

# EL METANO Y LA GANADERÍA BOVINA EN MÉXICO: ¿PARTE DE LA SOLUCIÓN Y NO DEL PROBLEMA?

## METHANE AND CATTLE IN MEXICO: PART OF THE SOLUTION AND NOT OF THE PROBLEM?

Hernández-Medrano, J.H.<sup>1</sup>; Corona, L.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Reproducción y <sup>2</sup>Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. C. P. 04510.

\*Autor de correspondencia: gochi@unam.mx

### RESUMEN

El 73 % del territorio de la República Mexicana se utiliza para las actividades agropecuarias, con el 58 % de la superficie empleado como agostaderos, en donde la producción de bovinos se basa en pastoreo y aunque la producción bovina extensiva es una de las que mayores emisiones de gases efecto invernadero (GEI) produce, también es la que mayor capacidad de mitigación tiene. El potencial de mitigación en sistemas de producción bovina puede ser mayor de 20-40 % de los niveles actuales, siempre que se puedan adaptar prácticas destinadas a mejorar el manejo de las praderas, la alimentación de los animales y mejoramiento genético. La ganadería extensiva tiene un gran potencial de secuestro de carbono a través de las praderas. El potencial de mitigación del impacto ambiental, y no solo de las emisiones, puede ser mayor en los sistemas en pastoreo si se toman en cuenta todos los posibles servicios ambientales que estos prestan. Lograr un balance en la emisión y mitigación a nivel individual (animal), de granja y cadena productiva hará que los sistemas de producción bovina sean más eficientes y sustentables a largo plazo, permitiendo reducir la emisiones de gases de efecto invernadero, garantizando el bienestar del ecosistema y de las poblaciones rurales.

**Palabras clave:** Cambio climático, producción ganadera, gases efecto invernadero, metano.

### ABSTRACT

Cattle production in Mexico uses nearly 58 % of the territory, which makes it mainly extensive. Despite being the main origin of greenhouse gases (GHG), extensive cattle production has a high mitigation potential (20-40 % of current levels) if practices such as pasture management, adequate nutritional management and genetic selection are implemented. Furthermore, grasslands and pastures used in extensive production systems have a role to play in carbon sequestration which would help balance the impact of such systems in the environment. However, in order to adequately account for emission of cattle production systems, environmental services that these production systems provide need to be also

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 2, febrero. 2018, pp: 46-51.

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

recorded. Additionally, work on individual mitigation at animal level is still the main focus of most of research carried out to reduce environmental impact of cattle production. Researchers can now work on determining effective GHG mitigation methods and strategies at animal and farm levels to allow cattle production systems sustainability in the long term. The strategies developed need to minimise environmental impact of cattle production striking a balance between productivity, ecosystemic health and wellbeing of farmers and local communities

**Keywords:** Climate change, livestock production, greenhouse gases, methane.

### Importancia de la ganadería bovina en México

México tiene un territorio de 198 millones de hectáreas (mHa), de las cuales 145 mHa (73 %) se dedican a la actividad agropecuaria (30 mHa (15 %) tierras de cultivo y 115 mHa (58 %) agostaderos) y 45 mHa (22.7 %) son de bosques y selvas (FAO, 2017). En 2016, de la población total de bovinos (33,779,290 cabezas), 7.4 y 92.6 % se destinaron a la de producción de leche y carne, respectivamente, y 62.5 % de la producción nacional de carne de bovino se concentró en diez entidades: Veracruz (13.4 %), Jalisco (11.5 %), Chiapas (6.1 %), San Luis Potosí (5.5 %), Sinaloa (4.9 %), Baja California (4.8 %), Durango (4.5 %), Michoacán (4.1 %), Chihuahua (4.0 %) y Sonora (3.7 %) (SAGARPA, 2017). Los estados con mayor producción de leche son Jalisco (19 %), Coahuila (12 %), Durango (10 %) y Chihuahua (9 %) (SIAP-SAGARPA, 2017).

La FAO (2016) estima que el crecimiento de la población humana mundial llegará a 9,600 millones en el 2050, con el doble de poder adquisitivo para el consumo de carne y derivados lácteos. Por lo que los sistemas agrícolas deben ser más eficientes y sustentables con el medio ambiente, permitiendo reducir la emisiones de gases de efecto invernadero, garantizando el bienestar del ecosistema y de las poblaciones rurales.

### Ganado bovino como fuente de GEI

Un problema importante que enfrenta nuestro planeta es el cambio climático que se ha asociado a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades antropogénicas. El efecto invernadero es causado por el aumento en el aire de gases que impiden la salida del calor al espacio exterior, incrementando la temperatura del planeta. Los GEI son principalmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El CO<sub>2</sub> es el gas más abundante y el que más aporta al calentamiento global (FAO, 2016). El CH<sub>4</sub>, segundo GEI en importancia, ha causado deterioro de la capa de ozono y posee 25-28 veces el potencial de calentamiento global con respecto al CO<sub>2</sub>. Las fuentes principales son actividades humanas como la agricultura (fermentación entérica y producción de arroz) y uso y extracción de combustibles fósiles (Lassey *et al.*, 2008). La ganadería es responsable del 53 % del CH<sub>4</sub> antropogénico del total del sector agrícola, proveniente principalmente de la digestión entérica de los rumiantes (Charmley *et al.*, 2016). El CO<sub>2</sub>, no se considera en la contabilidad del sector, debido a que su emisión por los animales se considera parte del

ciclo natural del carbono del planeta. El N<sub>2</sub>O se asocia a las actividades agrícolas y manejo de excretas. Los rumiantes tienen un sistema digestivo que les permite utilizar diferentes alimentos y fermentarlos hasta piruvato, ácidos grasos volátiles, CH<sub>4</sub>, masa microbiana y CO<sub>2</sub>. La producción de CH<sub>4</sub> en el rumen se da mediante la siguiente reacción: CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> + H<sup>+</sup> a CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>; realizada por microorganismos metanogénicos (Archeas) y es una vía importante para reducir la concentración de hidrogeniones en el rumen. Las emisiones de CH<sub>4</sub> por los rumiantes, representan una pérdida de energía neta de 2 a 12 % (Histrov *et al.*, 2015). Las estimaciones de producción mundial de CH<sub>4</sub> entérico por los rumiantes es de 80 millones de toneladas al año, lo que contribuye al 28 % del total de las emisiones de CH<sub>4</sub> antropogénico (Beauchemin *et al.*, 2008). Las emisiones de GEI originadas por las actividades del sector agropecuario de México en el año 2010 se estimaron en 92,184.5 Giga gramos (Gg) de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq). La contribución de la ganadería representa 49.4 % del total del sector (37,961.5 y 7,553.5 Gg CO<sub>2</sub>eq por fermentación entérica y manejo de estiércol respectivamente). Las emisiones promedio de CH<sub>4</sub> para este periodo se estimaron en 39,247 Gg. De esta cantidad 97 % se originaron por fermentación entérica y 3 % por manejo del estiércol (SEMARNAT, 2013). En este sentido, se estima que la emisión de CH<sub>4</sub> de un bovino productor de leche en lactancia es de 369 g día<sup>-1</sup> y de un bovino productor de carne de 323 g día<sup>-1</sup> (Garnsworthy *et al.*, 2012). Con relación a ovinos y caprinos la emisión de CH<sub>4</sub> es de 21.9 y 13.74 g día<sup>-1</sup> por animal respectivamente (Sejian *et al.*, 2011).



## Ganado bovino como parte de la solución al cambio climático

Los rumiantes, principalmente los bovinos, son vistos como una de las principales fuentes de GEI provenientes del sector agropecuario (FAO, 2016). Sin embargo, hay que tomar esto con cuidado. Es cierto que los bovinos son los principales emisores debido a los procesos fermentativos mencionados, pero este proceso es parte fundamental de su fisiología digestiva, *i.e.* fermentación de carbohidratos estructurales. Gracias a esto, los bovinos, y en general los rumiantes, representan una de las mejores fuentes de proteína para el humano, ya que al consumir pastos o forrajes (Makkar, 2017), no compiten directamente con el humano por alimento. Dentro de los sistemas de producción bovina en México, están los bovinos especializados en producción de leche, de carne y los de doble propósito (DP). Además de las obvias diferencias en cuanto al producto final, los sistemas de manejo asociados son muy distintos, lo que impacta en el volumen de emisión de cada sistema (FAO, 2016; INECC, 2016). Según estimaciones actuales, la mayoría de las emisiones de GEI provienen de sistemas de producción extensivos o semi-intensivos (*i.e.*  $\text{CH}_4 = 80\%$ ; INECC, 2016), dentro de los cuales encontramos a los bovinos de DP y de cría, cuya alimentación se basa en forraje de calidad variable con poca suplementación, requiriendo "grandes" extensiones para su cría y mantenimiento (FAO, 2016). Por otro lado, tenemos a los bovinos especializados en la producción de leche, los cuales son responsables de la quinta parte de las emisiones de GEI en nuestro país (INECC, 2016). Similar a lo observado en el sistema de producción de leche, el sistema de ganado de engorda en corrales o en sistemas intensivos, también cuenta con manejos estandarizados que buscan la finalización del animal (peso al sacrificio) lo más rápido posible, lo que hace que las dietas sean balanceadas con alto contenido de granos y bajo contenido de forrajes, esto hace que las emisiones sean menores debido a la modificación fisiológica de rumen con un incremento en la producción de propionato en lugar de acetato o butirato (Histrov *et al.*, 2015). Por lo que los sistemas intensivos parecen ser, en general, más eficientes en la producción de un kg de proteína, que los sistemas extensivos ( $\text{kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$  de proteína = intensidad de emisión) (Gerber, 2013; GRA, 2014; Herrero *et al.*, 2013). En éste sentido, se considera que los sistemas de producción de leche son más eficientes (84  $\text{kgCO}_2\text{eq/kg prot}$ , rango: 12-140  $\text{CO}_2\text{eq/kg prot}$ ) que los de carne (342  $\text{kgCO}_2\text{eq/kg prot}$ , rango: 58-1000 +  $\text{kgCO}_2\text{eq/kg prot}$ ; Herrero *et al.*, 2013), sin embargo hay una gran variación en la in-

tensidad de producción de estos últimos. Por lo anterior, existe una creencia en diversos foros del sector pecuario que la forma de reducir el impacto ambiental, *i.e.* reducir emisiones de GEI, es la intensificación de los sistemas. En el caso del ganado de engorda para carne, lo anterior pareciera aplicar, ya que entre más rápido un animal alcance el peso final requerido menor emisión de GEI, a pesar de que a mayor consumo generalmente se incrementa el nivel de emisión, pero por la reducción en el número de días en engorda el impacto sería menor. Mismos argumentos son ofrecidos por los productores lecheros intensivos. Sin embargo, hay que recordar que a pesar que lo anterior es cierto, los sistemas intensivos son altamente dependientes de insumos externos, por lo que, sólo considerar los niveles o intensidades de emisión de la unidad de producción, sin considerar las emisiones generadas por todos los eslabones de la cadena de provisión de insumos subestima las emisiones reales (Crosson *et al.* 2011; Gerber *et al.*, 2013). De hecho, gran parte de las emisiones generadas por estos sistemas, no están dentro de ellos sino que son exportadas a otros sectores. Un cierto grado de intensificación será necesario, pero más enfocado a la mejora en la eficiencia productiva de los sistemas existentes y no necesariamente la intensificación de ellos. Esta y una serie de alternativas para el manejo de la disponibilidad alimenticia y reducción del desperdicio de comida son planteadas como posibles soluciones al problema de la seguridad alimentaria en el estudio de Smith (2013).

Se han planteado varias posibles soluciones a nivel individual y a nivel hato que pudieran contribuir a mejorar la eficiencia productiva y reducir el impacto de la ganadería bovina. Una gran parte de la investigación tiene un enfoque individual, basado en la modificación de las poblaciones ruminales (disminución de Archeas) o en manejos nutricionales que permitan disminuir las emisiones de  $\text{CH}_4$ . El razonamiento es que, si logramos reducir la emisión a nivel individual, esto se verá reflejado en una disminución a nivel hato (Knapp *et al.*, 2014). A pesar de que muchas de estas estrategias son prácticas y eficientes para reducir la emisión de  $\text{CH}_4$  a corto, e incluso mediano plazo, el rumen termina por adaptarse y recuperar gran parte de su capacidad fermentativa (Knapp *et al.*, 2014). La emisión de  $\text{CH}_4$  está muy relacionada con el nivel de consumo (Knapp *et al.*, 2014; Ku Vera *et al.*, 2017) lo que hace que la fuente de alimento y, sobretudo, la calidad de este, impacte el volumen de emisión. Por lo que se ha planteado mejorar la calidad de los forrajes como una alternativa de mitigación, implementando

manejos (cosecha de forrajes "jóvenes", selección de mejores pastos o métodos de preservación adecuados) que permitan incrementar o mantener la digestibilidad de los nutrientes, mejorar su utilización y por tanto incrementar la eficiencia alimenticia (Knapp *et al.*, 2014; Ku Vera *et al.*, 2017). Como se mencionó, la producción de CH<sub>4</sub> es considerada una pérdida energética (Knapp *et al.*, 2014; Histrov *et al.*, 2015; Ku Vera *et al.*, 2017) por lo que uno de los argumentos para su reducción es la mejora en la eficiencia energética del animal. Sin embargo, reportes recientes (Garnsworthy, 2015) indican que la disminución en la producción entérica de CH<sub>4</sub> tiene un impacto pequeño en la eficiencia energética total del animal. Esto demuestra que existen aspectos de la dinámica ruminal que aún deben ser estudiados para poder entender la función integral del rúmen y la interacción entre los microorganismos ruminales y el animal (hospedero). Varios estudios han demostrado una gran variabilidad individual en cuanto a los niveles de emisión de CH<sub>4</sub> (Garnsworthy *et al.*, 2012; Bell *et al.*, 2014), probablemente relacionada a la selección del alimento durante el pastoreo, velocidad de paso de la ingesta, e incluso, interacciones entre los microorganismos y el animal (Hammond *et al.*, 2016). Debido a esta variación se ha propuesto a la selección genética como otra estrategia de mitigación (deHaas *et al.*, 2010, Garnsworthy *et al.*, 2012), misma que se ha evaluado en nuestro país. Resultados de estudios con ganado lechero de doble propósito (Holstein × Cebú y/o Suizo × Cebú) y especializado de raza pura (Holstein), muestran una heredabilidad para la producción de CH<sub>4</sub> cercana al 0.24 (Román-Ponce *et al.*, 2017), lo que podría abrir la puerta para la elaboración de un índice de selección. Así mismo, se ha mostrado que la selección genética para una menor producción de CH<sub>4</sub> podría ocasionar una selección para un menor consumo, ya que ambos parámetros están altamente relacionados (Knapp *et al.*, 2014; Garnsworthy *et al.*, 2015). Por tanto, la construcción de un índice de selección debe hacer énfasis en varias características productivas y reproductivas de manera simultánea, lo que favorecería la selección de animales con menor consumo y menos emisión de CH<sub>4</sub>, sin afectar la producción (FAO, 2015; GRA, 2014). La selección de animales con baja emisión de CH<sub>4</sub> no es la única forma en la que la selección genética ayudaría a reducir el impacto de la ganadería bovina, ya que la selección de animales adaptados a ciertos ambientes o sistemas de producción también representa uno de los métodos de mitigación a nivel hato (GRA, 2014; FAO, 2015). Esto es, que los animales empleados en los sistemas de producción, deberán ser los mejor adaptados a las condiciones del rancho o granja, y no viceversa (Hayes *et al.*, 2013; FAO, 2015). Otros aspectos importantes para lograr una mejor eficiencia de producción con un menor impacto sobre el ambiente son el manejo sanitario y la eficiencia reproductiva. La OIE estima que cerca de una quinta parte de la producción animal se pierde por causa de un manejo sanitario inadecuado (presentación de enfermedades infecciosas y no infecciosas; Grace *et al.*, 2015) lo que implica que se requieran un mayor número de animales para poder mantener los niveles de producción requeridos. Por lo que, medidas de manejo sanitario que previenen la presentación de enfermedades reducen la mortalidad e incrementan la vida productiva de los animales, lo que se refleja en un sistema más eficiente de producción (GRA, 2014). De la misma manera, la eficiencia reproductiva en el hato es un buen indicador de la eficiencia productiva, ya que indica cuantos animales son necesarios para mantener cierto nivel de

producción. La intensidad de emisión a nivel de granja no sólo toma en cuenta a los animales en producción, sino también a los "no productivos", por lo que una baja eficiencia reproductiva se ve reflejada en una elevada intensidad de emisión (Garnsworthy *et al.*, 2004). En México, la eficiencia reproductiva del hato nacional en sistemas en pastoreo es cercana al 40 % (Gutiérrez-Aguilar, comunicación personal), con cerca de un 30 % de vacas vacías pero ciclando. Esto indica que hay un gran campo de acción en cuanto al manejo reproductivo del hato nacional que nos permita reducir el número de animales o bien producir más con el número que actualmente existe. Otro aspecto importante a considerar es que a pesar que la producción bovina extensiva es una de las que mayores emisiones produce, también es la que mayor capacidad de mitigación tiene (Gerber *et al.*, 2013; McGinn *et al.*, 2014; Henderson *et al.*, 2015; De Figuereido *et al.*, 2016). La FAO menciona que el potencial de mitigación en sistemas de producción bovina puede estar entre el 20 y 40 % de los niveles actuales, siempre que se puedan adaptar prácticas de manejo destinadas a mejorar el manejo de las praderas, la alimentación de los animales y mejoramiento genético (FAO, 2016). El reporte presentado por Herrero *et al.* (2016) menciona que uno de los puntos más importantes para la ganadería extensiva es el potencial de secuestro de carbono de las praderas, asociadas con el manejo de las mismas, siempre que no haya cambio en el uso de suelo (*i.e.* deforestación). El potencial de secuestro de carbono en las praderas podría representar hasta un 8 % de mitigación de las emisiones de las cadenas productivas del sector (Gerber *et al.*, 2013),

en especial si se mejora el manejo (*i.e.* reducir el sobrepastoreo) y se seleccionan variedades adecuadas para cada ambiente. El potencial de mitigación del impacto ambiental, y no solo de las emisiones, puede ser mayor en los sistemas en pastoreo si se toman en cuenta todos los posibles servicios ambientales que estos prestan. Los sistemas de producción bovina establecidos son parte del ecosistema (paisaje), por lo que no es concebible que desaparezcan (Broom *et al.*, 2013). Mientras la frontera ganadera no sea extendida, los sistemas de producción ganadera extensivos son capaces de volverse sostenibles en el largo plazo (Murgueitio, 2011; Broom *et al.*, 2013). Un ejemplo de esto son los sistemas silvopastoriles que incorporan el uso de gramíneas, arbustivas y árboles (Murgueitio, 2011), lo que genera una mayor disponibilidad de forraje, menor uso de agua y un incremento en la biodiversidad, mejorando o manteniendo la producción (Broom *et al.*, 2013). Este tipo de sistemas muestran que uno de los cambios necesarios para reducir el impacto de la ganadería bovina sobre el ambiente es la modificación del enfoque productivo de uno de volumen (*i.e.* cada vez más carne o leche por animal) por uno interesado en la sostenibilidad a largo plazo (*i.e.* producción más eficiente con menor uso de recursos). Esto implica que la selección de animales y los manejos productivos estén enfocados en lo que requiere la unidad de producción o región. Además se deben considerar los aspectos socioeconómicos de los productores para poder plantear mejoras en la eficiencia de producción, ya que si no implican incrementos en la calidad de vida del productor, es muy probable que no sean implementadas.

## CONCLUSIONES

**La base** de la ganadería en el mundo y en México son los sistemas basados en pastoreo y aunque se ha establecido que es de las principales fuentes de emisión de gases efecto invernadero, también es la que mayor capacidad de mitigación tiene (20 y 40 %) a través del secuestro de carbono de las praderas, la alimentación de los animales y mejoramiento genético. El potencial de mitigación del impacto ambiental, y no solo de las emisiones, puede ser mayor en los sistemas en pastoreo si se toman en cuenta todos los servicios ambientales ofrecidos. Es importante seguir evaluando las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) en los diferentes sistemas de producción utilizando técnicas *in vivo* e *in vitro* que permitan estimar la eficiencia de las estrategias de mitigación de la metanogénesis ruminal. Algunas estrategias para reducir la emisión de CH<sub>4</sub> son

muy eficientes a corto o mediano plazo, pero el rumen termina por adaptarse y recuperar su capacidad fermentativa. Lograr un balance en la emisión y mitigación a nivel individual (animal), de granja y cadena productiva hará que los sistemas de producción bovina sean más eficientes y sustentables a futuro, permitiendo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, garantizando el bienestar del ecosistema y de las poblaciones rurales.

## LITERATURA CITADA

- 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.
- Bell M.J., Potterton S.L., Craigon J., Saunders N., Wilcox R.H., Hunter M., Goodman J.R., Garnsworthy P.C. 2014. Variation in enteric methane emissions among cows on commercial dairy farms. *Animal* 8(9): 1540-1546.
- Bonilla C.J.A., Lemus F.C. 2012. Emisión de CH<sub>4</sub> entérico por rumiantes y su contribución al cambio climático y al calentamiento global. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 3(2): 215-246.
- Broom D.M., Galindo F.A., Murgueitio E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Science* 280: 2013-2025.
- Chagunda M.G.G., Ross D., Roberts D.J. 2009. On the use of a laser methane detector in dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture* 68:157-160.
- Charmley E., Williams R., Moate O., Hegarty R., Herd R., Oddy H., Reyenga P., Staunton K., Anderson A., Hannah M. 2016. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Animal Production Science* 56: 2-3.
- Crosson P., Shalloo L., O'Brien D., Lanigan G.J., Foley P.A., Boland T.M., Kenny D.A. 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. *Animal Feed Science and Technology*. 166-167: 29-45.
- de Figueiredo E.B., Jayasundara S., Oliveira B.R., Berchielli T.T., Andrade R.R., Wagner-Riddle C., La Scala J.N. 2017. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production* 142: 420-431.
- de Haas Y., Windig J.J., Calus M.P.L., Dijkstra J., de Haan M., Bannink A., Veerkamp R.F. 2011. Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of Dairy Science* 94: 6122-34.
- FAO. 2015. Coping with climate change. The roles of genetic resources for food and agriculture. Rome, Italy.
- FAO. 2016. Climate is changing. Food and agriculture must change too. Rome, Italy.
- FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/mexico/fao-en-mexico/mexico-en-una-mirada/en/> (diciembre 2017)
- Garnsworthy P.C. 2004. The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Animal Feed Science and Technology* 112(1-4): 211-223.
- Garnsworthy P.C., Craigon J., Hernandez-Medrano J.H., Saunders N. 2012a. On-farm methane measurements during milking correlate with total methane production by individual dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95(6): 3166-3180.

- Garnsworthy P.C., Craigon J., Hernandez-Medrano J.H., Saunders N. 2012b. Variation among individual dairy cows in methane measurements made on farm during milking. *Journal Dairy Science* 95(6): 3181-3189.
- Garnsworthy P.C., Craigon J., Gregson E., Homer E., Potterton S., Bani P., Trevisi E., Huhtanen P., Shingfield K., Bayat A. 2015. Variability among dairy cows in methane, digestibility and feed efficiency. *Climate Smart Cattle Farming and Breeding, Annual Meeting of the European Association of Animal Science (EAAP)*, Vasovia, Polonia. Disponible en: [http://www.eaap.org/AnnualMeeting/2015\\_warsaw/S08\\_07.pdf](http://www.eaap.org/AnnualMeeting/2015_warsaw/S08_07.pdf)
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A., Tempio G. 2013. Tackling climate change through livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.
- Global Research Alliance (GRA) on Agricultural Greenhouse Gases. 2014. Reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería: Mejores prácticas y opciones emergentes. New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre. Palmerston, New Zealand.
- Grace D, Bett B, Lindahl J, Robinson T. 2015. Climate and livestock disease: assessing the vulnerability of agricultural systems to livestock pests under climate change scenarios. CCAFS Working Paper no. 116. Copenhagen, Denmark. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Available online at: [www.ccafs.cgiar.org](http://www.ccafs.cgiar.org)
- Hammond K.J., Crompton L.A., Bannink A., Dijkstra J., Yáñez-Ruiz D.R., O'Kiely P., Kebreab E., Eugène M.A., Yu Z., Shingfield K.J., Schwarm A., Hristov A.N., Reynolds C.K. 2016. Review of current *in vivo* measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 219: 13-30.
- Hayes B.J., Lewin H.A., Goddard M.E. 2013. The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. *Trends in Genetics* 29(4): 206-214.
- Henderson B.B., Gerber P.J., Hilinski T., Falcucci A., Ojima D.S., Salvatore M., Conant R.T. 2015. Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing lands: modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 207: 91-100.
- Herrero M., Havlik P., Valin H., Notenbaert A., Rufino M.C., Thornton P.K., Blümmel M., Weiss F., Grace D., Obersteiner M. 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 110(52): 20888-20893.
- Herrero M., Henderson B., Havlik P., Thornton P.K., Conant R.T., Smith P., Wirseniuss S., Hristov A.N., Gerber P., Gill M., Butterbatch-Bahl K., Valin H., Garnett T., Stehfest E. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change* 6: 452-461.
- Histrov A.N., Oh J., Giallongo F., Frederick T.W., Harper M.T., Weeks H.L., Branco A.F., Moate P.J., Deighton M.H., Williams S.R.O., Kindermann M., Duval S. 2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 112(34): 10663-10668.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) – SEMARNAT. 2016. Inventario Nacional de Emisiones y Compuestos de Gases de Efecto Invernadero. Consultado el 25 de Noviembre de 2017. Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2015\\_indc\\_esp.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/adaptacion/2015_indc_esp.pdf)
- Knapp J.R., Laur G.L., Vadas P.A., Weiss W.P., Tricarico J.M. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science* 97(6): 3231-3261.
- Ku Vera J.C., Juárez Lagunes F.I., Mendoza Martínez G.D., Romano Muñoz J.L., Shimada Miyasaka A.S. 2015. Alimentación del ganado bovino en las regiones tropicales de México. En: Libro Técnico - Estado Del Arte sobre Investigación e Innovación Tecnológica en Ganadería Bovina Tropical, González Padilla E, Dávalos Flores JL, eds. Red Gatro – CONACYT. Talleres de Impresión D&D Internacional, Ciudad de México, México. pp: 69-98.
- Ku Vera J.C., Piñeiro Vázquez A.T., Valencia Salazar S.S., Molina Botero I.C., Arroyave Jaramillo J., Arceo Castillo J.I., Canul Solís J.R., Ramírez Cancino L., Escobar Restrepo C.S., Lazos Balbuena F.J., Alayón Gamboa J.A., Montoya Flores M.D., Moreno Sabogal H.Y., Zavala Escalante L.M., Castelán Ortega O.A., Quintana Owen P., Solorio Sánchez F.J., Aguilar Pérez C.F., Ayala Burgos A.J., Ramírez Avilés L. 2017. Mitigación de CH<sub>4</sub> entérico en bovinos alimentados con pastos tropicales. En: Producción Animal en los Ecosistemas de México, Sánchez Muñoz JB, Yamasaki Maza A, Pérez Luna EJ, León Velasco H, eds. Universidad Autónoma de Chiapas y Asociación Mexicana para la Producción Animal. Tuxtla Gutierrez, Chiapas. pp. 231-260.
- Lassey K.R. 2008.. Livestock methane emission and its perspective in the global methane cycle. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 114-118.
- Makkar H.P.S. 2017. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal* 4: 1-11.
- Martin C., Morgavi D.P., Doreau M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4(3): 351-65.
- McGinn S.M., Beauchemin K.A., Coates T., McGeough E.J. 2014. Cattle methane emission and pasture carbon dioxide balance of a grazed grassland. *Journal of Environmental Quality* 43(3): 820-828.
- Murgueitio E. 2011. Retos y progresos de la ganadería sostenible. *Agricultura Sostenible*. 7: 45-54.
- Román Ponce S.I., Vega Murillo V.E., Ruiz Lopez F.J., Mejía Melchor E.I., Calderón Chagoya R. 2017. Reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> mediante el mejoramiento genético. *Memorias del Taller Avances en Técnicas para Mitigar la emisión de Gases de Efecto Invernadero por Rumiantes en México*. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en Altiplano (CEIEPAA), FMVZ-UNAM, Tequisquiapan, Querétaro, México, 8 y 9 de Junio de 2017. pp: 46-50.
- SAGARPA. 2017 Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Disponible en <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762?idiom=es>.
- Sejian V, Lal R, Lakritz J., Ezeji T. 2011. Measurement and prediction of enteric methane emission. *International Journal of Biometeorology* 55: 1-16.
- SEMARNAT. 2013. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos. México. pp. 384. Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf\\_inegei\\_public\\_2010.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf)
- Smith P. 2013. Delivering food security without increasing pressure on land. *Global Food Security* 2(1): 18-23.