

EMISIÓN DE METANO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE BOVINA EN EL VALLE DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

METHANE EMISSION FROM DAIRY CATTLE PRODUCTION SYSTEMS IN SAN LUIS POTOSI VALLEY, MEXICO

Miguel Á. Beltrán-Santoyo¹, Gregorio Álvarez-Fuentes^{1*}, Juan M. Pinos-Rodríguez², Carlos Contreras-Servín¹

¹Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, ²Centro Regional de Biociencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altaír No. 200, Colonia del Llano. 78377. San Luis Potosí. (mbeltransantoyo@outlook.com), (gregorio.alvarez@uaslp.mx).

RESUMEN

Los sistemas de producción de leche bovina originan impactos globales debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el CO₂, CH₄ y N₂O, provenientes de la respiración, fermentación entérica y manejo de las heces. El objetivo de este estudio fue caracterizar los sistemas de producción de leche bovina en el valle de San Luis Potosí, México, e identificar diferencias en la producción de leche entre ellos, eficiencia de conversión del alimento y las emisiones de metano. Quince de 35 unidades de producción de leche bovina, con hatos de 20 a 100 vacas Holstein en producción, fueron evaluadas. Las emisiones de CH₄ se determinaron con base en las directrices del panel intergubernamental de cambio climático (IPCC). El factor de emisión de CH₄ por fermentación entérica de vacas en producción fue 51.27 ± 11.71 kg año⁻¹ por vaca, mientras que por el manejo de heces fue 0.22 ± 0.05 kg año⁻¹ por vaca. Un análisis de correlación de Pearson de intensidad de metano y eficiencia alimenticia ($r = -0.92$) mostró que la eficiencia de conversión del alimento aumenta y la intensidad de emisión de metano disminuye.

Palabras clave: Emisión de metano, eficiencia alimenticia, producción de leche.

INTRODUCCIÓN

La población mundial es 7200 millones de personas y en el 2050 será 9100 millones de habitantes (UNFPA, 2013). México tiene 112 336 538 habitantes con una tasa de crecimiento de 1.8 % (INEGI, 2010). La producción de alimentos aumen-

ABSTRACT

Dairy cattle production systems cause global impacts because they emit greenhouse gases (GHG), such as CO₂, CH₄ and N₂O, from respiration, enteric fermentation and manure management. The objective of this study was to characterize dairy cattle production systems in the San Luis Potosí Valley, Mexico, and identify the differences among them in terms of milk production, feed conversion efficiency and methane emissions. Fifteen of the 35 dairy cattle production units, with herds of 20 to 100 producing Holstein cows, were evaluated. Emissions of CH₄ were determined on the basis of the guidelines published by the Intergovernmental Panel on Climate change (IPCC). The CH₄ emission factor due to enteric fermentation from cows in lactation was 51.27 ± 11.71 kg year⁻¹ per cow, whereas that from manure management was 0.22 ± 0.05 kg year⁻¹ per cow. A Pearson correlation analysis of methane intensity and feed conversion efficiency ($r = -0.92$) indicated that feed conversion efficiency increases methane and emission intensity decreases.

Key words: Methane emissions, feed efficiency, milk production.

INTRODUCTION

World population is now 7 billion 200 million; by 2050 it will be 9 billion 100 million (UNFPA, 2013). Mexico has 112 336 538 inhabitants and a growth rate of 1.8 % (INEGI, 2010). Food production increases due to continuous population growth. Moreover, the need for food from animals would duplicate to satisfy the demand of a larger population, urbanization, cultural changes and higher incomes

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2014. Aprobado: septiembre, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 297-305. 2016.

ta debido al incremento continuo poblacional. Además, las necesidades de alimentos de origen animal se duplicarían para satisfacer las demandas de una mayor población, la urbanización, los cambios culturales y el aumento de sus ingresos (Steinfeld *et al.*, 2009). Así, se han desarrollado sistemas intensivos de producción pecuaria que aportan 65 % de la producción lechera nacional, y el 35 % restante se produce en sistemas a pequeña escala con hatos de menos de 100 vacas (SIAP, 2011).

México ocupa el lugar 14 en la producción mundial de leche con 10 724.30 millones L, y con 2 382 440 de vacas especializadas en su producción, en una superficie agrícola de 1 031 660 km² (FAO, 2011). En San Luis Potosí hay 16 023 vacas que producen 128.77 millones L, por lo cual ocupa el lugar 17 de la producción lechera nacional. En el valle de San Luis Potosí se producen 17.79 millones L de leche con 2300 vacas (SIAP, 2011).

Los sistemas de producción bovina originan impactos globales debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO₂) en 9 %, por la respiración de los bovinos; el metano (CH₄) con un 37 % por la fermentación entérica y el manejo de las heces, con un poder de calentamiento atmosférico 25 veces superior al del CO₂; y 65 % de óxido nitroso (N₂O) por los procesos de nitrificación y desnitrificación de la descomposición aeróbica de las heces, con un potencial de calentamiento 298 veces mayor al CO₂ (IPCC, 2014; Steinfeld *et al.*, 2009).

La producción de CH₄ en los bovinos es una pérdida de 2 a 12 % de la energía del alimento (Johnson y Johnson, 1995) y está correlacionada con el consumo de materia seca, digestibilidad y motilidad de la dieta. El metano se genera por la fermentación ruminal del alimento y los excedentes de hidrógeno (H₂) producidos son usados por las bacterias metanogénicas para la reducción del CO₂ a CH₄, el cual es emitido mediante los eructos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar los sistemas de producción de vacas Holstein en el valle de San Luis Potosí, México, e identificar las diferencias entre ellos en producción de leche, eficiencia de conversión del alimento y emisiones de metano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se localiza al occidente de la Sierra Madre Oriental, entre 21° 57' y 22° 40' N, y 100° 44' y 101° 11' O,

(Steinfeld *et al.*, 2009). For this reason, intensive livestock production systems were developed and they contribute 65 % of the domestic dairy production; the remaining 35 % is produced in small-scale systems with herds of fewer than 100 cows (SIAP, 2011).

Mexico holds 14th place in world milk production with 10 724.30 million L and a population of 2 382 440 dairy cows on an area of 1 031 660 km² (FAO, 2011). San Luis Potosí has 16 023 cows that produce 128.77 million L and holds 17th place in national milk production. In the Valley of San Luis Potosí, 2300 cows produce 17.79 million L of milk (SIAP, 2011).

Livestock production systems produce global impact because they emit greenhouse gases (GHG). Of these gases, 9 % is carbon dioxide (CO₂) from cattle's respiration; 37 % is methane (CH₄), whose effect on global warming is 25 times greater than that of CO₂, from enteric fermentation and from handling manure; and 65 % is nitrous oxide (N₂O) resulting from the process of nitrification and denitrification during aerobic decomposition of manure. Nitrous oxide potentially contributes 298 times more to global warming than CO₂ (IPCC, 2014; Steinfeld *et al.*, 2009).

Cattle production of CH₄ is a loss of 2 to 12 % of the feed energy (Johnson and Johnson, 1995) and correlates with dry matter intake, digestibility and motility of the diet. Methane is generated mainly by ruminal fermentation of the feed and the hydrogen (H₂) surpluses are used by methanogenic bacteria to reduce CO₂ to CH₄, which is emitted when the ruminants belch. Therefore, the objective of this study was to characterize Holstein cows production systems of San Luis Potosí Valley, Mexico, and identify the differences among them in terms of milk production, feed conversion efficiency and methane emissions.

MATERIALS AND METHODS

The study area is located west of the Sierra Madre Oriental between 21° 57' and 22° 40' N, and 100° 44' and 101° 11' W, where it forms a shallow closed basin with an extension of 1980 km² (CNA, 2002). Mean annual temperature and precipitation are 16.9 °C and 416 mm, respectively (SMN, 2014).

Information was collected from 15 of 35 production units selected at random. Herds varied from 20 to 100 Holstein milking cows in confinement. The analyzed

formando una cuenca superficial cerrada, con una extensión de 1980 km² (CNA, 2002). La temperatura y precipitación media anual es 16.9 °C y 416.4 mm, respectivamente (SMN, 2014).

La información se obtuvo aleatoriamente en 15 de 35 unidades de producción con hatos de 20 a 100 vacas Holstein en ordeño y confinamiento. Las variables analizadas fueron: tamaño del hato, vacas en producción, producción promedio de leche, porcentaje de proteína y porcentaje de grasa en leche, peso vivo, ingesta de materia seca (MS), relación forraje:concentrado y manejo de heces. Para calcular el factor de emisión de CH₄ entérico y del manejo de las heces, la eficiencia de aprovechamiento del alimento fue definida como litros de leche producidos por kg de MS ingeridos por día. La intensidad de emisión de CH₄ se calculó como la cantidad emitida de CH₄ entérico y el CH₄ por el manejo de las heces por litro de leche producida (Leslie *et al.*, 2008), para lo cual la producción de leche por año se ajustó a 305 d de lactancia. Los sistemas de producción se clasificaron mediante estadística descriptiva y análisis clúster con las variables.

La ingesta de MS (kg d⁻¹ vaca⁻¹) y de energía total (Mcal d⁻¹ vaca⁻¹) se calculó con el software del NRC (2001).

La emisión de CH₄ se determinó con base en el Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, nivel 2 (Dong *et al.*, 2006): la ecuación (1) se usó para la emisión de CH₄ por fermentación entérica, la ecuación (2) para la emisión de CH₄ por el manejo de las heces, y la ecuación (3) para estimar la cantidad de sólidos volátiles excretados:

$$FE_e \text{ CH}_4 = EB * (Y_m / 100) * 365 / (55.65) \quad (1)$$

donde $FE_e \text{ CH}_4$ es el factor de emisión de CH₄ entérico kg vaca⁻¹ año⁻¹; EB es la ingesta de energía total, MJ d⁻¹ vaca⁻¹; Y_m es el factor de conversión en CH₄, porcentaje de la energía total del alimento convertida en CH₄ de 6.5 % ± 1 %; el factor 55.65 (MJ kg⁻¹ CH₄) es el contenido de energía del CH₄.

$$FE_h \text{ CH}_4 = (SV * 365) * \left[B_o * 0.67 \text{ kg m}^{-3} * \sum_{S,k} MCF_{S,k} / 100 * MS_{(S,k)} \right] \quad (2)$$

donde $FE_h \text{ CH}_4$ es el factor de emisión de CH₄ por manejo de heces kg vaca⁻¹ año⁻¹; SV los sólidos volátiles excretados por día; B_o es la capacidad máxima de producción de CH₄ de las heces, 0.188 m³ CH₄/SV; 0.67 es el factor de conversión de m³ de CH₄ a kg de CH₄; $MCF_{S,k}$ son factores de conversión de CH₄ para cada sistema de manejo de heces (S) por región climática (k), = 1.5 %; $MS_{(S,k)}$ es la fracción de las heces manejadas en el sistema (S) en la región climática (k), sin dimensión = 0.1.

$$SV = (EB * 0.5 + (0.04 * EB)) * (0.92 / 18.45) \quad (3)$$

variables were herd size, number of producing cows, average milk production, percentage of protein and fat in milk, live weight, dry matter (DM) intake, forage:concentrate ratio and manure management. To calculate the factor enteric methane CH₄ emission and manure management, feed use efficiency was defined as liters of milk produced per kg DM ingested per day. Methane emission intensity was calculated as the amount of enteric CH₄ emitted and methane emitted by manure management per liter of milk produced (Leslie *et al.*, 2008), for which milk production per year was adjusted to 305 d of lactation. The production systems were classified by descriptive statistics and cluster analysis with the variables.

Dry matter intake (kg d⁻¹ cow⁻¹) and total energy (Mcal d⁻¹ cow⁻¹) was calculated with NRC (2001) software.

Methane emission was determined based on Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, level 2 (Dong *et al.*, 2006). Equation (1) was used for CH₄ emission from enteric fermentation, equation (2) for CH₄ emission from manure management, and equation (3) to estimate the quantity of volatile solids excreted:

$$FE_e \text{ CH}_4 = EB * (Y_m / 100) * 365 / (55.65) \quad (1)$$

where $FE_e \text{ CH}_4$ is the enteric CH₄ emission factor kg cow⁻¹ year⁻¹; EB is total energy intake, MJ d⁻¹ cow⁻¹; Y_m is the factor of conversion into CH₄, percentage of total energy of feed converted to CH₄, 6.5 % ± 1 %; the factor 55.65 (MJ kg⁻¹ CH₄) is the energy content of CH₄.

$$FE_h \text{ CH}_4 = (SV * 365) * \left[B_o * 0.67 \text{ kg m}^{-3} * \sum_{S,k} MCF_{S,k} / 100 * MS_{(S,k)} \right] \quad (2)$$

where $FE_h \text{ CH}_4$ is the manure management CH₄ emission factor, kg cow⁻¹ year⁻¹; SV are volatile solids excreted per day; B_o is the maximum production of CH₄ from manure, 0.188 m³ CH₄/SV; 0.67 is the conversion factor of m³ CH₄ to kg CH₄; $MCF_{S,k}$ are factors of CH₄ conversion for each system of manure management (S) per climate region (k), = 1.5 %; $MS_{(S,k)}$ is the fraction of manure managed in the system (S) in climate region (k), dimensionless = 0.1.

$$SV = (EB * 0.5 + (0.04 * EB)) * (0.92 / 18.45) \quad (3)$$

where SV are volatile solids excreted per day; EB is total energy per day (MJ d⁻¹ cow⁻¹).

Live weight was calculated following the Quetelet methodology (Ávila and Gutiérrez, 2010) with body length and thoracic perimeter (equation 4):

donde SV son sólidos volátiles excretados por día; EB es la energía total por día ($\text{MJ d}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$).

El peso vivo se calculó de acuerdo con la metodología de Quetelet (Ávila y Gutiérrez, 2010), con la longitud del cuerpo y perímetro torácico (ecuación 4):

$$PV = (PT)^2 * L * C \quad (4)$$

donde PV es el peso vivo; PT es el perímetro torácico; L es el largo o longitud del cuerpo; C es la constante para hembras (87.5); constante para machos (99).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estructura de los 15 hatos de producción de leche bovina en el valle de San Luis Potosí, fue 49 % vacas en ordeño, 8 % vacas secas y 43 % vacas de reemplazo y otros (Cuadro 1).

Para vacas en producción, la EB del alimento consumida fue $17.25 \pm 3.94 \text{ Mcal d}^{-1}$ por vaca, la excreción de sólidos volátiles fue $3.24 \pm 0.74 \text{ kg d}^{-1}$ por vaca, la ingesta de MS fue $13.45 \pm 1.76 \text{ kg d}^{-1}$ por vaca y el factor de emisión de CH_4 por fermentación entérica fue $51.27 \pm 11.71 \text{ kg año}^{-1}$ por vaca, esta última fue menor (121 kg año^{-1} por vaca) a la indicada por el IPCC (2006) nivel 1 para América del Norte, donde la producción de leche (8400 kg año^{-1} por vaca) es superior a la producción en la zona de estudio ($3774.07 \pm 1392.46 \text{ kg año}^{-1}$ por vaca). Esto se debe a la digestibilidad y relación de

$$PV = (PT)^2 * L * C \quad (4)$$

where PV is the animal live weight; PT is thoracic perimeter; L is body length; C is the constant for females (87.5); constant for males (99).

RESULTS AND DISCUSSION

The structure of the 15 dairy cattle herds in San Luis Potosí Valley was 49 % milking cows, 8 % dry cows and 43 % replacement cows and others (Table 1).

For milking cows, EB of the ingested feed was $17.25 \pm 3.94 \text{ Mcal d}^{-1}$ per cow, excreted volatile solids was $3.24 \pm 0.74 \text{ kg d}^{-1}$ per cow, DM intake was $13.45 \pm 1.76 \text{ kg d}^{-1}$ per cow, and the enteric fermentation CH_4 emission factor was $51.27 \pm 11.71 \text{ kg year}^{-1}$ per cow. The last factor was lower (121 kg year^{-1} per cow) than that indicated by the IPCC (2006) level 1 for North America, where milk production ($8400 \text{ kg year}^{-1}$ per cow) is higher than production in the study area ($3774.07 \pm 1392.46 \text{ kg year}^{-1}$ per cow). This is due to feed digestibility and the forage:concentrate ratio, which is higher for the diet in North America. Moreover, DM intake and feed conversion efficiency is higher and genetic quality of the cows is better.

In the enteric methane emission factors, there were differences ($p \leq 0.05$) in function of the physiological state of the cows. This was attributed to the higher energy requirements of these cows leading to an increase in DM intake and excretion

Cuadro 1. Estructura y emisión de metano de los sistemas de producción de leche bovina en el valle de San Luis Potosí, México. (n=15).

Table 1. Herd structure and methane emission in dairy milk production systems in San Luis Potosí Valley, México. (n=15).

Categoría	n	%	PV (kg)	Emisión de CH_4 (kg) de origen	
				Entérico ($\text{kg} \times 10^3$)	Manejo de heces (kg)
Vacas en producción	463	49	486.8 ± 50.8	23.7 ± 5.4	101.8 ± 23.1
Vacas secas	79	8	458.2 ± 51.9	2.4 ± 0.1	10.2 ± 0.7
Vaquillas al parto	130	14	346.1 ± 60.0	4.2 ± 0.6	18.2 ± 2.6
Becerras destetadas al primer servicio	122	13	234.6 ± 32.4	2.8 ± 0.3	12.2 ± 1.2
Becerras 0 a 6 meses	118	13	105.4 ± 22.7	0.9 ± 0.0	4.7 ± 0.0
Becerras, novillos, sementales	24	3	515.9 ± 100.5	0.8 ± 0.1	3.8 ± 0.5
Total	936	100		35.1 ± 6.7	151.1 ± 28.2

PV: Peso vivo, se obtuvo con la ecuación $PV = (PT)^2 * L * C$ (Ávila y Gutiérrez, 2010) ♦ PV: Live weight, obtained with the equation $PV = (PT)^2 * L * C$ (Ávila and Gutiérrez, 2010).

forraje:concentrado, la cual es mayor para la dieta en América del Norte, y también la ingesta de *MS* y la eficiencia de conversión del alimento es mayor, y la calidad genética de las vacas es mejor.

En los factores de emisión de CH_4 entérico hubo diferencias ($p \leq 0.05$) de acuerdo con el estado fisiológico de las vacas. Esto se atribuyó a que los requerimientos mayores de energía para estas vacas, lo cual aumenta la ingesta de *MS* y la excreción de sólidos volátiles (Cuadro 2). Lo anterior muestra que los inventarios actuales de CH_4 están sobreestimados porque hay un único factor de emisión de CH_4 entérico (72 kg año^{-1} por vaca) para la todas las vacas sin considerar su etapa fisiológica.

El factor de emisión de CH_4 (Cuadro 2) para el manejo de las heces fue $0.22 \pm 0.05 \text{ kg año}^{-1}$ por vaca, y fue menor al que marca el IPCC nivel 1, para América del Norte (71 kg año^{-1} por vaca) y América Latina (1 kg año^{-1} por vaca). Este $FE_h \text{ CH}_4$ coincide con el hallado (0.21 kg año^{-1} por vaca) en México por González y Ruiz (2007).

Los inventarios actuales de CH_4 de la FAO consideran un factor de emisión de CH_4 entérico de 72 kg año^{-1} por vaca, del que resulta una emisión de $67\,392 \text{ kg}$ para las 936 vacas de los 15 hatos

of volatile solids (Table 2). This shows that current inventories of CH_4 are overestimated since they use a single enteric CH_4 emission factor (72 kg year^{-1} per cow) for all cows without taking into account their physiological stage.

The CH_4 emission factor (Table 2) for manure management was $0.22 \pm 0.05 \text{ kg year}^{-1}$ per cow, which was lower than that established by IPCC, level 1, for North America (71 kg year^{-1} per cow) and Latin America (1 kg year^{-1} per cow). The $FE_h \text{ CH}_4$ found coincides with findings of González and Ruiz (2007) in Mexico ($0.21 \text{ kg year}^{-1}$ per cow).

Current FAO CH_4 inventories consider an enteric CH_4 emission factor of 72 kg year^{-1} per cow, which results in an emission of $67\,392 \text{ kg}$ for the 936 cows of the 15 production herds of the study area, and comparing that amount with the $35\,090.42 \pm 6668.27 \text{ kg}$ obtained in our study, there is an overestimation of 60 to 240 %. According to the CH_4 factor for management of the 936 kg , compared with $151.09 \pm 28.24 \text{ kg}$, it is five to seven times higher than that obtained in our study (Table 1).

The cluster analysis defined three groups (Table 3). Among these groups, there were no significant differences in herd size, milking cows, live

Cuadro 2. Factores de emisión de metano entérico y de manejo de heces en los sistemas de producción de leche bovina del valle de San Luis Potosí, México. (n=15).

Table 2. Factors of enteric methane emission and manure management in dairy milk production systems in San Luis Potosí Valley, México. (n=15).

	<i>IMS</i> $\text{kg vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$	<i>EB</i> $\text{Mcal vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$	$FE_e \text{ CH}_4$ $\text{kg año}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$	<i>SV</i> $\text{kg vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$	$FE_h \text{ CH}_4$ $\text{kg año}^{-1} \text{ vaca}^{-1}$
Vacas en producción	13.4 ± 1.8	17.2 ± 3.9	51.3 ± 11.7	3.2 ± 0.7	0.2 ± 0.0
Vacas secas	9.0 ± 1.0	10.3 ± 0.7	30.7 ± 2.0	1.9 ± 0.1	0.1 ± 0.0
Vaquillas al parto	9.2 ± 1.2	10.9 ± 1.7	32.5 ± 5.0	2.0 ± 0.3	0.1 ± 0.0
Becerras destetadas a primer servicio	5.8 ± 0.6	7.9 ± 0.9	23.6 ± 2.7	1.5 ± 0.2	0.1 ± 0.0
Becerras 0 a 6 meses	1.9 ± 0.0	2.7 ± 0.0	8.0 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Becerras, novillos, sementales	11.8 ± 1.0	12.2 ± 1.4	36.2 ± 4.2	2.3 ± 0.3	0.2 ± 0.0

IMS: Ingesta de *MS*; *EB*: Energía total; FE_e : Factor de emisión de CH_4 entérico, se calculó con la ecuación $FE_e \text{ CH}_4 = EB * (Y_m / 100) * 365 / (55.65)$; FE_h : Factor de emisión de CH_4 heces, se calculó con la ecuación $FE_h \text{ CH}_4 = (SV * 365) * [B_o * 0.67 \text{ kg m}^{-3} * \sum_{S,k} MCF_{S,k} / 100 * MS_{(S,k)}]$; *SV*: Sólidos volátiles se calculó con la ecuación $SV = (EB * 0.5 + (0.04 * EB)) * (0.92 / 18.45)$ (Dong *et al.*, 2006) ♦ *IMS*: *DM* intake; *EB*: total energy; FE_e : Factor of enteric CH_4 emission, calculated with the equation $FE_e \text{ CH}_4 = EB * (Y_m / 100) * 365 / (55.65)$; FE_h : Factor of CH_4 emission from manure, calculated with the equation $FE_h \text{ CH}_4 = (SV * 365) * [B_o * 0.67 \text{ kg m}^{-3} * \sum_{S,k} MCF_{S,k} / 100 * MS_{(S,k)}]$; *SV*: Volatile solids, calculated with the equation $SV = (EB * 0.5 + (0.04 * EB)) * (0.92 / 18.45)$ (Dong *et al.*, 2006).

de producción de la zona de estudio y comparados con los 35 090.42±6668.27 kg obtenidos en nuestro estudio, hay una sobreestimación de 60 a 240 %. De acuerdo con el factor de CH₄ por manejo de las heces (1 kg año⁻¹ por vaca) hay una emisión de 936 kg comparado con 151.09±28.24 kg, por lo cual es cinco a siete veces superior al obtenido en nuestro estudio (Cuadro 1).

El análisis clúster definió tres grupos (Cuadro 3), sin diferencias significativas en tamaño del hato, vacas en producción, peso vivo y contenido de proteína y grasa en leche. Para vacas con eficiencia alimenticia baja (Cuadro 3) la producción de leche fue menor (6.25±2.19 L) y la intensidad de emisión de CH₄ fue mayor (19.59±4.10 g L⁻¹). En estos sistemas se ordeña con equipo portátil y mano de obra familiar, la superficie para la producción de alimento es pequeña (1.5±2.12 ha), la dieta es una relación 95:5 de forraje:concentrado; alfalfa fresca (*Medicago sativa*), maguey (*Agave salmiana*) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.), el concentrado es una mezcla de 40 % pollinaza, 20 % maíz en grano, 20 % salvado y 20 % concentrado comercial.

La eficiencia alimenticia media (Cuadro 3) se define por la producción de leche de 11.58±2.69 L e

weight or protein and fat content in milk. For the low feed efficiency cows (Table 3), milk production was lower (6.25±2.19 L) and CH₄ emission intensity was higher (19.59±4.10 g L⁻¹). In these systems, milking is done with portable equipment and family labor. Feed production area is small (1.5±2.12 ha), diet is a 95:5 forage:concentrate ratio. Forage consists of fresh alfalfa (*Medicago sativa*), maguey (*Agave salmiana*) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.), and the concentrate is a mixture of 40 % poultry manure, 20 % maize grain, 20 % bran and 20 % commercial concentrate.

Mean feed efficiency (Table 3) is defined by a milk production of 11.58±2.69 L and a CH₄ emission intensity of 14.44±2.3 g L⁻¹. There were no differences (p>0.05) between the low feed efficiency group and the intermediate feed efficiency in DM intake, forage:concentrate ratio, EB consumed by producing cows or the enteric emission factor. Likewise, the intermediate feed efficiency group was not different (p>0.05) from high feed efficiency group in terms of the forage:concentrate ratio, but it had a lower (p≤0.05) milk production and CH₄ emission intensity than the high feed efficiency group. The

Cuadro 3. Variables para análisis clúster de los sistemas de producción de leche bovina del valle de San Luis Potosí, México. (n=15).

Table 3. Variables for the cluster analysis of dairy milk production systems in San Luis Potosí Valley, México. (n=15).

Variables	Eficiencia alimenticia*		
	Baja	Media	Alta
Tamaño de hato, vacas	24.5±0.7 a	67.9±31.8 a	69.7±19.5 a
Vacas en producción, vacas	16.5±2.1 a	32.1±12.4 a	36.0±7.8 a
Producción promedio, L d ⁻¹	6.2±2.2 c	11.6±2.7 b	19.2±0.9 a
Proteína en leche, %	3.0±0.2 a	3.1±0.1 a	3.0±0.2 a
Grasa en leche, %	3.2±0.5 a	3.1±0.5 a	3.2±0.3 a
Peso vivo promedio de las vacas en producción, kg	460.5±46.0 a	489.6±50.0 a	495.0±70.0 a
IMS vacas en producción, kg vaca ⁻¹ d ⁻¹	11.1±1.4 b	13.2±0.8 b	15.9±1.7 a
Relación forraje:concentrado	95:5±7.0 a	66:34±16.7 ab	55:45±9.3 b
EB consumida vacas en producción, Mcal d ⁻¹	12.0±1.8 b	16.6±2.0 b	23.0±3.2 a
Factor de emisión entérico, kg año ⁻¹ vaca ⁻¹	35.8±5.3 b	49.3±6.0 b	68.3±9.5 a
Sólidos volátiles, kg vaca ⁻¹ d ⁻¹	2.3±0.4 b	3.1±0.4 b	4.3±0.6 a
Factor de emisión heces, kg año ⁻¹ vaca ⁻¹	0.2±0.0 c	0.2±0.0 b	0.3±0.0 a
Intensidad de emisión de CH ₄ entérico y heces de vacas en producción, g L ⁻¹	19.6±4.1 a	14.4±2.3 b	11.7±1.5 b

*Baja (0.55±0.13). Media (0.87±0.18). Alta (1.21±0.12). IMS: Ingesta de MS. Medias con distinta letra en un renglón son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05) ❖ *Low (0.55±0.13). Intermediate (0.87±0.18). High (1.21±0.12). IMS: DM intake. Means with different letters in a row are statistically different (Tukey, p≤0.05).

intensidad de emisión de CH_4 de $14.44 \pm 2.3 \text{ g L}^{-1}$. No hubo diferencias ($p > 0.05$) entre el grupo de baja y media eficiencia alimenticia en la ingesta de *MS*, la relación de forraje:concentrado, *EB* consumida por las vacas en producción, y factor de emisión entérico. Similarmente, el grupo de eficiencia alimenticia media no fue diferente ($p > 0.05$) con el de eficiencia alimenticia alta en la relación de forraje:concentrado, pero si tuvo una menor ($p \leq 0.05$) producción de leche e intensidad de emisión de CH_4 en comparación al grupo de eficiencia alimenticia alta. El grupo con eficiencia media se caracteriza por el uso de una dieta con alfalfa fresca y concentrado comercial, con una relación forraje:concentrado de 66:34 y una mayor ($p \leq 0.05$) ingesta de *MS* $13.20 \pm 0.83 \text{ kg d}^{-1}$ por vaca⁻¹, respecto al grupo de eficiencia alimenticia baja. El grupo de mayor eficiencia alimenticia tuvo la menor ($p \leq 0.05$) intensidad de emisión de CH_4 ($11.74 \pm 1.51 \text{ g L}^{-1}$), la dieta es de mayor digestibilidad ($p \leq 0.05$) y es 55:45 forraje:concentrado; el forraje es ensilado de maíz, ensilado de sorgo, alfalfa fresca y alfalfa henificada, y el concentrado es una mezcla de 75 % concentrado comercial y 25 % grano de maíz. La ingesta de *MS* fue $15.87 \pm 1.72 \text{ kg d}^{-1}$ por vaca, la producción de leche aumentó y la emisión de CH_4 por litro de leche producido disminuyó.

El análisis de correlación de Pearson mostró que intensidad de emisión de CH_4 se correlaciona negativamente ($r = -0.92$) con la eficiencia alimenticia; esto es, la intensidad de emisión de CH_4 aumenta y la eficiencia alimenticia disminuye.

El análisis de regresión lineal simple (ecuación 5) muestra:

$$IE_{\text{CH}_4} = -11.98 \text{ g l}^{-1} * EA + 25.35 \quad r^2 = 0.863 \quad (5)$$

donde IE_{CH_4} es la intensidad de emisión de metano; *EA* es la eficiencia del alimento.

El aumento de la productividad en vacas lecheras puede ser la estrategia más exitosa para reducir la intensidad de emisión de CH_4 . Para ello se deben tomar en cuenta los factores de alimentación que afectan el consumo de *MS* y producción de leche. Así, la composición de la dieta, forma física, humedad, relación forraje:concentrado y la calidad genética de las vacas aumentan o disminuyen la

intermediate efficiency group was characterized by a diet based on fresh alfalfa and commercial concentrate, with a forage:concentrate ratio of 66:34 and a higher ($p \leq 0.05$) *DM* intake, $13.20 \pm 0.83 \text{ kg d}^{-1}$ per cow⁻¹, as compared to the low feed efficiency group. The group with the highest feed efficiency had the lowest ($p \leq 0.05$) CH_4 emission intensity ($11.74 \pm 1.51 \text{ g L}^{-1}$), the diet with the highest digestibility ($p \leq 0.05$) and a forage:concentrate ratio of 55:45; the forage consisting of maize silage, sorghum silage, fresh alfalfa and alfalfa hay, and the concentrate is a mixture of 75 % commercial concentrate and 25 % maize grain. Dry matter intake was $15.87 \pm 1.72 \text{ kg d}^{-1}$ per cow; milk production increased, and CH_4 per liter of milk produced decreased.

The Pearson correlation analysis showed that CH_4 emission intensity correlates negatively ($r = -0.92$) with feed efficiency; that is, CH_4 emission intensity increases and feed efficiency decreases.

The simple linear regression analysis (equation 5) shows:

$$IE_{\text{CH}_4} = -11.98 \text{ g l}^{-1} * EA + 25.35 \quad r^2 = 0.863 \quad (5)$$

where IE_{CH_4} is the methane emission intensity; *EA* is feed efficiency.

The increment of dairy cow productivity may be the most successful strategy for reducing CH_4 emission intensity. To this end, feeding factors that affect *DM* intake and milk production should be taken into account. Thus, diet composition, physical form, moisture, forage:concentrate ratio and genetic quality of the cows can increase or decrease milk production. Hristov (2013) stated that diets with more than 40 % concentrate decrease enteric CH_4 emissions; this was observed in our study: the high efficiency cows had a 65 % lower CH_4 emission intensity than the low efficiency cows.

The increase in forage digestibility and intake of digestible forage reduce CH_4 emissions from enteric fermentation and manure management (Afshar and Naser, 2011). Moreover, according to Hassanat *et al.* (2012) and Lettat *et al.* (2013), substitution of grass or alfalfa silage for maize silage reduces methane production; when the concentration of propionate

producción de leche. Hristov (2013) manifiesta que dietas con más de 40 % de concentrado disminuyen la emisión de CH_4 entérico, lo cual se observa en el presente estudio ya que vacas con eficiencia alta presentan una intensidad de emisión de CH_4 65 % menor respecto a las vacas con eficiencia baja.

El aumento de la digestibilidad del forraje e ingesta de forraje digestible reduce las emisiones de CH_4 por fermentación entérica y manejo de las heces (Afshar y Naser, 2011). Además, según Hassanat *et al.* (2012) y Lettat *et al.* (2013), el remplazo del ensilado de pastos o alfalfa por ensilado de maíz reduce la producción de metano, al aumentar la concentración de propionato, disminuye el pH y las concentraciones de acetato y butirato, y decrece la población de protozoarios que mantienen una relación de simbiosis con las bacterias metanogénicas al producir hidrógeno.

CONCLUSIONES

Los factores de emisión de metano entérico y el manejo de las heces difieren por estado fisiológico de las vacas. La emisión de metano se correlaciona negativamente con la eficiencia del alimento, por lo cual los inventarios de metano actuales no reflejan el impacto ambiental real. Los inventarios de emisión de metano deben realizarse de acuerdo con la estructura de los hatos y el estado fisiológico de las vacas.

La duplicación de la ingesta de energía total, el aumento del consumo de materia seca en relación al peso vivo y el incremento del concentrado en dietas para vacas con baja eficiencia alimenticia, podría mejorar la producción de leche y disminuir el impacto negativo por la emisión de metano por litro de leche producida.

LITERATURA CITADA

- Afshar M., and M. Naser. 2011. Factors affecting mitigation of methane emission from ruminants I: feeding strategies. *J. Asian J. Anim Vet. Adv.* 9: 888-908.
- Ávila S., y A. Gutiérrez. 2010. Producción de Leche con Ganado Bovino. Manual moderno. México. 424 p.
- CNA (2002). Comisión Nacional del Agua. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero San Luis Potosí, estado de San Luis Potosí. 20 p.
- Dong H., J. Mangino, T. McAllister, J. Hatfield, D. Johnson, K. Lassey, M. Aparecida, A. Romanovskaya, D. Bartram, D. Gibb, J. Martin. 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change). IGES. (Institute for Global Environmental Strategies). Japon. 91 p.
- González, E., y L. Ruiz. 2007. Methane conversion factors from cattle manure in México. *R. Atmosfera* 1: 183-192.
- Hassanat, F., R. Gervais, C. Julien, D. I. Massé, A. Lettat, P. Y. Chouinard, H. V. Petit, and C. Benchaar. 2012. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, n balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96: 4553-4567.
- Hristov, A., J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F. Montes, T. Ott, J. Firkins, A. Rotz, C. Dell, A. Adesogan, W. Yang, J. Tricarico, E. Kebreab, G. Waghorn, J. Dijkstra, S. Oosting. 2013. Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in Livestock Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 206 p.
- Instituto Nacional de estadística, geografía e informática (INEGI). <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484> (Consulta: marzo 2014).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html (Consulta: diciembre 2014).

CONCLUSIONS

The factors enteric methane emission and manure management differ in function of the physiological state of the cows. Methane emission intensity correlates negatively with feed efficiency, and therefore, the current methane inventories do not reflect its real environmental impact. The methane emission inventories should thus be carried out in accord with the structure of the herds and the physiological state of the cows.

Duplication of total energy intake, increasing dry matter intake relative to live weight, as well as the concentrate in diets for low feed efficiency cows, could improve milk production and decrease negative impacts of methane emission per liter of milk produced.

—End of the English version—



- Johnson, K., and D. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim Sci.* 73: 2483-2492.
- Leslie, M., M. Aspin, and H. Clark. 2008. Greenhouse gas emissions from New Zealand agriculture: issues, perspectives and industry response. *Austr. J. Exp. Agric.* 48: 1-5.
- Lettat, A., F. Hassanat, and C. Benchaar. 2013. Corn silage in dairy cow diets to reduce ruminal methanogenesis: Effects on the rumen metabolically active microbial communities. *J. Dairy Sci.* 96: 5237-5248.
- NRC (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C. USA. 381 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor>. (Consulta: julio de 2011).
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75. (Consulta: enero 2014).
- Sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=373 (Consulta: junio 2013).
- Shinkai, T., O. Enishi, M. Mitsumori, K. Higuchi, Y. Kobayashi, A. Takenaka, K. Nagashima, M. Mochizuki, and Y. Kobayashi. 2012. Mitigation of methane production from cattle by feeding cashew nut shell liquid. *J. Dairy Sci.* 95: 5308-5316.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, y Cees de Haan. 2009. *La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 431 p. United Nations Population Fund (UNFPA). www.unfpa.org (Consulta: junio 2013).