

## **ESTIMACIÓN DE EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA EN EL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO**

Prospero-Bernal<sup>1,2</sup>, F., López-González<sup>1</sup>, F., Martínez-García<sup>1</sup>, CG., Flores-Calvete<sup>2</sup>, G. y Arriaga-Jordán<sup>1</sup>, C.M.

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), C.P. 50000 Toluca, México. <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM), C.P 15318, La Coruña, Galicia, España; fprosperob@uaemex.mx

### **INTRODUCCIÓN**

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en México representan el 78% de las explotaciones especializadas en producción, aporta el 37% de la producción nacional (Hemme et al., 2007) y son una fuente de empleo y generación de ingreso en zonas rurales (Espinoza-Ortega et al., 2007; FAO, 2010), lo que los convierte en una herramienta de desarrollo rural. Sin embargo, ante un escenario de cambio climático y presión sobre los sistemas de producción agropecuarios, se debe dirigir la producción a sistemas sostenibles con disminución en las intensidades de emisión de gases efecto invernadero (GEI) y aumento en la productividad. Según Gerber et al. (2013), los sistemas ganaderos emiten el 14,5% de los GEI, la emisión de metano por fermentación entérica representa el 17% del metano global y el ganado vacuno es el principal emisor de este (EPA, 2010). Las mediciones directas de metano son costosas y requieren de equipos especializados (Niu et al., 2018) lo que hace necesario el desarrollo de métodos de estimación que vayan eliminando incertidumbre y generen factores de emisión más ciertos. El objetivo de este estudio fue estimar la emisión de metano por vaca y día en los SPLPE del altiplano central de México, los cuales aplican distintas estrategias de alimentación con la incorporación de forrajes de calidad, mediante las metodologías del IPCC (2006) y Moraes et al. (2014) que incorporan parámetros de calidad de los alimentos y leche, dentro del Nivel 2 de estimación según los parámetros del IPCC.

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

El trabajo se realizó en el altiplano mexicano entre las coordenadas 20° 06' y 20° 17' Norte y 99° 40' and 100° 00' Oeste, a una altura de 2360 msnm, clima templado subhúmedo. Durante el periodo de medición se presentaron medias de temperatura de 15,6°C y precipitación de 1.054 mm (CONAGUA, 2017). La evaluación fue de enero a diciembre de 2015, en sistemas de producción de leche en pequeña escala bajo un enfoque de investigación participativa rural donde se involucra al productor en los objetivos del trabajo con la finalidad de lograr un mayor interés, mejorando la veracidad y confiabilidad de la información colectada (Conroy, 2005). Se analizaron 24 explotaciones divididas en cuatro grupos conforme al sistema de manejo en las estrategias de alimentación. Cinco explotaciones con manejo convencional (MC) basado en el corte y acarreo de praderas, suplemento de concentrados comerciales y uso de rastrojo de cereales. Los siguientes grupos han incorporado Ensilado de Maíz (EM) y Pastoreo Continuo Intensivo (PCI): seis con uso de EM, seis con uso de PCI y siete con uso de EM y PCI. Mensualmente se realizaron visitas a las explotaciones para coleccionar información de alimentación, composición de la dieta y rendimiento de leche, se tomaron muestras de alimentos y leche para analizar en el laboratorio. El consumo de materia seca (MS) fue medido mediante pasaje directo de cada alimento de la dieta ofrecida al ganado en pesebre, el consumo de MS de praderas se estimó indirectamente por los requerimientos y concentración de energía metabolizable en los alimentos (Hernández y Leaver, 2006). La composición química de la dieta y leche fueron determinados en el laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, por procedimientos estandarizados. Cenizas por incineración a 550°C en un horno de mufla, Proteína Cruda (PC) por el método de Kjeldahl, Fibra Neutro Detergente (FND) por el método de micro-bolsas (Ankom, 2005), Digestibilidad in vitro enzimática de la materia orgánica siguiendo el método propuesto por Riveros y Argamentería (1987) y la Energía Bruta (EB) se estimó a partir de Moraes et al. (2014). El Extracto Etéreo (EE) se tomó de tablas de Feedipedia (2019). El contenido de grasa, proteína y lactosa en leche fue

determinado por un analizador de ultrasonido, la Leche Corregida en Energía (LCE) fue a 35 g/kg de grasa en leche a partir de Niu et al. (2018). La producción de metano por fermentación entérica fue calculada por dos metodologías; Moraes et al. (2014) [ $\text{CH}_4$  (MJ/d) =  $-9,311+0,042*\text{Consumo de EB (MJ/d)}+0,094*\% \text{FND}-0,381*\% \text{EE}+0,008*\text{Peso vivo}+1,621*\% \text{Grasa}$ ] e IPCC (2006) [ $\text{CH}_4$  (MJ/d) =  $0,065*\text{Consumo de EB (MJ/d)}$ ]. El factor de corrección de metano ( $Y_m$ ) que utiliza el IPCC (2006) es el 6,5% del consumo de EB, para Moraes et al. (2014) se calculó con la siguiente ecuación  $Y_m = 100[\text{CH}_4 \text{ (MJ/d)}/\text{Consumo de EB (MJ/d)}]$ . Para el cálculo de g de  $\text{CH}_4$ /d se dividió la producción de MJ/d entre 0,05565 (g/kg de  $\text{CH}_4$ ) que es el contenido de energía del metano (IPCC, 2006). El análisis estadístico fue ANOVA ( $P < 0,05$ ) para identificar diferencias entre grupos, para identificar los grupos diferentes se realizó una prueba de Tukey con el programa SPSS v24.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados en la Tabla 1, existiendo diferencias ( $P < 0,05$ ) en las variables de calidad de la dieta y producción de metano, no existen diferencias ( $P > 0,05$ ) en rendimiento y calidad de leche.

**Tabla 1.** Valores medios de producción y calidad de leche, consumo y calidad de la dieta y producción de metano de los grupos evaluados.

	MC	EM	PCI	EM+PCI	EEM	Valor de P
Número de observaciones	60	72	72	84		
Peso vivo	512,5	500,1	502,3	505,1	1,913	0,152
Consumo de MS	12,09 <sup>b</sup>	12,40 <sup>b</sup>	11,05 <sup>a</sup>	11,13 <sup>a</sup>	0,106	0,000
Consumo de EB (MJ/día)	225,0 <sup>b</sup>	231,0 <sup>b</sup>	203,5 <sup>a</sup>	207,4 <sup>a</sup>	1,988	0,000
<b>Composición de la dieta (g/kg de MS)</b>						
EB	186,1 <sup>b</sup>	186,3 <sup>b</sup>	184,3 <sup>a</sup>	186,4 <sup>a</sup>	0,127	0,000
PC	142,3 <sup>b</sup>	131,4 <sup>a</sup>	149,7 <sup>b</sup>	147,2 <sup>b</sup>	1,116	0,000
FND	420,3 <sup>ab</sup>	426,5 <sup>ab</sup>	407,1 <sup>a</sup>	435,0 <sup>b</sup>	3,043	0,008
EE	28,09 <sup>a</sup>	28,94 <sup>ab</sup>	29,69 <sup>bc</sup>	30,70 <sup>c</sup>	0,207	0,000
Cenizas	88,92 <sup>b</sup>	79,56 <sup>a</sup>	104,3 <sup>c</sup>	100,0 <sup>c</sup>	0,911	0,000
<b>Rendimiento y composición de la leche</b>						
Producción por vaca (kg/día)	14,36	14,20	14,69	14,60	0,170	0,722
LCE (kg/día)	14,65	14,36	14,73	14,81	0,177	0,818
Grasa (%)	3,43	3,37	3,30	3,40	0,020	0,101
Proteína (%)	3,27	3,23	3,23	3,23	0,010	0,541
Lactosa (%)	4,60	4,63	4,54	4,58	0,020	0,524
<b>Emisiones de metano (Moraes et al., 2014)</b>						
g/vaca/día	227,9 <sup>c</sup>	229,4 <sup>c</sup>	202,9 <sup>a</sup>	213,3 <sup>a</sup>	2,088	0,000
g/l de LCG	15,87 <sup>b</sup>	16,38 <sup>b</sup>	13,98 <sup>a</sup>	14,75 <sup>a</sup>	0,154	0,000
MJ/vaca/día	12,69 <sup>c</sup>	12,77 <sup>c</sup>	11,30 <sup>a</sup>	11,87 <sup>a</sup>	0,116	0,000
$Y_m$ (% del consumo de EB)	5,65 <sup>b</sup>	5,53 <sup>a</sup>	5,53 <sup>a</sup>	5,73 <sup>b</sup>	0,025	0,008
<b>Emisiones de metano (IPCC, 2006)</b>						
g/vaca/día	262,8 <sup>b</sup>	269,8 <sup>b</sup>	237,7 <sup>a</sup>	242,2 <sup>a</sup>	2,323	0,000
g/l de LCG	18,23 <sup>b</sup>	19,21 <sup>c</sup>	16,44 <sup>a</sup>	16,65 <sup>a</sup>	0,148	0,000
MJ/vaca/día	14,63 <sup>b</sup>	15,02 <sup>b</sup>	13,23 <sup>a</sup>	13,48 <sup>a</sup>	0,129	0,000
$Y_m$ (% del consumo de EB)	6,50	6,50	6,50	6,50	0,000	1,000

EEM, Error Estándar de la Media MS, Materia Seca; EB, Energía Bruta; PC, Proteína Cruda; FND, Fibra Neutra Detergente; EE, Extracto Etéreo; LCG, Leche Corregida en Energía;  $Y_m$ , Factor de corrección de Metano.

Los grupos MC y EM tuvieron en promedio 9,1% de mayor consumo EB respecto a los grupos que incorporaron PCI, esto se ve reflejado en las emisiones de metano, representa un aumento de 9,9% en la producción de metano (Metodología de Moraes et al., 2014) para los grupos que tienen un mayor consumo de EB. Utilizando la metodología de Moraes et al. (2014) se identificaron diferencias numéricas en la estimación de emisiones de metano entérico con; 15,5, 17,6, 17,2 y 13,5% para MC, EM, PCI y EM+PCI, respecto a las estimaciones del IPCC (2006), dado la incorporación de factores de características del ganado, calidad de la leche y de la dieta.

En estimaciones de vacas lecheras en E.E.U.U. reportaron 16,57 MJ/d de producción de CH<sub>4</sub> por vaca con producciones medias de leche de 23,3 kg/d (Moraes et al., 2014), que contrastan con los resultados obtenidos en este estudio, con valores medios de 12,15 MJ/d de CH<sub>4</sub> y 14,46 kg/d de producción de leche. Esto representó una mayor intensidad de emisión de los sistemas estimados en este estudio por 15% más por kg de leche respecto a los estimados por Moraes et al. (2014). Un estudio comparativo de estimaciones de emisiones entre sistemas de EE. UU. y Europa no identificó diferencias significativas, reportando una media de 13,5 g de CH<sub>4</sub>/d por kg de LCE (Niu et al., 2018). Se obtuvieron estimaciones de emisiones ligeramente mayores para el grupo PCI en este trabajo, que fue el que menores emisiones de CH<sub>4</sub> presentó. Cameron et al. (2017) identificaron que la incorporación de forrajes frescos y de alta calidad son elementos que permiten disminuir la emisión de metano entérico el 28% en sistemas lecheros respecto a sistemas convencionales en Escocia.

Se concluye que los sistemas de producción de leche en pequeña escala tienen un potencial en la disminución de emisión de metano mediante la incorporación en el uso de forrajes de calidad. Además, incorporar mayor número de parámetros en las metodologías de estimación permite eliminar incertidumbre y tener mediciones más precisas y fiables.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hemme et al., 2007. IFCN Dairy Report. Kiel, Alemania • Espinoza-Ortega et al., 2007. Exp Agr 43: 241–256. • FAO. 2010. Status and prospects for smallholder milk production. • Gerber et al., 2013. Tackling climate change through livestock. • EPA, 2010. Publication 430-R-11-005. EPA. • Niu et al., 2018. Glob Change Biol 24:3368-3389. • IPCC, 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. • Moraes et al., 2014. Glob Change Biol 20:2140-2148. • CONAGUA (2019) Comisión Nacional del Agua- Datos Anuales. • Conroy, 2005. Participatory livestock research: a guide. • Hernandez y Leaver, 2006. Grass Forage Sci 61: 335–346. • Ankom, 2005. Procedures (for NDF, ADF, and in vitro Digestibility). www.ankon.com. • Riveros y Argamentaría, 1987. Avances en Producción Animal 12: 59–75. • FEEDIPEDIA, 2019. Animal Feed Resources Information System. www.feedipedia.org. • Cameron et al., 2017. Grass Forage Sci 73: 789-797.

**Agradecimientos:** A los productores por brindar información y muestras de las explotaciones. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por financiar el proyecto 129449 CB-2009 y otorgar una beca de Investigación Posdoctoral a Fernando Prospero-Bernal.

#### ESTIMATION OF ENTERIC METHANE EMISSIONS IN SMALL-SCALE DAIRY SYSTEMS IN THE HIGHLANDS OF CENTRAL MÉXICO

**ABSTRACT:** The objective was to calculate the methane emission intensity due to enteric fermentation in four groups of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico with different feeding strategies, from equations of Tier 2 recommended by IPCC. Twenty-four farms were evaluated during one year by monthly analyses of diets. Farms that implemented grazing as source of quality feed reduce enteric methane by 10% compared to conventional and maize silage groups. This demonstrates that fresh high-quality herbage reduces methane emissions, in there are farms.

**Keywords:** Rural development, Feeding strategies, Quality forage, Small Scale Dairy Systems