por ello es probable que, independiente a la concentración, la incorporación de saponinas en dietas a base de pastos de baja calidad no presente respuestas de inhibición en la producción de CH₄; tal y como lo reporta Canul *et al.* (2014) al suplementar con *Yucca schidigera* (hasta 6 g de saponina por día) dietas a base de *P. purpureum*. Las evidencias concluyentes de que la población microbiana del rumen es capaz de adaptarse a las saponinas al someterse a períodos prolongados de exposición, representa el reto más grande para su aplicación práctica a nivel de campo.

Por otro lado, entre los MSP también se encuentran los AE. En algunas especies de plantas estos compuestos

juegan un papel importante en la inhibición de la producción de CH₄ entérico. Así se ha reportado que los extractos en etanol y metanol de *Foeniculum vulgare* y *Syzygium aromaticum* son capaces de inhibir la producción *in vitro* de metano (Patra *et al.*, 2006); mientras que la adición de 10 g kg⁻¹ de MS de extracto de *Allium sativum* redujo la producción de CH₄ en ovinos y disminuyó la digestibilidad de la fibra (Patra *et al.*, 2010). Por su parte, el uso de timol (aceite esencial del orégano) a 400 mg L⁻¹ ejerce una fuerte inhibición en la producción de metano *in vitro*; y la adición de aceite de ajo (300 mg L⁻¹ de líquido ruminal) reduce la producción de CH₄ en 74 % sin alterar la digestibilidad de los nutrientes (Busquet *et al.*, 2005). Se sospecha que el aceite de ajo y el aceite de menta inhiben directamente a las arqueas metanógenas de manera selectiva y que su efecto está mediado por la concentración utilizada en la dieta.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el soporte recibido con el proyecto SEP-CONACYT CB-20014-01-No.242541. Cuantificación de emisiones de metano entérico y óxido nitroso en ganadería bovina en pastoreo y diseño de estrategias para la mitigación en el sureste de México.

LITERATURA CITADA

- Agarwal N., Kamra D.N., Chaudhary L.C., Patra A.K. 2006. Effect of *Sapindus mukorossi* extracts on *in vitro* methanogenesis and fermentation characteristics in buffalo rumen liquor. *Journal of Applied Animal Research* 30: 1-4
- Alayón-Gamboa J.A., Jiménez-Ferrer G., Nahed-Toral J., Villanueva-López G. 2016. Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *Agroproductividad* 9: 10-15.
- Albores-Moreno S., Alayón-Gamboa J.A., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J., Aguilar-Pérez C.F., Olivera-Castillo L., Ku-Vera J.C. 2017. Effects of feeding ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb on dry matter intake, rumen fermentation, and enteric methane production by Pelibuey sheep fed tropical grass. *Tropical Animal Health and Production* 49: 857-866.
- Beauchemin K.A., Kreuzer M., O'Mara F., McAllister T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 21-27.
- Bhatta R. 2015. Reducing Enteric Methane Emission Using Plant Secondary Metabolites. In: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. (eds.). *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer Delhi. pp. 273-284.
- Bhatta R., Saravanan M., Baruah L., Sampath K.T. 2012. Nutrient content, *in vitro* ruminal fermentation characteristics and methane reduction potential of tropical tannin-containing leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92: 2929-2935.
- Bhatta R., Uyeno Y., Tajima K., Takenaka A., Yabumoto Y., Nonaka I., Enishi O., Kurihara M. 2009. Difference in the nature of tannins on *in vitro* ruminal methane and volatile fatty acid production, and methanogenic archaea and protozoal populations. *Journal of Dairy Science* 92: 5512-5522.
- Busquet M., Calsamiglia S., Ferret A., Carro M.D., Kamel C. 2005. Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science* 88: 4393-4404.
- Canul-Solis J.R., Piñero-Vázquez A.T., Briceño-Poot E.G., Chay-Canul A.J., Alayón-Gamboa J.A., Ayala-Burgos A.J., Aguilar-Pérez C.F., Solorio-Sánchez F.J., Castelán-Ortega O.A., Ku-Vera J.C. 2014. Effect of supplementation with saponins from *Yucca schidigera* on ruminal methane production by Pelibuey sheep fed *Pennisetum purpureum* grass. *Animal Production Science* 54: 1834-1837.
- Eckard R.J., Grainger C., de Klein C.A.M. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livestock Science* 130: 47-56.
- Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production. A review of technical options for non-CO₂ emissions. FAO, Animal production health paper 177. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Goel G., Makkar H.P.S., Becker K. 2008. Changes in microbial community structure, methanogenesis and rumen fermentation in response to saponin-rich fractions from different plant materials. *Journal of Applied Microbiology* 105: 770-777.
- Hess H.D., Beuret R.A., Lotscher M., Hindrichsen I.K., Machmüller A., Carulla J.E., Lascano C.E., Kreuzer M. 2004. Ruminant fermentation, methanogenesis and nitrogen utilization of sheep receiving tropical grass hay-concentrate diets offered with *Sapindus saponaria* fruits and *Cratylia argentea* foliage. *Animal Science* 79: 177-189.
- Hristov A.N., Ott T., Tricarico J., Rotz A., Waghorn G., Adesogan A., Dijkstra J., Montes F., Oh J., Kebreab E., Oosting S.J., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P.S., Firkins J.L. 2013. Special topics- Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science* 91: 5095-5113.
- Jiménez-Ferrer G., Velasco-Pérez R., Gómez M.U. 2008. Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Zootecnia Tropical* 26: 333-337.
- Jiménez-Ferrer G.O., Soto-Pinto L., Pérez-Luna E., Ku-Vera J.C., Ayala-Burgos A.J., Villanueva G., Alayón-Gamboa J.A. 2015. Ganadería y cambio climático: Avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medioambiente* 15: 51-70.
- Kamra D.N., Agarwal N., Chaudhary L.C. 2015. Manipulation of rumen microbial ecosystem for reducing enteric methane emission in Livestock. In: Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. (eds.) *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Springer Delhi. pp. 255-272.
- Kamra D.N., Patra A.K., Chatterjee P.N., Kumar R., Agarwal N., Chaudhary L.C. 2008. Effect of plant extracts on methanogenesis and microbial profile of the rumen of buffalo: a brief overview. *Australian Journal Experimental Agriculture* 48: 175-178.
- Ku-Vera J.C., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J., Briceño-Poot E.G., Ruíz G.A., Piñero-Vázquez A.T., Barros R.M., Soto A.M., Espinosa H.J.C., Albores-Moreno S., Chay-Canul A.J., Aguilar-Pérez C.F., Ramírez-Avilés L. 2013. Tropical tree foliage and

- shrubs as feed additives in ruminant rations. In: Salem (ed.) Nutritional strategies of animal feed additives. New York, USA. NOVA Science Publishers. pp. 59-76.
- Kumar R., Kamra D.N., Agarwal N., Chaudhary L.C., Zadbuke S.S. 2011. Effect of tree leaves containing plant secondary metabolites on in vitro methanogenesis and fermentation of feed with buffalo rumen liquor. *Animal Nutrition and Feed Technology* 11: 103-114.
- Makkar H.P.S. 2003. Quantification of tannins in tree and shrub foliage. A laboratory manual. FAO/IAEA Publication, Rome, Italy.
- McAllister T.A., Newbold C.J. 2008. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 7-13.
- Moumen A., Azizi G., Chekroun K.B., Baghour M. 2016. The effects of livestock methane emission on the global warming: a review. *International Journal of Global Warming* 9: 229-253.
- Nahed-Toral J., Valdivieso-Pérez A., Aguilar-Jiménez R., Cámara-Cordova J., Grande-Cano D. 2013. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production* 57: 266-279.
- Owen E., Smit T., Makkar H. 2012. Successes and failures with animal nutrition practices and technologies in developing countries. A synthesis of an FAO e-conference. *Animal Feed Science and Technology* 174: 211-226.
- Patra A.K., Kamra D.N., Agarwal N. 2006. Effect of plant extracts on in vitro ethanogenesis, enzyme activities and fermentation of feed in rumen liquor of buffalo. *Animal Feed Science and Technology* 128: 276-291.
- Patra A.K., Kamra D.N., Bhar R., Kumar R., Chaturvedi V.B., Agarwal N. 2010. Effect of *Terminalia chebula* and *Allium sativum* on nutrient utilization and methane production in sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 95: 187-191.
- Patra A.K., Saxena J. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry* 71: 1198-1222.
- Piñeiro-Vázquez A.T., Canul-Solis J.R., Alayón-Gamboa J.A., Chay-Canul A.J., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J., Aguilar-Pérez C.F., Ku-Vera J.C. 2107. Energy utilization, nitrogen balance and microbial protein supply in cattle fed *Pennisetum purpureum* and condensed tannins. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 101: 159-169.
- Piñeiro-Vázquez A.T., Canul-Solis J.R., Alayón-Gamboa J.A., Chay-Canul A.J., Ayala-Burgos A.J., Aguilar-Pérez C.F., Solorio-Sánchez F.J., Ku-Vera J.C. 2015. Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. *Archivos de Medicina Veterinaria* 47: 263-272.
- Piñeiro-Vázquez A.T., Canul-Solis J.R., Casanova-Lugo F., Chay-Canul A.J., Ayala-Burgos A.J., Solorio-Sánchez F.J., Aguilar-Pérez C.F., Juan Carlos Ku-Vera J.C. 2017. Emisión de metano en ovinos alimentados con *Pennisetum purpureum* y árboles que contienen taninos condensados. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias* 8: 111-119.
- Rodríguez R., Britos A., Rodríguez-Romero N, Fondevila M. 2011. Effect of plant extracts from several tanniferous browse legumes on in vitro microbial fermentation of the tropical grass *Pennisetum purpureum*. *Animal Feed Science and Technology* 168: 188-195.
- Sejian V., Gaughan J., Baumgard L., Prasad C. 2015. Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation. Springer Delhi.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, Rome, FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, Copenhagen, Denmark.
- Tarawali S., Herrero M., Descheemaeker K, Grings E., Blümmel M. 2011. Pathways for sustainable development of mixed crop livestock systems: Taking a livestock and pro-poor approach. *Livestock Science* 139: 11-21.
- Villanueva-López G., Martínez-Zurimendi P., Casanova-Lugo F., Ramírez-Avilés L., Montañez Escalante G. 2015. Carbon storage in livestock systems with and without live fences of *Gliricidia sepium* in the humid tropics of Mexico. *Agroforestry Systems* 23: 123-132.
- Wilkerson V.A., Casper D.P., Mertens D.R. 1995. Nutrition, feeding, and calves: the prediction of methane production of Holstein cows by several equations. *Journal of Dairy Science* 78: 2402-2414.

