

# CONSIDERACIONES DE BIENESTAR ANIMAL EN LAS ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO ENTÉRICO POR RUMIANTES

## CONSIDERATIONS OF ANIMAL WELFARE IN STRATEGIES FOR THE DECREASE OF ENTERIC METHANE PRODUCTION BY RUMINANTS

Alejos-de la Fuente, J.I.<sup>1</sup>; Almaraz-Buendía, I.<sup>2</sup>; Peralta-Ortiz, J.J.G.<sup>2</sup>; Sánchez-Santillán, P.<sup>3</sup>; Soriano-Robles, R.<sup>4</sup>; Torres-Cardona, M.G.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. <sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Rancho Universitario. Carretera Tulancingo-Santiago Tulantepec km 1. Tulancingo, Hidalgo, México. C. P. 43600. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de Guerrero. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia No. 2. Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional km 197. Cuajinicuilapa, Guerrero, México. C. P. 41940. <sup>4</sup>Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Leyes de Reforma 1ra. Sección, Delegación Iztapalapa, Ciudad de México. C. P. 09340.

\*Autor de correspondencia: maria\_torres7599@uaeh.edu.mx

### RESUMEN

Existe la necesidad de incrementar considerablemente la producción de alimentos para abastecer las necesidades de una población en constante crecimiento. Sin embargo, la actividad pecuaria es una de las principales generadoras de gases de efecto invernadero (GEI): dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), siendo el metano el más importante tanto por su impacto en el medio ambiente como por la cantidad producida por los rumiantes. Esta situación constituye uno de los grandes retos de la bioética global y ha conducido a la búsqueda de alternativas que permitan disminuir las emisiones de metano y por tanto su impacto en el medio ambiente. No obstante, algunas estrategias se contraponen con los principios de bienestar animal, ocasionando algún daño a los rumiantes y a la salud humana. En este documento se hace un breve análisis de algunas estrategias y su impacto en el bienestar de los rumiantes.

**Palabras clave:** Cambio climático, gases de efecto invernadero (GEI), metano, mitigación, rumiantes, bienestar animal.



**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 57-63.

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

## ABSTRACT

There is a need to significantly increase food production to meet the needs of a population in constant growth. Nevertheless, livestock activity is one of the main generators of greenhouse gases (GHG): carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), with methane being the most important both for its impact on the environment and for the amount produced by ruminants. This situation is one of the great challenges of global bioethics and has led to the search for alternatives that allow reducing methane emissions and therefore their impact on the environment. However, some strategies are in conflict with the principles of animal welfare, causing some damage to ruminants and human health. This document makes a brief analysis of some strategies and their impact on the welfare of ruminants.

**Keywords:** Climate change, greenhouse effect gases (GHG), methane, mitigation, ruminants, animal welfare.

## INTRODUCCIÓN

**Sin duda,** la producción de alimentos en general, y de origen animal en particular, vincula a uno de los más grandes retos de la bioética global, en virtud del impacto que la actividad ganadera per se genera y por lo cual muy a menudo se le considera como una actividad insostenible: emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), consumo de agua, erosión del suelo, reducción de la biodiversidad, cambio climático, acidificación terrestre, eutrofización del agua dulce, cambio en el uso del suelo, agotamiento del agua y demanda acumulada de energía fósil por unidad de producto generado, entre otros (Llonch *et al.*, 2017; Giuseppe *et al.*, 2017). No obstante, existe la necesidad de incrementar la producción de alimentos para abastecer las necesidades de una población en constante crecimiento, en tanto no se opte a nivel global por un estilo de alimentación diferente al actual, en el que los productos y subproductos pecuarios se incluyan en menor cantidad.

A lo largo del proceso productivo, la ganadería es una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), generando principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Tales

GEI se producen, ya sea de manera directa a través de la fermentación entérica o el estiércol; o de manera indirecta por las actividades desarrolladas durante la producción de alimentos y la conversión de bosques en pastizales (Guyader *et al.*, 2016; Hristov *et al.*, 2013; Morgavi *et al.*, 2010).

Actualmente el bienestar animal es un criterio de sustentabilidad, ya que los animales que se crían bajo sistemas de producción que les permitan un equilibrio físico, emocional y comportamental, no solo tienen una mejor calidad de vida, muestran también un mejor estado de salud y un uso más eficiente de los recursos (reducción de costos veterinarios, aumento del rendimiento animal, mejora de la calidad de los productos y mantenimiento de estándares higiénicos de producción de alimentos), mostrando así una productividad más eficiente, lo que reduce la huella de carbono originada por la actividad pecuaria (Broom *et al.*, 2013; Giuseppe *et al.*, 2017; Llonch *et al.*, 2017). El bienestar animal está inmerso en un término de actualidad y de importancia mundial: la "bioética global", la cual se plantea metas que tienen que ver con la salud pública global (una sola salud, "One Health"), autocomprensión de la cultura y persecución del bien social que coinciden con una "ecologización" o vuelta de la bioética hacia el medio ambiente y la valoración de la biodiversidad. Recientemente se ha acuñado también el concepto de "Un solo Bienestar" (One Welfare) en el cual se reconocen las interconexiones entre el bienestar animal, el bienestar humano y el medio ambiente (Pinillos *et al.*, 2016). El bienestar animal también impacta en el valor comercial de los productos de origen animal, ya que la demanda de alimentos de alta calidad ha ido en aumento y un número cada vez mayor de consumidores esperan que los productos animales se obtengan y procesen con mayor respeto por el bienestar de los animales (Giuseppe *et al.*, 2017).

### Emisiones de gases de efecto invernadero por el ganado

Dependiendo de los enfoques y el alcance de las emisiones cubiertas, las estimaciones de diversas fuentes sitúan la contribución del ganado a las emisiones antropogénicas globales de GEI entre un 7 y un 18 %. De acuerdo con Patra (2012), se ha calculado, con base en el análisis del ciclo de vida (ACV), que el sector emite aproximadamente 7,1 Gt de CO<sub>2</sub>-eq por año, lo que equivale aproximadamente al 18 % del total de las emisiones antropogénicas de GEI.

El metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son subproductos naturales de la fermentación microbiana de los carbohidratos y, en menor medida, de los aminoácidos en el rumen y el intestino grueso de los animales de granja. El metano es producido en condiciones estrictamente anaeróbicas por microorganismos metanogénicos altamente especializados. En los rumiantes, la gran mayoría de la producción de metano entérico ocurre en el retículo-rumen; las emisiones intestinales representan el 13 % en promedio y las rectales solamente del 2 al 3 % (Muñoz *et al.*, 2012). Además, la producción de metano puede representar hasta el 12 % de la energía cruda consumida en rumiantes, ocasionando una pérdida de energía importante para el animal (Morgavi *et al.*, 2010).

Las principales estrategias de mitigación de GEI para ganado se clasifican de acuerdo con su enfoque de mitigación como reducción de emisiones totales (inhibición de la producción de metano en el rumen) o reducción de la intensidad de emisiones (reducción de CH<sub>4</sub> por unidad de producto, sin metanogénesis directa) (Llonch *et al.*, 2017). Las primeras incluyen inhibidores químicos, aceptores de electrones (es decir, nitratos), ionóforos y lípidos en la dieta. El aumento de la digestibilidad de la dieta, la producción intensiva, la mejora de la salud y el bienestar, el aumento de la eficiencia reproductiva y el mejoramiento para una mayor productividad, se incluyen en las segundas. Las estrategias que aumentan la productividad son formas muy prometedoras de reducir la huella de carbono del ganado, aunque en sistemas intensivos esto probablemente se logre a costa del bienestar de los animales. Otras

estrategias pueden reducir efectivamente las emisiones de GEI al mismo tiempo que mejoran el bienestar de los animales (por ejemplo, la suplementación de alimentos o la mejora de la salud); estas estrategias deben ser fuertemente apoyadas ya que abordan la sostenibilidad ambiental y la producción ética de alimentos (Llonch *et al.*, 2017; Guyader *et al.*, 2016). A continuación se presentan algunas estrategias reportadas en la literatura que pueden ser utilizadas, dependiendo del contexto, para disminuir las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico.

### Composición de la dieta

El tipo de carbohidratos en la dieta es importante para la producción de metano; mayor proporción de almidón en la dieta de rumiantes tiende a disminuir la producción de metano, disminuyendo también la pérdida de energía cruda de la dieta (Beauchemin *et al.*, 2008; Sarah *et al.*, 2010). No obstante, la alimentación con grandes cantidades de carbohidratos solubles, y sobre todo cuando se introduce este tipo de dietas de manera abrupta acompañada de un mal manejo alimenticio, puede disminuir considerablemente el pH ruminal, lo que ocasiona acidosis ruminal y metabólica, y eventualmente problemas podales como laminitis. Ambos padecimientos tienen consecuencias económicas y de salud a largo plazo, y son uno de los principales problemas que afecta el bienestar animal; ocasionan disminución y fluctuaciones en la ingesta de alimentos, disminución en la digestibilidad de la dieta, disminución en la producción, daño gastrointestinal y abscesos hepáticos (Llonch *et al.*, 2017; Abdela, 2016); el agobio causado por el dolor producido merma la capacidad productiva, disminuye la condición cor-

poral, disminuye la fertilidad, induce al envejecimiento precoz e impide la expresión normal de la conducta (moverse libremente, levantarse y echarse sin dolor, y acceder a la comida y agua, para mantener su nivel productivo y reproductivo) con lo que se ven afectadas las cinco necesidades mínimas de los animales (Abdela, 2016; Way y Shearer, 2017).

### Lípidos

Los lípidos en la dieta son efectivos para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico, pero la aplicabilidad de esta práctica depende de su costo y sus efectos en la ingesta de alimento, la productividad y el bienestar de los animales (Grainger y Beauchemin, 2011). Se sabe que los ácidos grasos de cadena media reducen la metanogénesis por varios mecanismos, principalmente por una reducción en la proporción de energía a partir de carbohidratos fermentables, un cambio en la población microbiana del rumen, particularmente al inhibir los microorganismos metanógenos, y por la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados que funcionan como aceptores de hidrógeno. La combinación de estos efectos puede reducir la producción de CH<sub>4</sub> entre 3.8 % y 5.4 % por adición de 1 % y hasta 6 % de lípidos en base seca, ya que se ha reportado que la inclusión en mayor porcentaje puede provocar una disbiosis, lo que ocasionaría un deterioro de la función ruminal, disminuyendo el consumo de alimento y la digestibilidad de fuentes energéticas no lipídicas (Martin *et al.*, 2010). La suplementación con grandes cantidades de lípidos en la dieta afecta la función gastrointestinal en los rumiantes, lo que podría afectar su estado nutricional, influyendo no solo en su bienestar sino también en su eficiencia productiva. (Guyader *et al.*, 2016; Llonch *et al.*, 2017).



### Inhibidores químicos

Diversos compuestos químicos tienen efecto inhibidor específico en el rumen sobre los microorganismos metanogénicos. Entre los compuestos más exitosos probados *in vivo* se encuentran el bromoclorometano (BCM), 2-bromo-etano sulfonato (BES), cloroformo y ciclodextrina (Llonch *et al.*, 2017; Sarah *et al.*, 2010). Estos inhibidores redujeron estadísticamente la producción de CH<sub>4</sub> hasta en un 50 % *in vivo* (desde 25 hasta 95 %) sin reducir la ingesta de alimento, la ganancia diaria de peso ni la digestibilidad del alimento en ovinos, caprinos y bovinos (Mitsumori *et al.*, 2012; Hristov *et al.*, 2013). Sin embargo, este efecto potencial debe contrastarse con el riesgo para el bienestar animal, para la salud humana (a través del consumo de los productos de origen animal), y para el medio ambiente, ya que se ha encontrado un riesgo potencial de toxicidad con el uso de suplementos de halometanos con efectos que van desde daño hepático hasta la muerte después de un largo período de uso (Patra, 2012), por lo que es poco probable que puedan ser utilizados como suplementos de rutina para la mitigación de CH<sub>4</sub> (Llonch *et al.*, 2017). Investigaciones recientes han identificado químicos alternativos capaces de inhibir la metanogénesis sin efectos secundarios para la salud; el más efectivo en la actualidad es el 3-nitrooxipropanol (3NP), con el cual se ha observado una reducción del 24 % en las emisiones de CH<sub>4</sub> en ensayos *in vivo* con ovejas (Martínez-Fernández *et al.*, 2013), y de 7 % al 60 % en bovinos (Haisan *et al.*, 2014; Reynolds *et al.*, 2014). Experimentos que han probado 3NP no han informado efectos secundarios para la salud atribuible a su administración durante 3 a 5 semanas. En un estudio reciente (Hristov *et al.*, 2015) se extendió la prueba a 14 semanas, logrando una reducción promedio del 30 % de CH<sub>4</sub>, sin detectar efectos tóxicos, por lo que el uso de este inhibidor podría ser una estrategia dietética efectiva e inofensiva para mitigar el CH<sub>4</sub>, sin embargo, es necesaria la realización de más estudios centrados en la toxicidad para confirmar esto antes de ser utilizado a una escala comercial (Llonch *et al.*, 2017).

### Ionóforos (monensina)

La monensina es un ionóforo antibiótico producido por *Streptomyces cinnamonensis*. Ha sido el más usado rutinariamente, y se ha encontrado que reduce las emisiones de CH<sub>4</sub> en los rumiantes hasta un 30 % (Martin *et al.*, 2010; Grainger y Beauchemin, 2011), pero de 2 a 4 semanas después de su uso, se ha observado un efecto decreciente del 8 al 10 % debido a la adaptación de la microflora ruminal a este antibiótico (Appu-

hamy *et al.*, 2013). La monensina es capaz de suprimir la metanogénesis a través de un efecto indirecto, ya que afecta a las bacterias productoras de H<sup>+</sup>, originando así la reducción de los precursores de la metanogénesis (Sarah *et al.*, 2010). Los ionóforos tienen la capacidad de aumentar la eficiencia de la alimentación, disminuyendo la cantidad de consumo de alimento requerido para mantener la productividad, por lo que se disminuye también la emisión de CH<sub>4</sub> por unidad de producto; benefician además a la salud animal de varias maneras: ayuda en la reducción de la morbilidad y mortalidad de bovinos destinados al consumo de carne, disminuyendo la incidencia de acidosis subclínica, mejora el balance de energía negativa en vacas lecheras durante la lactancia temprana y disminuye problemas de cetosis subclínica, al mejorar la digestibilidad de la ración y reducir la movilización de grasa corporal, entre otros (McGuffey *et al.*, 2001). En contraste con estos múltiples beneficios, los ionóforos pueden ser tóxicos en dosis única de 22 mg kg<sup>-1</sup> de peso corporal o más; dosis de monensina de 400 a 4000 mg por animal por día durante 7 días ocasionan reducción en la ingesta de alimentos hasta el punto de anorexia, diarrea, depresión, aumento en la frecuencia respiratoria, ataxia y muerte (Guan *et al.*, 2006). Se ha reportado que la dosis de monensina requerida para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> es de 32 a 36 mg kg<sup>-1</sup> de peso corporal en ganado de carne y 21 mg kg<sup>-1</sup> de peso corporal en ganado lechero (Appuhamy *et al.*, 2013), mientras que para aumentar la eficiencia de la alimentación, la dosis requerida puede variar de 10 a 40 mg kg<sup>-1</sup> de MS (Guan *et al.*, 2006; Martineau *et al.*, 2007). Aunado a lo anterior, el aumento global de la Resistencia a los Antimicrobianos (RAM), que representa una importante amenaza para la salud humana y animal, pone en peligro la actual medicina humana y veterinaria y socava la seguridad alimenticia y el medio ambiente. Los antimicrobianos desempeñan un papel crítico en el tratamiento de las enfermedades de los animales de granja; su utilización es esencial para la seguridad alimentaria y para el bienestar de los humanos y de los animales no humanos. Sin embargo, el uso inapropiado de estos fármacos, asociado a la aparición y propagación de microorganismos resistentes a los antimicrobianos, pone a todos en una situación de gran riesgo (FAO, 2016). En la Unión Europea ha sido prohibido el uso de antibióticos como promotores de crecimiento, dada la preocupación por la resistencia bacteriana que generan; sin embargo, fuera de la Unión Europea siguen siendo usados, y por lo tanto, siguen siendo un recurso utilizado para mitigar las emisiones

de CH<sub>4</sub>, aunque existe la tendencia mundial hacia la reducción del uso indiscriminado de antibióticos.

### Compuestos presentes en plantas

Diversos estudios han mostrado que las plantas contienen una amplia variedad de compuestos secundarios con actividad antimicrobiana potencial, que mejora la fermentación ruminal y disminuye la producción de CH<sub>4</sub> (Bauchemin *et al.*, 2007; Grainger *et al.*, 2009; Benchaar y Greathead, 2011). Dichos compuestos incluyen taninos, saponinas y algunos aceites esenciales. Sin embargo, los efectos reportados en la literatura son variables y contradictorios, debido a las diferentes concentraciones de ingredientes, dietas basales utilizadas y ausencia de comparaciones directas *in vivo* por lo que se requiere mayor investigación al respecto, sobre todo para identificar sus efectos a largo plazo en el bienestar de los animales (Wanapa *et al.*, 2013), ya que algunos de ellos, como los taninos y saponinas, tienen efectos tóxicos y antinutricionales potenciales para los animales, con todas las repercusiones sobre el bienestar animal que ello implica.

### Defaunación

La defaunación es la eliminación de protozoos del rumen, y se ha utilizado para investigar el papel de los protozoos en la función del rumen y en la producción de metano. Se ha estimado que los metanógenos asociados con los protozoos ciliados, tanto intracelulares como extracelulares, son responsables del 9 al 37 % de la producción de metano en el rumen (Hristov *et al.*, 2011). Por esta razón, los tratamientos que disminuyen la población de protozoos del rumen, también pueden disminuir la población de metanógenos asociada a protozoos y, por lo tanto,

disminuir la producción de metano en el rumen. Los tratamientos para la defaunación que se han utilizado incluyen sulfato de cobre, ácidos, productos químicos de superficie activa, triazina, lípidos, taninos, ionóforos y saponinas (Morgavi *et al.*, 2011). Se ha sugerido que el efecto de la defaunación en la producción de metano depende de la dieta, encontrando que hay un mayor efecto en dietas con alto contenido de almidón (Hegarty *et al.*, 2008; Morgavi *et al.*, 2011). Mantener animales defaunados resulta muy difícil, ya que éstos pueden contaminarse por el contacto directo con animales no defaunados o su excremento, y con alimento o agua contaminada; además los efectos de la defaunación han sido variables e inciertos, por lo que ésta estrategia resulta poco práctica (Morgavi *et al.*, 2011; Hirostov *et al.*, 2011; Benchaar y Greathead, 2011).

### Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos (malato, fumarato y acrilato) se han utilizado como aditivos dietéticos (Morgavi *et al.*, 2010). El fumarato y el acrilato han demostrado ser los más efectivos *in vitro*, sin embargo, las respuestas de su uso siguen siendo poco concluyentes y muy variables; principalmente el ácido fumárico con el cual se han obtenido valores diferentes en la disminución del metano, que van desde 60 % hasta poco más del 80 % en ovinos y caprinos (Wood *et al.*, 2009; Molano *et al.*, 2008; Foley *et al.*, 2009). Tal efecto parece estar influenciado por la dieta, observándose mayor reducción en dietas con mayor contenido de almidón. No obstante lo anterior, es necesario realizar más experimentos que permitan determinar las condiciones óptimas de su uso y su efecto a largo plazo para confirmar que los beneficios observados sean duraderos y que no impacten negativamente en el bienestar de los animales (Wood *et al.*, 2009; Molano *et al.*, 2008).

Respecto a las estrategias para disminuir la intensidad de las emisiones de metano se encuentran las estrategias encaminadas a hacer más eficientes los sistemas de producción, bajo la suposición de que en dichos sistemas se necesitan menos cantidad de animales (por lo tanto menor emisión de GEI incluido el metano), para producir la misma cantidad de producto comparado con sistemas de producción menos eficientes (Bannink *et al.*, 2011). En este grupo de estrategias se encuentran el incremento en la digestibilidad de la dieta, el incremento en la salud y bienestar de los animales (animales saludables y con bienestar son más productivos), el incremento en la eficiencia reproductiva y crianza de reemplazos (bajos índices reproductivos y alta mortalidad de crías conducen a la necesidad de mayor cantidad de animales reproductores para mantener el tamaño del hato), entre otros (Beauchemin *et al.*, 2010).

## CONCLUSIONES

Los peligros y beneficios potenciales de cualquier estrategia para la mitigación de las emisiones de GEI derivados de la actividad pecuaria, deben ser considerados en su aplicación, debiendo ser prioritarias aquellas que ofrecen un doble beneficio, tanto para la mejora del medio ambiente como para el bienestar de los animales, considerando una sincronía holística entre ellos, donde se considere además la conservación de la biodiversidad, la mejora de la salud del



suelo, la mejora de la calidad del agua y la preservación del hábitat para la vida silvestre. La mitigación del cambio climático esta éticamente justificada, sin embargo, a menudo los mecanismos para tal mitigación carecen de toda ética, sobre todo cuando se compromete el bienestar animal, incluido el del humano.

## LITERATURA CITADA

- Abdela N. 2016. Sub-acute Ruminant Acidosis (SARA) and its Consequence in Dairy Cattle: A Review of Past and Recent Research at Global Prospective. *Achievements in the Life Sciences* 10:187-196.
- Appuhamy J.A., Strathe A.B., Jayasundara S., Wagner-Riddle C., Dijkstra J., France J., Kebreab E. 2013. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science* 96: 5161-73.
- Bannink A., Van Schijndel M.W., Dijkstra J. 2011. A model of enteric fermentation in dairy cows to estimate methane emission for the Dutch National Inventory Report using the IPCC Tier 3 approach. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 603-618.
- Beauchemin K.A., Janzen H.H., Little S.M., McAllister T.A., McGinn S.M. 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems* 103: 371-379.
- Beauchemin K.A., McGinn S.M., Martinez T.F., McAllister T.A. 2007. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 85:1990-1996.
- 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.
- Benchaar C., Greathead H. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 166-167: 338-355.
- Broom D.M., Galindo F.A., Murgueitio E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society of London Biological Science* 280: 2013-2025. doi: 10.1136/vr.i5470.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2016. El Plan de acción de la FAO sobre la resistencia a los antimicrobianos 2016-2020. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/b-i5996s.pdf>.
- Foley P.A., Kenny D.A., Callan J.J., Boland T.M., O'Mara F.P. 2009. Effect of DL-malic acid supplementation on feed intake, methane emission, and rumen fermentation in beef cattle. *Journal of Animal Science* 87: 1048-1057.
- Giuseppe P., Francesconi, A.H.D., Stefanon B., Sevi A., Calamari L., Lacetera N., Dell'Orto V., Pilla F., Marsan P.A., Mele M., Rossi F., Bertoni G., Crovetto G.M., Ronchi B. 2017. Sustainable ruminant production to help feed the planet. *Italian Journal of Animal Science* 16: 140-171.
- 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.
- Grainger C., Clarke T., Auldred M.J., Beauchemin K.A., McGinn S.M., Waghorn G.C. Eckard R.J. 2009. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 89: 241-251.
- Guan H., Wittenberg K.M., Ominski K.H. 2006. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *Journal of Animal Science* 84: 1896-1906.
- Guyader J., Janzen H. H., Kroebe R., Beauchemin K. A. 2016. Forage use to improve environmental sustainability of ruminant production. *Journal Animal Science* 94: 3147-3158. doi:10.2527/jas.2015-0141.
- Haisan J., Sun Y., Guan L.L., Beauchemin K.A., Iwaasa A., Duval S., Barreda D.R., Oba M. 2014. The effects of feeding 3-nitrooxypropanol on methane emissions and productivity of Holstein cows in mid lactation. *Journal of Dairy Science* 97: 3110-3119.
- Hegarty R. S., S. H. Bird, B. A. Vanselow, and R. Woodgate. 2008. Effects of the absence of protozoa from birth or from weaning on the growth and methane production of lambs. *British Journal of Nutrition* 100: 1220-1227.
- Hook S.E, Wright A.D., McBride BW. 2010. Methanogens: Methane Producers of the Rumen and Mitigation Strategies. *Archaea* 2010. doi: 10.1155/2010/945785.
- Hristov A.N., Ott T., Tricarico J., Rotz A., Waghorn G., Adesogan A., Dijkstra J., Montes F.R., Oh J., Kebreab E., Oosting S.J., Gerber P.J., Henderson B., Makkar H.P. Firkins J.L. 2015. 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.
- Hristov A.N., Lee C., Cassidy T., Long M., Heyler L., Corl B., Forster R. 2011. Effects of lauric and myristic acids on ruminal fermentation, production, and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94: 382-395.
- Hristov A.N., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A., Yang W., Tricarico J., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J., Oosting S. 2013. Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production a review of technical options for non-CO<sub>2</sub> emissions Editors Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. FAO Documento No. 177. FAO, Rome, Italy.
- Llonch P., Haskell M.J., Dewhurst R.J., Turner S.P. 2017. Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal* 11: 274-284.
- Martin C., Morgavi D.P., Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4: 351-365.
- Martineau R., Benchaar C., Petit H.V., Lapierre H., Ouellet D.R., Pellerin D.R., Berthiaume R. 2007 Effects of lasalocid or monensin supplementation on digestion, ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90: 5714-5725.
- Martinez-Fernandez G., Arco A., Abecia L., Cantalapiedra-Hijar G., Molina-Alcaide E., Martin-Garcia A., Kindermann M., Duval S., Yanez-Ruiz D.R. 2013. The addition of ethyl-3-nitrooxypropionate and 3-nitrooxypropanol in the diet of sheep sustainably reduces methane emissions and the effect persists over a month. *Advances in Animal Biosciences* 4: 368.
- McGuffey R.K., Richardson L.F., Wilkinson J.I.D. 2001. Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. *Journal of Dairy Science Suppl.* 84: 194-203.
- Mitsumori M., Shinkai T., Takenaka A., Enishi O., Higuchi K., Kobayashi Y., Nonaka I., Asanuma N., Denman S.E., McSweeney C.S. 2012.

- Responses in digestion, rumen fermentation and microbial populations to inhibition of methane formation by a halogenated methane analogue. *British Journal of Nutrition* 108: 482-491.
- Molano G., Knight T. W., Clark H.. 2008. Fumaric acid supplements have no effect on methane emissions per unit of feed intake in wether lambs. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 165-168.
- Morgavi D.P., Forano E., Martin C., Newbold C.J. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal* 4: 1024-1036.
- Morgavi D.P., Martin C., Jouany J.-P., Ranilla M.J. 2011. Rumen protozoa and methanogenesis: not a simple cause-effect relationship. *British Journal Nutrition* 107: 388-397.
- Muñoz C., Yan T., Wills D.A., Murray S., Gordon A.W. 2012. Comparison of the sulphur hexafluoride tracer and respiration chamber techniques for estimating methane emissions and correction for rectum methane output from dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95: 3139-3148.
- Patra A.K. 2012. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment* 184:1929-1952.
- Pinillos R.G., Appleby M., Manteca X., Scott-Park F., Smith C., Velarde A.. 2016. One Welfare: A platform for improving human and animal welfare. *Veterinary Record* 179: 412-413.
- Reynolds C.K., Humphries D.J., Kirton P, Kindermann M., Duval S., Steinberg W. 2014. Effects of 3-nitrooxypropanol on methane emission, digestion, and energy and nitrogen balance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97: 3777-3789.
- Wanapat M., Kang S., Polyorach S. 2013. Development of feeding systems and strategies of supplementation to enhance rumen fermentation and ruminant production in the tropics. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4: 32.
- Whay H.R., Shearer J.K. 2017. The Impact of Lameness on Welfare of the Dairy Cow. *Veterinary Clinics Food Animal Practice*. doi: 10.1016/j.cvfa.2017.02.008.
- Wood T.A., Wallace R. J., Rowe A. 2009. Encapsulated fumaric acid as a feed ingredient to decrease ruminal methane emissions. *Animal Feed Science and Technology* 152 62-71.

