

Estimación *in vitro* de metano y dióxido de carbono en dietas para engorda de bovinos

Pereyra, C.¹; Pinto, R.^{1*}; Ramírez, R.¹; Hernández, D.²; Guevara, F.¹ y Venegas, J.¹.

¹Facultad de Ciencias Agronómicas. Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

²Colegio de Posgraduados, Programa de Ganadería. Texcoco. Estado de México, México.

PALABRAS CLAVE

Gases efecto invernadero.
Gas *in vitro*.
Emisión.
Rumiantes.
Degradación.

ADDITIONAL KEYWORDS

Greenhouse effect gases.
Gas *in vitro*.
Emission.
Ruminants.
Degradation.

INFORMATION

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 25.07.2019
Aceptado/Accepted: 10.10.2022
On-line: 15.10.2022
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
pinto_ruiz@yahoo.com.mx

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las características de fermentación de una dieta reformulada en comparación a la usada comúnmente en la engorda de bovinos en el estado de Chiapas, México y estimar la producción de GEI utilizando para ello la técnica de producción de gas *in vitro*. Se analizaron dos dietas (tratamientos) utilizando la prueba de T, una dieta convencional (D1), obtenida a través de un diagnóstico realizado a productores de la región de estudio y una dieta propuesta (D2). Se usaron ocho toretes mismos que fueron adaptados al consumo de las dietas. A las dietas se les analizó materia seca (MS), proteína cruda (PC), cenizas (Ce) y materia orgánica (MO). Los parámetros y fracciones de fermentación, degradación y estimación de metano y dióxido de carbono se obtuvieron por medio de la técnica *in vitro*. La D1 presentó mayor ($P < 0,05$) contenido de MS, PC y Ce, mientras que la D2 presentó mayor ($P < 0,05$) volumen máximo de gas (V_m), la degradación *in vitro* de la MS a 24 h fue similar entre los tratamientos ($P > 0,05$). La D2 presentó mayor ($P < 0,05$) fracciones de fermentación media (FM) y fermentación lenta (FL) y produjo menor volumen de CH₄ más gases menores y mayor volumen de CO₂. Se concluye que el uso de la técnica de *in vitro* reporta una reducción del 32.5 % en las emisiones de CH₄ en la dieta propuesta, pero tuvo un incremento en la producción de CO₂.

Estimate *in vitro* of methane and carbon dioxide in diets of feedlot cattle

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the fermentation characteristics of a reformulated diet compared to that commonly used in cattle fattening in the state of Chiapas, Mexico and estimate the GHG production using the *in vitro* gas production technique. Two diets (treatments) were analyzed using the T test, a conventional diet (D1), obtained through a diagnosis made to producers in the study region and a proposed diet (D2). Eight bulls were used that were adapted to the consumption of the diets. The diets were analyzed for dry matter (MS), crude protein (PC), ash (Ce) and organic matter (MO). The parameters and fractions of fermentation, degradation and estimation of methane and carbon dioxide were obtained by means of the *in vitro* technique. D1 showed a higher ($P < 0.05$) content of MS, PC and Ce, while D2 had a higher ($P < 0.05$) maximum gas volume (V_m), the *in vitro* degradation of DM at 24 h it was similar between treatments ($P > 0.05$). The D2 presented higher ($P < 0.05$) fractions of medium fermentation (FM) and slow fermentation (FL) and produced lower volume of CH₄ plus lower gases and higher volume of CO₂. It is concluded that the use of the *in vitro* technique reports a 32.5% reduction in mCH₄ emissions in the proposed diet, but had an increase in CO₂ production.

INTRODUCCIÓN

La producción de carne de bovino en México, procedente de corrales de engorda, es de gran importancia socioeconómica. Esta actividad representa el 35 % de la producción nacional, que en 2018 fue de 1, 926, 901 ton de carne en canal, de los cuales, el 5.42 % fue producido en el estado de Chiapas, al sur de México (SIAP, 2018).

Así, la ganadería bovina se considera la base del sector primario y una actividad importante en la economía del Estado. Sin embargo, la alimentación empleada en este sistema se basa en dietas inadecuadas tanto en la satisfacción de requerimientos como en el uso de los ingredientes que la componen (Hinojosa, 2018), lo cual trae como consecuencia problemas ambientales, principalmente el relacionado a la emisión de metano

(CH₄), cuyo principal responsable se le atribuye al sector ganadero (Bonilla y Lemus, 2012, p. 2015), pues se considera que la producción de CH₄ en los rumiantes está influenciada por factores tales como el consumo de alimento, la composición de la dieta y la digestibilidad del alimento, principalmente (Rendón *et al.* 2018, p. 37). Por tal motivo, la implementación de estrategias alimenticias en la producción bovina se debe basar en mejorar las características de la dieta y, por tanto, los parámetros fermentativos a nivel ruminal, reflejándose en una disminución en las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) permitiendo, con su medición, aminsonar los efectos en la contaminación ambiental (Vargas *et al.* 2012, p. 52). Sin embargo, para medir los GEI por fermentación ruminal se utilizan, principalmente, cromatógrafo de gases, trazador de hexafluoruro de azufre (SF₆), cámaras de respiración, láser e infrarrojo (Hammond *et al.* 2016, p. 14; Reinartz *et al.* 2018, p. 8438), pero el uso de estas técnicas es limitado, debido a los altos costos de implementación, por lo que, utilizar técnicas alternas que demuestren ser eficientes y económicas para conocer la emisión de estos gases es fundamental para establecer estrategias de mitigación. Las técnicas *in vitro* se utilizan como medio rápido y preciso para conocer las características de fermentación y degradación de los alimentos y recientemente, se le han hecho modificaciones para poder acercarse, de manera indirecta, a la estimación de GEI (Chávez y Martínez, 2014 p 33). Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las características de fermentación de una dieta reformulada para el bovino en engorda en comparación a la usada comúnmente y estimar la producción de GEI utilizando para ello la técnica de producción de gas *in vitro*.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro Universitario de Transferencia y Tecnología (CUTT) San Ramón de la Universidad Autónoma de Chiapas, localizado en el municipio de Villaflores en la región Frailesca, en Chiapas, México, la cual cuenta con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, una precipitación de 1,100 mm anuales y una temperatura media anual de 25°C (García, 1988, p. 24).

Se trabajó con ocho toretes de la raza Suizo Americano de un año de edad. Se buscó que los animales tuvieran características fenotípicas homogéneas y con un buen estado nutricional. Los bovinos (donadores de líquido ruminal) fueron distribuidos aleatoriamente en dos tratamientos y posteriormente colocados en corrales individuales acondicionados con bebedero, comedero y sombra. Cabe señalar, que, en todo momento los bovinos recibieron un trato de acuerdo con los protocolos de la Ley Federal Sanidad Animal vigente y NOM-062-ZOO-1999.

Los animales fueron adaptados por 20 días al consumo de las dietas. La dieta convencional (D1), la cual es la frecuentemente utilizada en la región, fue conocida a través de un diagnóstico realizado a productores y estuvo compuesta por 59,5% de pollinaza, 16% de maíz, 7% de sales minerales y 17,5% de heno (*Brachiaria dictyoneura*), y una dieta propuesta (D2) la cual fue for-

mulada de acuerdo a los requerimientos nutricionales de los animales (NRC, 2000, p. 381) y considerando los niveles de ingredientes recomendados, quedando compuesta por 29% de pollinaza, 45% de maíz y 26% de heno (*B. dictyoneura*). Para ello se consideró que dietas altas en granos no solo mejora el comportamiento productivo del animal sino también permite reducir las emisiones de metano entérico en rumiantes (Moscoso *et al.* 2017, p. 824; Dall-Orsoletta *et al.* 2019, p. 93).

Las dietas fueron analizadas para conocer su contenido de proteína cruda (PC), cenizas (Ce) y materia orgánica (MO) según AOAC (2005), la fibra detergente neutro (FDN) y detergente ácido (FDA), según Van Soest *et al.* (1991, pp. 3584-3586). Los parámetros y fracciones de fermentación, así como la degradación de la materia seca (DgrMS) se midieron con la técnica de producción de gas *in vitro* (Manke y Steingass, 1988, p. 7), para lo cual se colocaron 0.5 g de sustrato por tratamiento en frascos de vidrio color ámbar de 125 mL de capacidad y posteriormente se les adicionó 90 mL de inóculo ruminal bajo un flujo continuo de CO₂.

El líquido ruminal se obtuvo de los toretes previamente alimentados con las dietas evaluadas y fue manejado por separado. Posteriormente, el líquido ruminal se filtró a través de ocho capas de tela de gasa y se adicionó en una proporción de 1:9 a una solución mineral reducida compuesta de K₂HPO₄ (0.45 g L⁻¹), KH₂PO₄ (0.45 g L⁻¹), NaCO₃ (0.6 g L⁻¹), (NH₄)₂SO₄ (0.45 g L⁻¹), NaCl (0.9 g L⁻¹), MnSO₄ (0.18 g L⁻¹), CaCl₂ (0.12 g L⁻¹), L-cisteína (0.25 g L⁻¹) y Na₂S (0.25 g L⁻¹). Se incluyeron tres frascos blancos (sin sustrato) para cada tratamiento, los frascos fueron tapados herméticamente con un tapón de goma y aro metálico, con el uso del manómetro se extrajo el exceso de CO₂ para igualar la presión a cero y se colocaron en baño maría a 39°C. La presión de gas de fermentación se midió con el manómetro (0 a 1 kg cm⁻²) a 2,4,6,8,12,16,20,24, 30, 36,42,48 60 y 72 h de incubación. Los valores de presión (kg cm⁻²) se transformaron a volumen de gas (mL g⁻¹ sustrato) con la ecuación de regresión (volumen = presión/0.019). Se estimaron los parámetros de la cinética de producción de gas: volumen máximo (Vm; mLg⁻¹), tasa (S; h⁻¹) y tiempo de retardo (L; h), los cuales fueron ajustados con el modelo logístico $V = V_m / (1 + e^{-(S)(T-L)})$ (Schofield y Pell, 1995, p. 3457). Se calcularon las fracciones fermentables de gas para los intervalos de tiempo de 0 a 8 (Vf₀₋₈), 8 a 24 (Vf₈₋₂₄) y 24 a 48 (Vf₂₄₋₇₂) horas de incubación. Estos volúmenes fraccionales, fueron transformados a fracciones (g kg⁻¹) de rápida (FR), media (FM) y lenta (FL) fermentación mediante las siguientes ecuaciones de regresión: FR (g kg⁻¹) = Vf₀₋₈ / 0.4266 (R² = 0.9441), FM (g kg⁻¹) = Vf₈₋₂₄ / 0.6152 (R² = 0.998) y FL (g kg⁻¹) = Vf₂₄₋₇₂ / 0.3453 (R² = 0.9653) (Miranda *et al.* 2015, p. 575). La DgrMS₂₄ se obtuvo mediante análisis gravimétricos, tomando en cuenta el peso de la MS inicial y la final obtenida a 24 h después de iniciada la fermentación, recuperando el material mediante filtrado y secado de material a 65 °C hasta peso constante.

Para la estimar la producción de CO₂ y CH₄ más gases menores durante las primeras 24 h de fermentación, se utilizaron frascos de 125 mL de capacidad se colocaron 0.5 g de cada sustrato (D1 y D2) y 90 mL de inóculo

ruminal, preparado de la misma manera descrita en la prueba anterior. Se realizó la separación del CO₂ por medio de una trampa (frasco de vidrio herméticamente sellado con tapón de hule y aro de aluminio) que contenía 40 mL de hidróxido de potasio (KOH) a una concentración de uno molar y una dilución de 56.10 g de KOH en un litro de agua desionizada de acuerdo a la metodología propuesta por Bartha y Pramer (1965, p. 69) modificada por Miranda *et al.* (2015, p. 575). El volumen total de gas (VT; mL) se midió cada seis horas con la jeringa de vidrio hasta las 24 h. El gas atrapado en la jeringa fue inyectado a frascos que contenían hidróxido de sodio (KOH, 1N), se mezcló suavemente sin dejar de presionar el émbolo de la jeringa, para luego dejar salir en gas que no reaccionó con el KOH. Éste último gas fue considerado como volumen de metano más gases menores (VCH₄+GM). El volumen de CO₂ (VCO₂) se obtuvo por diferencia del VT y VCH₄+GM. El VT, VCH₄+GM y VCO₂ se expresaron como mL g⁻¹ de MS. El VCH₄+GM se corrigieron en cada tratamiento restando la producción de metano promedio de tres blancos.

Se utilizaron seis repeticiones para las variables MS, PC, MO, FDN y FDA y nueve repeticiones para los parámetros, fracciones de fermentación, DgrMS,

VT, VCH₄+GM y VCO₂. Las variables se analizaron estadísticamente utilizando la prueba de T. Las nueve repeticiones fueron obtenidas de los valores medios, productos de la repetición por tres veces consecutivas del experimento según recomienda Uden *et al.* (2012, p. 4).

RESULTADOS

La D1 presentó mayor contenido de MS, PC y Ce (P<0,05). La D2 tuvo mayor contenido de MO. Sobre el contenido de FDN y FDA no se mostraron diferencias estadísticas (P>0,05; **Tabla I**).

La **Tabla II** expresa los parámetros de producción de gas a 72 h de fermentación. La fase Lag (L) fue similar entre las dietas evaluadas (P>0,05), sin embargo, la D1 se fermenta más rápidamente que la D2, mientras que el potencial de fermentación dado por el volumen máximo (Vm) fue mayor (P<0,05) para la D2.

En la **Tabla III** se muestran los volúmenes fraccionales a las 8, 24 y 74 h de fermentación (rápida, media y lenta fermentación), correspondientes al gas producido por carbohidratos solubles (CS), de reserva (CR) y estructurales (CE) (Sandoval *et al.* 2016, p. 3191).

Tabla II. Parámetros de fermentación *in vitro* de una dieta convencional y una propuesta para la engorda de bovinos en el centro de Chiapas, México (In vitro fermentation parameters of a conventional diet and a proposal for cattle fattening in central Chiapas, Mexico).

	S (h ⁻¹)	L (h)	Vm (mLg ⁻¹)
D1	0,036 ^a ± 0	2,99 ^a ± 0,49	332,067 ^b ± 11,12
D2	0,033 ^b ± 0	2,26 ^a ± 0,16	399,700 ^a ± 10,64

Medias con literal distinta en la misma columna son diferentes estadísticamente (P<0,05). ±: error estándar, D1: dieta convencional, D2: dieta propuesta, S: Tasa o Velocidad de fermentación, L: Fase Lag, Vm: Volumen máximo de gas.

Tabla III. Fracciones fermentables y degradación *in vitro* de una dieta convencional y una propuesta para la engorda de bovinos en el centro de Chiapas, México (Fermentable fractions and in vitro degradation of a conventional diet and a proposal for cattle fattening in central Chiapas, Mexico).

	Fracciones fermentables (mL g ⁻¹)				DgrMS ₂₄ (%)
	FR	FM	FL	FT	
D1	205,90 ^a ± 16,45	250,900 ^b ± 10,05	303,41 ^b ± 5,67	760,217 ^b ± 24,70	60,22 ^a ± 1,87
D2	240,98 ^a ± 11,30	293,871 ^a ± 9,15	402,56 ^a ± 8,3	937,413 ^a ± 25,28	55,52 ^a ± 1,99

Literales distintas en la misma columna difieren estadísticamente (P<0,05). ±: error estándar, D1: dieta convencional, D2: dieta propuesta, FR: Fracción de Rápida, FM: Fracción de Media fermentación, FL: Fracción de lenta fermentación, FT: Fracción Total, DgrMS: Degradación de la Materia Seca a 24 h.

Se observó que la D2 tuvo mayor ($P<0,05$) fracción media y lenta fermentación, pero igual ($P>0,05$) en el contenido de fracción rápida con la D1. Por lo tanto, la fermentación total (FT) fue mayor para la D2 ($P<0,05$). La D2 mostró dos picos de mayor producción de gas de 8-24 y de 24 a 48 h (Figura 1; $P<0,05$).

No se encontró diferencias en la $DgrMS_{24}$ entre las dietas evaluadas ($P>0,05$; Tabla III).

El volumen total de gas (VT), volumen de metano más gases menores (VCH_4+GM) y volumen de dióxido de carbono (VCO_2) se muestran en la Tabla IV. La D2 produjo mayor VT ($P<0,05$), pero menor VCH_4+GM , en contraste, la fermentación de la D2 produjo mayor VCO_2 .

DISCUSIÓN

La diferencia en la composición química de las dietas, posiblemente se debe a factores relacionados con el tipo de alimento y al porcentaje de inclusión de cada uno de ellos en la preparación de las dietas, lo cual también estará asociado al volumen de gas producido (Almaraz-Buendía *et al.* 2019, p. 260), la tasa máxima de producción de gas y el tiempo en que se alcanza la fermentación ruminal *in vitro* (Gaviria *et al.* 2015, p. 61).

En cuanto al mayor porcentaje ($P<0,05$) de MS, PC y Ce en la D1, podría atribuirse a la mayor inclusión de paja en la dieta, por el alto contenido de materia seca y de proteína cruda, de la cual, un porcentaje considerable corresponde a nitrógeno no proteico (NNP) y otro a proteína altamente soluble en rumen, así como al alto contenido mineral característico de las excretas (Arroyo *et al.*, 2003, p. 70; Mata, 2011, p. 127). Ortiz *et al.* (2009, p. 246), informaron que conforme se incrementa el nivel de paja en la dieta, se incrementa también el porcentaje de PC y Ce. El contenido de MO fue mayor ($P<0,05$) para el D2, este resultado se debe a la alta presencia de grano de maíz en la dieta. En este

sentido, Torres *et al.* (2018, p. 124) al evaluar diferentes dietas para bovino de engorda con la inclusión de 30 % de maíz reportó valores de MO por arriba del 90 %. Por lo que, en dietas con altos niveles de almidón siempre habrá mayor MO en comparación con aquellas dietas que contengan un menor porcentaje de carbohidratos de reserva.

Se conoce que los parámetros de fermentación, éstos pueden variar de acuerdo con la composición química de los alimentos, tanto por su contenido de PC como de energía (Hernández *et al.* 2010, p. 423). En este sentido, la D1 presentó una S más alta ($P<0,05$) que la D2, posiblemente por el alto contenido de NNP proporcionado por la paja, lo que permitió mejorar el ambiente ruminal y, con ello, la velocidad de fermentación. Por otro lado, la D2 tuvo mayor contenido de heno y grano de maíz en su formulación, lo que propicio mayor contenido de MO ($P<0,05$; Tabla I), por lo tanto, produjo un mayor volumen máximo de gas ($P<0,05$; Tabla II). Sin embargo, se ha reportado que este parámetro de fermentación (V_m) no se relaciona directamente con la emisión de metano (Torres-Salado *et al.* 2017, p. 58).

Por otra parte, en la Figura 1 y Tabla III, se observa que la D2 mostró mayor producción de gas de 8-24 y de 24 a 48 h, mismos que son atribuidos a carbohidratos de reserva (CR) como el almidón y polisacáridos de la pared celular (celulosa y hemicelulosa). Lo anterior se debe a que el D2 tuvo mayor nivel de inclusión de maíz y heno, por lo que las dietas altas en granos dan mayor accesibilidad a los organismos para tener un mayor contacto con los gránulos de almidón para así obtener energía suficiente para su crecimiento y para poder aumentar la degradación de los carbohidratos estructurales de la pared celular (Velásquez *et al.* 2013, p. 3877). Por su parte, Jiao *et al.* (2014, p. 7052) señalan que las fracciones de fermentación media de los alimentos, se relacionan directamente con la emisión de gases efecto invernadero, por lo tanto, dietas con

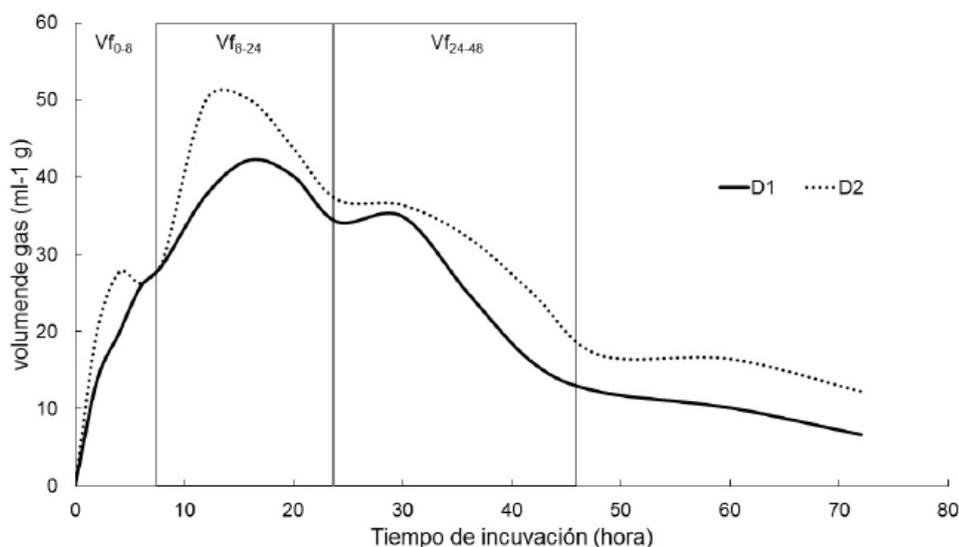


Figura 1. Volumen de gas por la fermentación *in vitro* de dietas evaluadas. Vf_{0-8} , Vf_{8-24} y Vf_{24-72} ; Volumen fraccional de gas de 0 a 8, 8 a 24 y 24 a 72 h de incubación. D1=Dieta convencional, D2= Dieta propuesta

Tabla IV. Producción *in vitro* de dióxido de carbono y metano más gases menores de una dieta convencional y una propuesta para la engorda de bovinos en el centro de Chiapas, México (In vitro production of carbon dioxide and methane plus minor gases from a conventional diet and a proposal for cattle fattening in central Chiapas, Mexico).

	VT (mL g ⁻¹)	VCH ₄ +GM (mL g ⁻¹)	VCO ₂ (mL g ⁻¹)
D1	137,7 ^b ± 1.26	20 ^a ± 0,24	122,8 ^b ± 1,06
D2	173,76 ^a ± 4.8	13,5 ^b ± 0,81	159,3 ^a ± 6,87

Literales distintas en la misma columna difieren estadísticamente (P<0,05). ±: error estándar, D1: Dieta convencional, T2: dieta propuesta, VT: volumen total, VCH₄+GM: volumen de metano más gases menores, VCO₂: volumen de dióxido de carbono.

mayor contenido de CR como el almidón, menor será la emisión de metano (Pirondini *et al.* 2015, p. 368).

En cuanto a la DgrMS_{24h} los tratamientos presentaron un promedio de 57,87 % y fueron similares entre sí (P>0,05; **Tabla III**). Esta similitud podría deberse al porcentaje de inclusión de los ingredientes que constituyeron las dietas, por lo que, el porcentaje de pollinaza en la D1 (59,5 % de inclusión), posiblemente mejoró la degradación de esta. Al respecto, Ortiz *et al.* (2009, p. 247) señalan que niveles elevados de pollinaza mejora la degradación. En contraste, la D2 tuvo mayor inclusión de maíz en su formulación que el D1 (45 y 16 %, respectivamente), sin embargo, el maíz no influyó sobre la DgrMS (P>0,05; **Tabla III**), posiblemente porque se incluyó mayor porcentaje de heno en comparación a la D1 y con ello, se igualó el contenido de fibras (FDN y FDA) entre los tratamientos (P>0,05; **Tabla I**). La D2 presentó mayor contenido de MO (P<0,05; **Tabla I**), por lo tanto, mayor Vm, sin embargo, este parámetro no se relacionó con la DgrMS (R²= 0.42), por lo que dos sustratos con igual DgrMS pueden producir diferentes volúmenes de gas (Pérez *et al.* 2018, p. 41) y de metano. Al respecto, Barbosa *et al.* (2017, p. 283) señalan dietas con mayor DgrMS menor será la emisión de metano, siempre que las dietas contengan niveles bajos de FDN y FDA.

Respecto a la baja producción (P<0,05) del VCH₄+GM de la D2 en comparación con la dieta convencionalmente usada en los diferentes sistemas de producción de engorda de bovinos en Chiapas, posiblemente se deba a su mayor contenido de CR (**Tabla III** y **Figura 1**). Al respecto, López *et al.* (2014, p. 7829) y Vargas *et al.* (2012, p. 53) señalan que dietas con mayor contenido de carbohidratos no fibrosos como el almidón, contribuyen a aumentar la propionogénesis, por lo tanto, se reduce la producción de CH₄. Ellis *et al.* (2012, p. 2720) y Banik *et al.* (2013, p. 415) mencionan que el cambio en el perfil de ácidos grasos volátiles en rumen depende del tipo y cantidad de sustrato fermentado. Por su parte Histrov *et al.* (2015, p. 10663) señalan que la reducción de metano podría estar relacionada directamente con mayor aprovechamiento de la energía proporcionada por los concentrados, por lo que mitigar los GEI por medio de estrategias de alimentación también lleva a mejorar los parámetros productivos. No obstante, la reducción de VCH₄+GM en la D2 propició mayor VCO₂ (P<0,05), esto posiblemente a la reducción de H (hidrógeno) disponible en rumen, dado que este gas es utilizado en la fermentación propiónica, de ese modo se disminuye cantidad de H para formar metano por metanógenos (Hook *et al.* 2011, p. 95), como consecuencia mayor producción de CO₂.

Para conocer el efecto de concentrados sobre la mitigación metano entérico, se han empleado diver-

sas técnicas de medición, entre las que destacan el uso de cromatógrafo de gases, hexafluoruro de azufre (SF₆), cámaras respiratorias y sistemas de infrarrojo, reportando reducción de 17, 24, 35 y 50 % de metano a medida que aumenta el porcentaje de concentrado en las dietas (Aguerre *et al.* 2011, p. 3089; Misselbrook *et al.* 2010, p.37; Sauvant y Nozière, 2016, p. 767; López *et al.* 2012, SN). Las diferentes técnicas para estimar GEI (cromatógrafo de gases, hexafluoruro de azufre, cámaras de respiración e infrarrojo), detectaron una tendencia en la disminución de metano al incluir mayor cantidad de concentrados con alto contenido de almidón. En este trabajo, se obtuvo una tendencia similar con la técnica de producción de gas *in vitro*.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del presente trabajo se concluye que la dieta propuesta produjo un mayor Vm de gas, sin embargo, se ha reportado que este parámetro de fermentación no se relaciona directamente con la emisión de metano, así también mostró mayor producción de gas en las fracciones de fermentación media atribuidos a los CR de la dieta lo cual se relaciona con una disminución de GEI, finalmente, el uso de la técnica de producción de gas *in vitro* reporta una reducción del 32.5 % en las emisiones de metano en la dieta propuesta para bovinos en engorda pero tuvo un incremento en la producción de CO₂.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas por el apoyo otorgado para realizar el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguerre, MJ, Wattiaux, MA, Powell, JM, Broderick, GA, & Arndt, C 2011, 'Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emisión of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion', *Journal of Dairy Science*, vol. 94, pp. 3081-3093.
- Almaraz-Buendía, I, García, AM., Sánchez-Santillán, P, Torres-Salado, N, Herrera-Pérez, J, Bottini-Luzardo, MB, & Rojas-García, AR 2019, 'Análisis bromatológico y producción de gas *in vitro* de forrajes utilizados en el trópico seco mexicano', *Archivos de Zootecnia*, vol. 68, no. 262, pp. 260-266.
- AOAC 2005, 'Official Methods of Analysis' (18th Ed), Washinton D.C: AOAC International.
- Arroyo, C, Rojas, A, & Rosales, R 2003, 'Urea o pollinaza como suplemento proteico para toretes consumiendo ensilaje de pulpa de pejiibaye', *Revista Agronomía Costarricense*, vol. 27, no. 2, pp. 69-73.
- Banik, BK, Durmic, ZW, Erskine, NP, Ghamkhar, K, & Vercoe, P 2013, 'Variability of *in vitro* ruminal fermentation and methanogenic potential

- in the pasture 41 legume biserrula (*Biserrula pelecinus* L.), *Crop and Pasture Science*, vol. 64, no. 4, pp. 409-416.
- Barbosa, AL, Vinhas, T, Ribeiro, D, Alves, S, & Silva, JC 2017, 'Intake, digestibility, growth performance, and enteric methane emission of Brazilian semiarid non-descript breed goats fed diets with different forage to concentrate ratios', *Tropical Animal Health Production*, vol. 50, no. 2, pp. 283-289
- Bartha, R & Pramer, D 1965, 'Features of flask and method for measuring the persistence and biological effects of pesticides in soil'. *Soil Science*, vol. 100, no. 1, pp. 68-70.
- Bonilla, JA & Lemus, C 2012, 'Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático', *Revisión, Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 3, no. 2, pp. 215-246.
- Chávez, G, & Martínez, L 2014, Producción de gas *in vitro* como método para determinar la asimilación de dietas por corderos. (Tesis). Departamento de enseñanza, investigación y servicio en zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México, pp 25-26.
- Dall-Orsoletta, AC, Leurent-Colette, S, Launay, F, Ribeiro-Filho, HMN, & Delaby, L 2019, 'A quantitative description of the effect of breed, first calving age and feeding strategy on dairy systems enteric methane emission', *Livestock Science*, vol. 224, pp. 87-95.
- Ellis, JL, Dijkstra, J, Bannink, A, Kebreab, E, Hook, SE, Archibeque, S, & France, J 2012, 'Quantifying the effect of monensin dose on the rumen volatile fatty acid profile in high-grain-fed beef cattle', *Journal of Animal Science*, vol. 90, pp. 2717-2726.
- García, E 1998, 'Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen', Instituto Nacional de Geografía. 5 th. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. Serie Libros, no. 6, Instituto de Geografía, UNAM.
- Gaviria, X, Naranjo, JF, & Barahona, R 2015, 'Cinética de fermentación *in vitro* de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* y sus mezclas, con o sin suplementación energética', *Pastos y Forrajes*, vol. 38, no. 1, pp. 55-63.
- Hammond, KJ, Crompton, LA, Bannink, A, Dijkstra, J, Yáñez-Ruiz, DR, O'Kiely, P, Kebreab, E, Eugène, MA, Yu, Z, Shingfield, KJ, Schwarm, A, Hristov, AN, & Reynolds, CK 2016, 'Review of current *in vivo* measurement techniques for quantifying enteric methane emission from ruminants', *Animal Feed Science and Technology*. vol. 219, pp. 13-30.
- Hernández, HJ, Franco, GF, Camacho, RJ, Villareal, EBO, Pedraza, OR, Plata, PF, & Mendoza, MGD 2010, 'Evaluación de vainas y hojas de árboles forrajeros por la técnica de producción de gas *in vitro*', *Zootecnia Tropical*, vol. 28, no. 3, pp. 421-426.
- Hinojosa, LI 2018, Estrategias alimenticias utilizadas en el sistema productor de carne del estado de Chiapas, México. (Tesis) Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma de Chiapas. México, pp. 34-45.
- Histrov, AN, Oh, J, Giallongo, F, Frederick, TW, Harper, MT, Weeks, HL, Branco, AF, Moate, PJ, Deighton, MH, Williams, SRO, 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*, vol. 112, no. 34, pp. 10663-10668.
- Hook, SE, Steele, M, Northwood, K, Wright AD, & McBride, B 2011, 'Impact of High-Concentrate Feeding and Low Ruminant pH on Methanogens and Protozoa in the Rumen of Dairy Cows', *Microbial Ecology*, vol. 62, no. 1, pp. 94-105.
- Jiao, HP, Dale, AJ, Carson, AF, Murray, S, Gordon, AW, & Ferris, CP 2014, 'Effect of concentrate feed level on methane emissions from grazing dairy cows', *Journal of Dairy Science*, vol. 97, no. 11, pp. 7043-7053.
- López, MC, Ibáñez, C, García, DFJ & Javier, MV 2012, 'Determination of methane production from lactating goats fed diets with different starch levels', International Livestock Environment Symposium (ILES IX). International Conference of Agricultural Engineering-CIGR-AgEng.
- López, MC, Estellés, F, Moya, VJ & Fernández, C 2014, 'Use of dry citrus pulp or soybean hulls as a replacement for corn grain in energy and nitrogen partitioning, methane emissions, and milk performance in lactating Murciano-Granadina goats', *Journal of Dairy Science*, vol. 97, pp. 7821-7832.
- Mata, L 2011, 'Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales', Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, pp. 127.
- Menke, KH & Steingass, H 1988, 'Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid', *Livestock Research for Rural Development*, vol. 28, pp. 7.
- Miranda, LA, Vázquez, MP, Améndola, MR, Sandoval, GL, & González, OR 2015, 'Cuantificación de las fracciones fermentables de alfalfa y tuna por la técnica de producción de gas', Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Puerto Varas, Chile. 575.
- Misselbrook, T, Kim, EJ, Bulmer, N, Munrray, R, Scollan, N, & Chadwick, D 2010, 'Evaluation of effects of grass water-soluble carbohydrate on methane emissions from grazing lambs', In: McGeough, EJ. and McGinn, S.M. (Eds.). Proceeding of the 4th Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference. Greenhouse Gases and Animal Agriculture Conference, Banff, Canada.
- Moscoso, J, Franco, F, San Martín, F, Olazábal, J, Chino, L, & Pinares-Patiño, C 2017, 'Producción de Metano en Vacunos al Pastoreo Suplementados con Ensilado, Concentrado y Taninos en el Altiplano Peruano en Época Seca', *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 28, no. 4, pp. 822-833.
- NRC 2000, 'Nutrient requirements of beef cattle', Update 7th Ed, National Academy Press, Washington, D.C.
- Ortiz, A, Elías, A, & Valdiviá, M 2009, 'Utilización de diferentes fuentes de pollinaza como complemento alimenticio en la ceba de ovinos en pastoreo', *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, vol. 43, no. 3, pp. 245-249.
- Pérez, AA, Pinto, R, Ley, A, Ramírez, R, Molina, LF, Guevara, F, & Venegas, JA 2018, 'Estimación de la producción de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) de la cerdaza', *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 22, no. 2, pp. 35-45.
- Pirondini, M, Colombini, S, Mele, M, Malagutti, L, Rapetti, L, Galassi, G & Crovetto, GM 2015, 'Effect of dietary starch concentration and fish oil supplementation on milk yield and composition, diet digestibility, and methane emissions in lactating dairy cows', *Journal of Dairy Science*, vol. 98, no. 1, pp. 357-372.
- Reinartz, M, Yepes, K, Sarmiento, A, Arroyave, J, & Pineda, D 2018, 'Dietary effects on pH, temperature and ruminal methane emission by Holstein cows', *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 71, no. 1, pp. 8437-8443.
- Rendón, JA, Pinos, JM, & Kebreab, E 2018, 'Animal nutrition strategies to reduce greenhouse gas emissions in dairy cattle', *Acta Universitaria*, vol. 28, no. 5, pp. 34-41.
- Sandoval, L, Miranda, RL, Lara, BA, Huerta, BM, Uribe, GM, & Martínez, MM 2016, 'Fermentación *in vitro* y la correlación del contenido nutricional de leucaena asociada con pasto estrella', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 1, no. 16, pp. 3185-3196.
- Sauvant, D & Nozière, P 2016, 'Quantification of the main digestive processes in ruminants: the equations involved in the renewed energy and protein feed evaluation systems', *Animal*, vol. 10, no. 5, pp. 755-770.
- Schofield, P & Pell, AN 1995, 'Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes y grasses', *Journal of Animal Science*, vol. 73, no. 11, pp. 3455-3463.
- Torres, FK, Herrera, TE, Reyes, EO, & Murillo, OM 2018, 'Producción de gas, degradabilidad y fermentación ruminal *in vitro* de dietas para bovinos de carne con la inclusión de hojas de encino (*Quercus* sp.)', *Agroproductividad*, vol. 11, no. 6, pp. 120-127.
- Torres-Salado, N, Sánchez-Santillán, P, Rojas-García, AR, Herrera-Pérez, J, & Hernández-Morales, J 2017, 'Producción de gases efecto invernadero *in vitro* de leguminosas arbóreas del trópico seco mexicano', *Archivos de Zootecnia*, vol. 67, no. 257, pp. 55-59.
- Udén, P, Robinson, PH, Mateos, GG, & Blank, R 2012, 'Use of replicates in statistical analyses in papers submitted for publication in Animal Feed Science and Technology', *Animal Feed Science and Technology*, vol. 171, pp. 1-5.

Van Soest, PJ, Robertson, JB, & Lewis, BA 1991, 'Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition', *Journal of Dairy Science*, vol. 74, no. 10, pp. 3583-3597.

Vargas, J, Cárdenas, E, Pabón, M, & Carulla, J 2012, 'Emisión de

metano entérico en rumiantes en pastoreo', *Archivos de Zootecnia*, vol. 61, no. 1, pp. 51-66.

Velásquez, VR, Noguera, RR, & Posada, OS 2013, 'Procesamiento del grano de maíz sobre la cinética de degradación de la materia seca *in vitro*', *Revista MVZ Córdoba*, vol. 18, no. 3, pp. 3877-3885.