

# EMPIRICAL LINEAR REGRESSION MODEL USED TO ESTIMATE METHANE EMISSION IN DAIRY CATTLE

## MODELO DE REGRESION LINEAL EMPIRICO PARA ESTIMAR LA EMISION DE METANO EN BOVINOS LECHEROS

Rayas-Amor, A.A.<sup>1\*</sup>; Martínez-García, C.G.<sup>2</sup>; García-Martínez, A.<sup>3</sup>; Herrera-Hernández, E.C.<sup>4</sup>; Núñez-López, M.<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón Lerma de Villada, Estado de México, C.P. 52005.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de México Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, El Cerrillo Campus Toluca, Estado de México, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Temascaltepec., Temascaltepec, Estado de México, México. <sup>4</sup>CONACYT-Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Av. Playa pie de la cuesta 702, Desarrollo Sn. Pablo, 76125, Querétaro, Querétaro, México. <sup>5</sup>ITAM, Departamento de Matemáticas, Río Hondo 1, Ciudad de México 01080, México.

\*Autor de correspondencia. a.rayas@correo.ler.uam.mx

### ABSTRACT

**Objective:** To develop an empirical linear regression model from published data to estimate the CH<sub>4</sub> production in ruminants based on dry matter intake.

**Design/methodology/approach:** The present work consisted in conducting a search of scientific articles in SCOPUS and ScienceDirect using the keywords: model, intake, dry matter, methane, estimation.

**Results:** Two linear regression models are shown, the first with  $R^2=0.073$  that explained 73% of the variability of data and a second with a  $R^2=0.95$  that explained 95% of the variability to estimate the CH<sub>4</sub> enteric emissions from dry matter intake.

**Study limitations/implications:** Because the models generated in this study were obtained from data published in the scientific literature, future research is required to validate the estimates *in vivo* of the proposed empirical linear regression models.

**Findings/conclusions:** The models presented could be applied to estimate the emissions of CH<sub>4</sub> per animal per day in dairy and beef cattle, although it is possible to estimate the emission of CH<sub>4</sub> in sheep and goats as well, especially the model with a coefficient of determination that explained 73 percent of the variability of the data.

**Keywords:** model, intake, dry matter, methane, estimation.

### RESUMEN

**Objetivo:** desarrollar un modelo empírico de regresión lineal a partir de datos publicados para estimar la producción de CH<sub>4</sub> en rumiantes empleando el consumo de materia seca.

**Diseño/metodología/aproximación:** el presente trabajo consistió en realizar una búsqueda de artículos científicos en SCOPUS y ScienceDirect con las palabras clave modelo, consumo, materia seca, metano, estimación.

**Agroproductividad:** Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 71-76.

**Recibido:** agosto, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.



**Resultados:** se muestran dos modelos de regresión lineal, el primero con un coeficiente de determinación que explicó el 73% de la variabilidad de los datos y un segundo con un coeficiente de determinación que explicó el 95% de la variabilidad para estimar el CH<sub>4</sub> a partir del consumo de materia seca.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** ya que los modelos generados en este estudio fueron obtenidos a partir de datos publicados en la literatura científica, se requieren futuras investigaciones para validar *in vivo* las estimaciones de los modelos de regresión lineal empíricos propuestos.

**Hallazgos/conclusiones:** los modelos presentados podrían ser aplicados para estimar la emisión de CH<sub>4</sub> por animal por día en ganado bovino de leche y carne, aunque también pueden estimar la emisión de CH<sub>4</sub> en ovinos y caprinos, especialmente el modelo con coeficiente de determinación que explicó el 73 por ciento de la variabilidad de los datos.

**Palabras clave:** modelo, consumo, materia seca, metano, estimación

importante en los modelos de predicción de CH<sub>4</sub> entérico. Los modelos que predicen el consumo de materia seca (CMS) total pueden ser utilizados junto con factores de emisión para estimar las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub>, o como menciona Appuhamy *et al.* (2016), los modelos que utilizan estimados del CMS predicen las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico con tanta precisión como los modelos que utilizan datos obtenidos directamente de la medición del CMS; por lo tanto, los modelos menos complejos que requieren solo el CMS presentan capacidad comparable a los modelos más complejos. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo empírico de regresión lineal para estimar la producción de CH<sub>4</sub> en rumiantes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de literatura de artículos científicos publicados en revistas indexadas en el Journal Citation Reports de cinco años (2013 al 2017). Las palabras clave de búsqueda fueron; *methane, ruminant, prediction, cattle, beef, dairy, sheep, modeling*. La máquina de búsqueda empleada para identificar publicaciones, tales como artículos, capítulos de libros y contenido de acceso abierto revisadas por pares académicos fue SCIENTIFIC DIRECT ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)). Al colocar la palabra clave *methane* en la máquina de búsqueda se obtuvo un listado de 271181 artículos que posteriormente se depuró mediante la inclusión de las otras palabras clave hasta obtener 205 artículos aproximadamente y de estos se seleccionaron los artículos de; Ramin y Huhtanen (2013), Castelán-Ortega *et al.* (2014), Huhtanen *et al.* (2015), Charmley *et al.* (2016) y Stergiadis *et al.* (2016) debido a que sus palabras

## INTRODUCCIÓN

Los modelos de predicción se han utilizado ampliamente para estimar variación en las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) para gran variedad de propósitos (Kebreab *et al.*, 2006). Muchos países y regiones del mundo han establecido objetivos para la reducción de gases de efecto invernadero incluyendo el CH<sub>4</sub>. Por ejemplo, California recientemente aprobó una legislación que ordena una reducción para el año 2030 en la emisión de CH<sub>4</sub> a nivel estatal en 40% inferior respecto a los niveles de 2013 (Hristov CH<sub>4</sub>, 2018). La evaluación de la emisión de referencia en 2013 se determinó utilizando modelos matemáticos, en particular los recomendados por el IPCC (2006), y se utilizan en casi todos los inventarios nacionales. Por lo tanto, la precisión del modelo utilizado es importante para establecer y evaluar objetivos alcanzables. Como los modelos existentes se basan en bases de datos limitadas, se requieren modelos precisos para establecer la línea de base para evaluar cualquier reducción en las emisiones o estimar las emisiones globales de CH<sub>4</sub> atribuibles a la fermentación entérica, donde los conjuntos de datos utilizados para el desarrollo del modelo de predicción de emisiones de CH<sub>4</sub> este compuesto de datos de múltiples fuentes.

Las predicciones de emisiones de CH<sub>4</sub> entérico se han obtenido usando diferentes tipos de modelos, los cuales estiman las emisiones de CH<sub>4</sub> se pueden caracterizar ampliamente como empíricos por ejemplo los de Ramin y Huhtanen (2013), o bien, mecánicos, por ejemplo, Baldwin (1995) y Mills *et al.* (2001). De acuerdo con Hristov *et al.* (2018) los modelos empíricos se basan en asociaciones matemáticas o estadísticas de la ingesta de dieta, su composición y otros factores animales con las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub>, mientras que los modelos mecánicos se basan en principios bioquímicos, metabólicos y fisiológicos, e intentan simular las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> basándose en una descripción matemática de la fermentación bioquímica como la ingesta de materia seca (MS) que es un factor

clave estuvieron estrechamente relacionadas con las palabras clave de la búsqueda.

### Antecedentes de la base de datos

En Ramin y Huhtanen (2013) se analizó un conjunto de datos que incluyó un total de 298 tratamientos de 52 publicaciones con 207 dietas de ganado bovino y 91 de ovinos, se incluyeron dietas hasta con el 75% de concentrado. En el estudio de Castelán-Ortega et al. (2014) se realizó una estimación del inventario nacional de CH<sub>4</sub> producido por la fermentación entérica del ganado bovino en México, realizado a partir de tres modelos matemáticos; no obstante, para nuestro estudio se utilizó el modelo de Kurihara et al. (1999) aplicado en Castelán-Ortega et al. (2014), debido a que fue desarrollado para estimar la emisión de CH<sub>4</sub> de ganado alimentado con dietas tropicales. En el estudio de Huhtanen et al. (2015) se revisaron los módulos de digestión y emisiones de CH<sub>4</sub> del modelo mecanístico y dinámico (modelo Nórdico de bovino lechero-Karoline) en el cual se empleó un modelo cuadrático para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub>. En Charmley et al. (2016), se obtuvieron datos de estudios realizados en los últimos 10 años utilizando cámaras de respiración de circuito abierto, en donde el ganado había sido alimentado con dietas basadas en forraje mayor a 70%. Las dietas consideradas para inhibir la metanogénesis se omitieron del conjunto de datos para obtener su

modelo predictivo. Los datos se obtuvieron de ganado lechero alimentado con forrajes de clima templado (220 registros), ganado de carne alimentado con forrajes de clima templado (680 registros) y ganado de carne alimentado con forrajes tropicales (133 registros). En el estudio de Stergiadis et al. (2016) se obtuvieron ecuaciones de predicción derivadas de un estudio con 25 bovinos no lactantes, no preñadas y alimentadas con pasto fresco para simular las condiciones de alimentación de sistemas basados en pastoreo y con bajos niveles de alimentación.

### Modelo de regresión lineal empírico

En el presente estudio se definió que el modelo empírico para estimar la producción de CH<sub>4</sub> para ganado lechero, de carne y ovinos tendría las unidades en (L/d) y que sería calculado a partir del consumo de materia seca total (CMS) ya que de acuerdo con Ramin y Huhtanen (2013), Huhtanen et al. (2015) y Charmley et al. (2016) el consumo de materia seca es el principal determinante de la producción total de CH<sub>4</sub> por animal por día y que la composición de los carbohidratos en la dieta tiene un efecto menor, adicionalmente es un dato que puede estimarse con relativa facilidad cuando el ganado está en condiciones de estabulación o pastoreo. Los CMS en ganado bovino que se emplearon en este estudio para estimar la producción total de CH<sub>4</sub> por día se muestran en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Consumo de materia seca total (kg vaca<sup>-1</sup>) en ganado bovino lechero e ingredientes comúnmente empleados en la alimentación.

Referencia	CMS	Ingredientes	
Martínez-García et al. (2015)	12, 14, 15, 20	Praderas	Ryegrass anual, festuca, orchard, trébol blanco, pradera nativa dominada por pasto kikuyo
		Forrajes	Avena fresca, henilaje de alfalfa, heno de avena, ensilado de maíz
		Pajas y rastrojos	Avena, cebada, trigo, maíz, sorgo
		Concentrado	Comercial-18% PC, maíz molido, maíz roado, salvado
Alfonso-Ávila et al. (2012)	12, 13,14	Praderas	Ryegrass anual, festuca, orchard, trébol blanco
		Forrajes	Avena fresca, henilaje de alfalfa, heno de avena, ensilado de maíz
		Pajas y rastrojos	Avena, cebada, trigo, maíz, sorgo
		Concentrado	Comercial-18% PC, maíz molido, maíz roado, salvado
Hernández-Ortega et al. (2011)	14,15	Praderas	Mezcla de ryegrass perenne y trébol blanco
		Forrajes	Ensilado de ryegrass anual mezclado con veza de invierno
		Pajas y rastrojos	No ofrecidos
		Concentrado	Comercial-18% PC
Anaya-Ortega et al. (2009)	13, 14,15	Praderas	Mezcla de ryegrass perenne y trébol blanco Mezcla de ryegrass anual y trébol blanco
		Forrajes	Ensilado de ryegrass anual mezclado con veza de invierno
		Concentrado	Comercial-18% PC

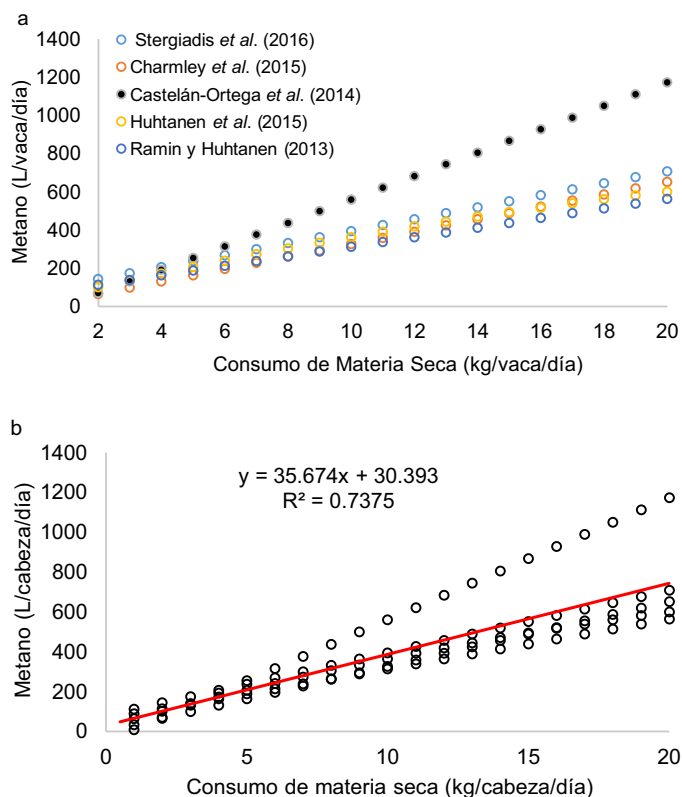
En los modelos propuestos por Ramin y Huhtanen (2013) y Huhtanen *et al.* (2015) la predicción total de CH<sub>4</sub> por animal está dada en litros por día (L d<sup>-1</sup>) mientras que en los modelos propuestos por Kurihara *et al.* (1999) empleado en Castelán-Ortega *et al.* (2014), Charmley *et al.* (2016) y Stergiadis *et al.* (2016) se da en gramos por día (g d<sup>-1</sup>); por lo tanto, para estos modelos predictivos los resultados se convirtieron a L d<sup>-1</sup> mediante la ecuación de los gases [Presión (atm) \* Volumen (L)=n (número de moles) \* R (constante universal de los gases) \* Temperatura (°K)]. El desarrollo de los modelos predictivos y cálculos se realizaron en Microsoft Excel<sup>®</sup> 2010.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1a se muestran las estimaciones de la producción de metano en rumiantes (bovino lechero, bovino de carne y ovinos), empleando los modelos predictivos publicados por los autores antes mencionados, observándose una sobreestimación en el modelo de Kurihara *et al.* (1999) aplicado en Castelán-Ortega *et al.* (2014) con respecto a los otros cuatro modelos. La Figura 1b muestra el modelo de regresión empírico propuesto para estimar la producción metano en bovino lechero. Se observa que el modelo explica 73.7% de la variabilidad del conjunto de estimaciones de metano en un rango de CMS de 1 a 20 kg.

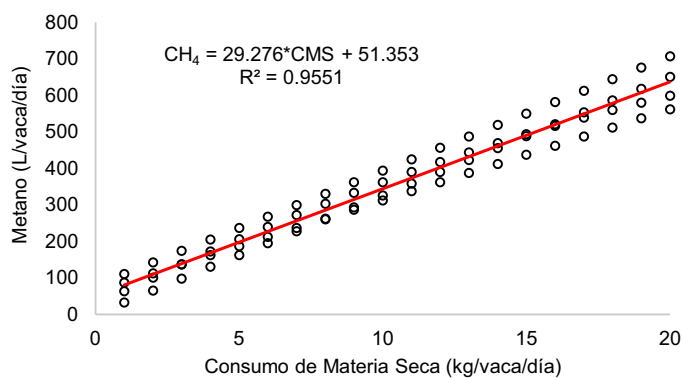
La Figura 2 propone un modelo de regresión lineal empírico generado a partir de las estimaciones de los modelos mencionados; no obstante, este modelo no consideró las estimaciones del modelo Kurihara *et al.* (1999) aplicado en Castelán-Ortega *et al.* (2014). Se observa que el coeficiente de regresión incrementó en 0.218 con respecto al modelo empírico de la Figura 1b, explicando un 95.5% de la variabilidad de las estimaciones de los modelos.

En el Cuadro 2 se muestra la comparación de los valores estimados de la producción de metano de los modelos publicados y del modelo de regresión lineal empírico propuesto en la Figura 2. Cuando se simuló el CMS de 1 a 7 kg de MS no se observaron diferencias significativas (P>0.05) entre los modelos publicados y el modelo de regresión lineal empírico propuesto, no obstante, cuando se simuló el CMS de 8 a 20 kg de MS el modelo de Kurihara *et al.* (1999) aplicado en Castelán-Ortega *et al.* (2014) sobreestimó la producción de CH<sub>4</sub> con respecto a los modelos publicados y al modelo empírico propuesto, en este sentido el modelo de Stergiadis *et al.* (2016) mostró estimaciones diferentes significativas



**Figura 1.** (a) Modelos de predicción de emisión de metano en bovino lechero y (b) modelo de regresión lineal empírico propuesto (línea sólida de color rojo) para estimar la producción metano en bovino lechero obtenido a partir de la revisión de los modelos publicados.

(P<0.001) cuando se simuló el CMS entre 13 y 20 kg MS con respecto a los otros modelos publicados y al modelo empírico propuesto. Las estimaciones más bajas se observaron con el modelo de Ramin y Huhtanen (2013), cuyas estimaciones no presentaron diferencias significativas (P>0.05) cuando se simuló el CMS de 1 a 20 kg MS con respecto a los modelos de Charmley *et al.* (2016), Huhtanen *et al.* (2015), y al modelo de regresión empírico propuesto.



**Figura 2.** Modelo de regresión lineal empírico propuesto (línea sólida de color rojo) para estimar la producción metano en bovino lechero sin el modelo Kurihara *et al.* (1999) aplicado en Castelán-Ortega *et al.* (2014).



**Cuadro 2.** Comparación de la estimación de metano empleando los modelos de regresión publicados y el modelo de regresión empírico propuesto, a partir del consumo de materia seca total.

CMS (kg d <sup>-1</sup> )	Stergiadis <i>et al.</i> (2016)	Charmley <i>et al.</i> (2016)	Huhtanen <i>et al.</i> (2015)	Ramin y Huhtanen (2013)	Castelán- Ortega <i>et al.</i> (2014)	Empírico	E.E.M.	Valor-P
	Producción de CH <sub>4</sub> (L/vaca/día)							
1	111 <sup>a</sup>	33 <sup>a</sup>	63 <sup>a</sup>	87 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	15.2	Ns
2	142 <sup>a</sup>	65 <sup>a</sup>	101 <sup>a</sup>	112 <sup>a</sup>	69 <sup>a</sup>	105 <sup>a</sup>	11.7	Ns
3	174 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>	137 <sup>a</sup>	137 <sup>a</sup>	130 <sup>a</sup>	136 <sup>a</sup>	9.9	Ns
4	205 <sup>a</sup>	130 <sup>a</sup>	172 <sup>a</sup>	162 <sup>a</sup>	192 <sup>a</sup>	167 <sup>a</sup>	10.6	Ns
5	236 <sup>a</sup>	163 <sup>a</sup>	206 <sup>a</sup>	187 <sup>a</sup>	253 <sup>a</sup>	198 <sup>a</sup>	13.4	Ns
6	268 <sup>a</sup>	195 <sup>a</sup>	239 <sup>a</sup>	212 <sup>a</sup>	314 <sup>a</sup>	229 <sup>a</sup>	17.5	Ns
7	299 <sup>a</sup>	228 <sup>a</sup>	272 <sup>a</sup>	237 <sup>a</sup>	375 <sup>a</sup>	259 <sup>a</sup>	22.0	Ns
8	331 <sup>a</sup>	260 <sup>a</sup>	303 <sup>a</sup>	262 <sup>a</sup>	437 <sup>b</sup>	289 <sup>a</sup>	26.9	**
9	362 <sup>a</sup>	293 <sup>a</sup>	333 <sup>a</sup>	287 <sup>a</sup>	498 <sup>b</sup>	319 <sup>a</sup>	31.9	**
10	393 <sup>a</sup>	325 <sup>a</sup>	362 <sup>a</sup>	312 <sup>a</sup>	559 <sup>b</sup>	348 <sup>a</sup>	37.0	**
11	425 <sup>a</sup>	358 <sup>a</sup>	390 <sup>a</sup>	337 <sup>a</sup>	620 <sup>b</sup>	378 <sup>a</sup>	42.3	**
12	456 <sup>a</sup>	390 <sup>a</sup>	418 <sup>a</sup>	362 <sup>a</sup>	682 <sup>b</sup>	407 <sup>a</sup>	47.6	**
13	487 <sup>a</sup>	423 <sup>b</sup>	444 <sup>b</sup>	387 <sup>b</sup>	743 <sup>c</sup>	435 <sup>b</sup>	53.0	***
14	519 <sup>a</sup>	456 <sup>b</sup>	469 <sup>b</sup>	412 <sup>b</sup>	804 <sup>c</sup>	464 <sup>b</sup>	58.4	***
15	550 <sup>a</sup>	488 <sup>b</sup>	493 <sup>b</sup>	437 <sup>b</sup>	866 <sup>c</sup>	492 <sup>b</sup>	63.9	***
16	581 <sup>a</sup>	521 <sup>b</sup>	516 <sup>b</sup>	462 <sup>b</sup>	927 <sup>c</sup>	520 <sup>b</sup>	69.5	***
17	613 <sup>a</sup>	553 <sup>b</sup>	539 <sup>b</sup>	487 <sup>b</sup>	988 <sup>c</sup>	548 <sup>b</sup>	75.2	***
18	644 <sup>a</sup>	586 <sup>b</sup>	560 <sup>b</sup>	512 <sup>b</sup>	1049 <sup>c</sup>	575 <sup>b</sup>	80.9	***
19	676 <sup>a</sup>	618 <sup>b</sup>	580 <sup>b</sup>	537 <sup>b</sup>	1111 <sup>c</sup>	603 <sup>b</sup>	86.7	***
20	707 <sup>a</sup>	651 <sup>b</sup>	599 <sup>b</sup>	562 <sup>b</sup>	1172 <sup>c</sup>	630 <sup>b</sup>	92.5	***

Diferentes superíndices entre columnas representan diferencias significativas. NS: no significativo ( $P > 0.05$ ); \*\*:  $P < 0.01$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ . CMS: consumo de materia seca total; E.E.M.: error estándar de la media.

El metanálisis realizado por Charmley *et al.* (2016) se basó en una gran base de datos de Australia (1,033 observaciones), hasta el momento es el estudio que ha involucrado la mayor cantidad de observaciones que incluyen datos de ambos; ganado bovino lechero y de carne, mostrando claramente la fuerte relación positiva entre el CMS y las emisiones de CH<sub>4</sub> ( $R^2=0.92$ ) con un intercepto cercano a cero cuando se empleó un rango de CMS de 2 a 28 kg d<sup>-1</sup>. En este estudio se propone un modelo de regresión lineal empírico que tiene una pendiente que indica que, por cada kg incrementado en el CMS, se incrementa la producción de CH<sub>4</sub> en 29.2 L vaca día<sup>-1</sup> y el intercepto indica que cuando la vaca no CMS, la producción de metano es de 51.3 (L vaca día<sup>-1</sup>). Este intercepto fue menor a lo reportado por Stergiadis *et al.* (2016) de 80 (L d<sup>-1</sup>) y Castelán-Ortega *et al.* (2014) de 65 (L d<sup>-1</sup>) pero superior a lo reportado por (Charmley *et al.* (2016) de 33 (L d<sup>-1</sup>) y de 25 (L d<sup>-1</sup>) en lo reportado por Ramin y Huhtanen (2013) y Huhtanen *et al.* (2015).

En este sentido, como lo menciona Hristov *et al.* (2018), la precisión del modelo utilizado es importante para establecer y evaluar objetivos alcanzables en cuanto a estrategias de mitigación se refiere. Como los modelos existentes se basan en bases de datos de cierta manera limitadas, se requieren modelos más precisos (sin la necesidad de ser complejos) para establecer la línea de base para evaluar cualquier reducción en las emisiones o estimar las emisiones globales de CH<sub>4</sub> atribuibles a fermentación entérica.

## CONCLUSIONES

Se presenta un modelo de regresión lineal empírico, aplicando las estimaciones de cuatro modelos para estimar la producción de metano en rumiantes a partir del consumo de materia seca por animal por día, observándose un coeficiente de determinación que explica 95% de la variabilidad de los datos. Este modelo podría ser aplicado para estimar la emi-

sión de CH<sub>4</sub> por animal por día en ganado bovino de leche y carne, aunque también puede estimar las emisiones en ovinos y caprinos, especialmente el modelo con coeficiente de determinación que explico el 73% de la variabilidad de los datos. Futuras investigaciones se requieren para validar *in vivo* las estimaciones de los modelos de regresión lineal empíricos propuestos.

## LITERATURA CITADA

- Alfonso-Ávila A.R., Wattiaux M.A., Espinoza-Ortega A., Sánchez-Vera E. and Arriaga-Jordán C.M. 2012. Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico. *Trop Anim Health Prod.*, 44, 637-644.
- Anaya-Ortega J.P., Garduño-Castro G., Espinoza-Ortega A., Rojo-Rubio R., Arriaga-Jordán C.M. 2009. Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale campesino dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Trop Anim Health Prod.*, 41, 607-616.
- Appuhamy J. A. D. R. N., Moraes L. E., Wagner-Riddle C., Casper D. P., Kebreab E. 2018. Predicting manure volatile solid output of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:820-829.
- Baldwin R. L. 1995. Modeling Ruminant Digestion and Metabolism. Chapman & Hall, London, UK.
- Castelán-Ortega O.A., Martínez-García C.G., Mould F.L., Dorward P., Rehman T., Rayas-Amor A.A. 2016. Optimal management of on-farm resources in small-scale dairy systems of Central Mexico: model development and evaluation. *Trop Anim Health Prod.* 48.
- Charmley E., Williams S. R. O., Moate P. J., Hegarty R. S., Herd R. M., Oddy V. H., Reyenga P., Staunton K. M., Anderson A., Hannah M. C. 2016. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Anim. Prod. Sci.*, 56, 169-180.
- Hernández-Ortega M., Heredia-Nava D., Espinoza-Ortega A., Sánchez-Vera E. Arriaga-Jordán C.M. 2011. Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico. *Trop Anim Health Prod.*, 43, 947-954.
- Hristov A.N., Kebreab E., Niu M., J. Oh, Bannink A., Bayat A. R., Boland T. M., Brito A. F., Casper D. P., Crompton L. A., J Dijkstra, Eugène M., Garnsworthy P. C., Haque N., Hellwing A. L. F., Huhtanen P., Kreuzer M., Kuhla B., Lund P., Madsen J., Martin C., Moate P. J., Muetzel S., Muñoz C., Peiren N., Powell J. M., Reynolds C. K., Schwarm A., Shingfield K. J., Storlien T. M., Weisbjerg M. R., Yáñez-Ruiz D. R., Yu Z. 2018. Symposium review: Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models. *J. Dairy Sci.*, 101, 6655-6674.
- Huhtanen P., Ramin M., Udén P. 2015. Nordic dairy cow model Karoline in predicting methane emissions: 1. Model description and sensitivity analysis. *Livest. Sci.*, 178, 81-93.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.
- Kurihara M., Magner T., Hunter R. A., McCrabb G. J. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Brit. J. Nutr.*, 81, 227-234.
- Martínez-García C.G., Rayas-Amor A. A., Anaya-Ortega J.P., Martínez-Castañeda F.E., Espinoza-Ortega A., Prospero-Bernal F., Arriaga-Jordán C. M. 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Trop Anim Health Prod.*, 47, 331-337.
- Mills J. A. N., Dijkstra J., Bannink A., Cammell S. B., Kebreab E., France J. 2001. A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: Model development, evaluation, and application. *J. Anim. Sci.*, 79, 1584-1597.
- Kebreab E., Clarke K., Wagner-Riddle C., France J. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture—A review. *Can. J. Anim. Sci.* 86, 135-158.
- Ramin M., Huhtanen P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *J. Dairy Sci.* 96:2476-2493.
- Stergiadis S., Zou C., Chena X., Allene M., Willsa D., Yana T. 2016. Equations to predict methane emissions from cows fed at maintenance energy level in pasture-based systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 220, 8-20.

