



## Efecto de la digestibilidad de la fibra sobre la emisión de metano, producción y calidad de la leche en ganado bovino productor de leche

Mohammed Benaouda , Manuel González-Ronquillo , Francisca Avilés-Nova<sup>1</sup> ,  
María Fernanda Vázquez-Carrillo , y Octavio Alonso Castelán-Ortega<sup>2</sup> 

Laboratorio de investigación en Ganadería, Medio Ambiente y Energías Renovables, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. México.

### Effect of fiber digestibility on methane emission, milk production and quality in dairy cattle

**Abstract.** The present study evaluated the effect of increasing levels of dietary fiber (>40% neutral detergent fiber; NDF) and its digestibility on DMI, milk production and composition, and CH<sub>4</sub> emission of lactating dairy cows. Eight Holstein cows were randomly assigned to four treatments with different NDF levels in the diet = 40.2, 43.3, 46.5 and 50.5%, in a 4×4 Latin square experimental design repeated twice. The cows were fed with a TMR of corn-alfalfa silage and concentrate with a ratio of 60 forage: 40 concentrate. To achieve increasing levels of NDF, part of the silage was replaced by corn stover. No effect on NDF, DMC and milk production was observed. However, CH<sub>4</sub> production and yield decreased ( $P < 0.0001$ ) as dietary NDF concentration increased (421, 409, 362, and 336 l CH<sub>4</sub>/day and 32.1, 28.1, 23.1, and 21.3 l CH<sub>4</sub>/kg CMS respectively). Milk fat content was higher in cows fed the higher amount of fiber compared to the control treatment (3.95 vs 3.65 respectively). A decrease in DM digestibility was observed as NDF increased (73.6, 66.4, 62 and 58.5, respectively). The NDF digestibility explained better ( $P < 0.0001$ ) the CH<sub>4</sub> variability than the DM digestibility (Pearson's correlation coefficient= 0.89 vs 0.54, respectively). The increase in the fiber content in the diets of the cows, in the present study, reduced the digestibility of DM and fiber, which suggests a reduction of the digestible substrate in the rumen and, therefore, of the CH<sub>4</sub> emission.

**Keywords:** Fiber, methane, digestibility, milk.

**Resumen.** El presente estudio evaluó el efecto de niveles crecientes de fibra en la dieta (>40% de fibra detergente neutra; FDN) y su digestibilidad sobre el CMS, la producción y composición de la leche, y la emisión de CH<sub>4</sub> de vacas lecheras en lactación. Ocho vacas Holstein fueron asignadas aleatoriamente a cuatro tratamientos con diferentes niveles de FDN en la dieta = 40.2, 43.3, 46.5 y 50.5%, en un diseño experimental de cuadrado latino 4×4 repetido dos veces. Las vacas se alimentaron con una TMR de ensilado de maíz-alfalfa y concentrado con una proporción 60 forraje: 40 concentrado. Para alcanzar niveles crecientes de FDN, parte del ensilado se sustituyó por rastrojo de maíz. No se observó ningún efecto sobre la FDN, el CMS y la producción de leche. Sin embargo, la producción y rendimiento de CH<sub>4</sub> disminuyeron ( $P < 0.0001$ ) a medida que aumentaba la concentración de FDN en la dieta (421, 409, 362 y 336 l CH<sub>4</sub>/día y 32.1, 28.1, 23.1 y 21.3 l CH<sub>4</sub>/kg CMS respectivamente). El contenido de grasa en la leche fue mayor en las vacas alimentadas con mayor cantidad de fibra comparado con el tratamiento de control (3.95 vs 3.65 respectivamente). Se observó una disminución de la digestibilidad de la MS a medida que aumentaba la FDN (73.6, 66.4, 62 y 58.5, respectivamente). La digestibilidad de la FDN explicó mejor ( $P < 0.0001$ ) la variabilidad del CH<sub>4</sub> que la digestibilidad de la MS (coeficiente de correlación de Pearson= 0.89 vs 0.54, respectivamente). El aumento del contenido de fibra en las dietas de las vacas, del presente estudio, redujo la digestibilidad de la MS y fibra, lo que sugiere una reducción del sustrato digestible en el rumen y, por tanto, de la emisión de CH<sub>4</sub>.

**Palabras claves:** Fibra, metano, digestibilidad, leche.

<sup>1</sup> Centro Universitario Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>2</sup> Autor de correspondencia: [oacastelano@uaemex.mx](mailto:oacastelano@uaemex.mx)

## Efeito da digestibilidade da fibra na emissão de metano, produção e qualidade do leite em bovinos leiteiros

**Resumo.** O presente estudo avaliou o efeito de níveis crescentes de fibra dietética (>40% fibra em detergente neutro; FDN) e sua digestibilidade sobre o DMC, produção e composição do leite e emissão de CH<sub>4</sub> de vacas leiteiras em lactação. Oito vacas holandesas foram distribuídas aleatoriamente em quatro tratamentos com diferentes níveis de FDN na dieta = 40,2, 43,3, 46,5 e 50,5%, em um delineamento experimental em quadrado latino 4x4 repetido duas vezes. As vacas foram alimentadas com TMR de silagem de milho-alfafa e concentrado na proporção de 60 forragem: 40 concentrado. Para atingir níveis crescentes de FDN, parte da silagem foi substituída por palha de milho. Não foi observado efeito sobre FDN, CMS e produção de leite. No entanto, a produção e o rendimento de CH<sub>4</sub> diminuíram ( $P < 0,0001$ ) com o aumento da concentração de FDN na dieta (421, 409, 362 e 336 l CH<sub>4</sub>/dia e 32,1, 28,1, 23,1 e 21,3 l CH<sub>4</sub>/kg CMS, respectivamente). O teor de gordura do leite foi maior nas vacas alimentadas com a maior quantidade de fibra em comparação com o tratamento controle (3,95 vs 3,65, respectivamente). Observou-se diminuição da digestibilidade da MS com o aumento da FDN (73,6, 66,4, 62 e 58,5, respectivamente). A digestibilidade da FDN explicou melhor ( $P < 0,0001$ ) a variabilidade do CH<sub>4</sub> do que a digestibilidade da MS (coeficiente de correlação de Pearson = 0,89 vs 0,54, respectivamente). O aumento do teor de fibra nas dietas das vacas, no presente estudo, reduziu a digestibilidade da MS e da fibra, o que sugere redução do substrato digestível no rúmen e, portanto, da emissão de CH<sub>4</sub>.

**Palavras-chave:** Fibra, metano, digestibilidade, leite.

### Introducción

La cantidad de metano entérico (CH<sub>4</sub>) producido por un rumiante está influenciada por diversos factores como la dieta y su composición química (Charmley *et al.* 2016; Hammond *et al.* 2014; Piñeiro-Vázquez *et al.* 2017), el animal en sí mismo (Nkrumah *et al.* 2006), y el medio ambiente (McAllister *et al.* 1996). Uno de los factores relacionados con la dieta que afectan la producción de CH<sub>4</sub> es su contenido en fibra detergente neutro (FDN). Su importancia como predictor de CH<sub>4</sub> fue destacada por primera vez por Moe y Terryll (1979) a través de un modelo empírico que incluye como variables las fracciones de la fibra ( $\text{CH}_4 \text{ (MJ/d)} = 3.38 + 0.51 * \text{Carbohidratos no fibrosos} + 2.14 * \text{Hemicelulosa} + 2.65 * \text{Celulosa}$ ). Estudios posteriores empezaron a utilizar la fibra dietética para explicar y predecir la formación y emisión de CH<sub>4</sub> tanto en ovino como en vacuno (Ellis *et al.* 2007, 2009, Patra 2017). En esta forma, un contenido mayor de fibra en la dieta es asociado a mayor pérdida de energía en forma de CH<sub>4</sub>, la cual es más alta en sistemas de producción de clima tropical (Kennedy and Charmley, 2012). Sin embargo, mediciones de emisiones de CH<sub>4</sub> por fermentación entérica en bovino llevadas a cabo regiones de clima tropical de México (mediante cámaras de respiración de circuito abierto) han mostrado que las vacas alimentadas con dietas de baja calidad

(Digestibilidad = 50% y FDN > 70%) pierden menos energía en forma de CH<sub>4</sub> ( $Y_m = 4.92\%$ ) (Piñeiro-Vázquez *et al.* 2017); que las vacas en regiones de clima templado del país que reciben dietas de mejor calidad (digestibilidad = 68%, FDN = 34% y  $Y_m = 8.7\%$ ) (Castelán-Ortega *et al.* 2020). Estos resultados difieren de los modelos antes mencionados, ya que se esperaría mayor emisión de CH<sub>4</sub> en el trópico, debido probablemente a que dichos modelos fueron elaborados a partir de dietas experimentales cuyo contenido en fibra varía en un pequeño rango cercano a lo recomendado por diferentes sistemas de alimentación, como el NRC (FDN entre 25 y 35% para ganado lechero). En consecuencia, la precisión predictiva de CH<sub>4</sub> podría verse comprometida fuera de ese rango y cuando los forrajes son de baja calidad. Por otro lado, es sabido que la fibra en la ración de ganado de leche sí bien es un componente fundamental (Allen, 1991), es también un factor limitante para la capacidad de ingesta y la digestibilidad del alimento. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de niveles crecientes de fibra en una dieta de ganado de lechero mayores a lo recomendado en el NRC sobre 1) el consumo y la digestibilidad del alimento 2) producción de leche y 3) emisión de CH<sub>4</sub>.

### Materiales y Métodos

Los animales fueron tratados de acuerdo a las directrices de experimentación en animales, de la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Estado de México (FMVZ-UAEMex), y fueron desparasitados y se encontraban clínicamente

sanos al inicio del experimento. El trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Ganadería, Medio Ambiente y Energías Renovables de la FMVZ-UAEMex ubicado en Toluca a 19°41' Norte y 99°68' Oeste.



### Animales y tratamientos

Ocho vacas primíparas de raza Holstein fueron utilizadas, al inicio del experimento los animales estaban en el día 112±38 postparto, tenían un peso vivo (PV) de 443±28 y producían 15.8±3 l/d de leche. Las vacas fueron asignadas aleatoriamente a un diseño de Cuadrado Latino repetido 4×4×2, para evaluar cuatro tratamientos con niveles crecientes de FDN: Tratamiento A = 37.8% FDN, tratamiento B = 41% FDN, dieta C = 44.3% FDN y dieta D = 46.8% FDN. Los ingredientes que componen las dietas y la composición química se presentan en el Cuadro 1. La relación forraje:concentrado de las dietas en los tratamientos fue de 65:35. Los tratamientos fueron preparados diariamente y el tratamiento A contenía ensilado mixto de maíz+alfalfa (50:50%) y concentrado. Para alcanzar los niveles crecientes de FDN en los tratamientos una parte del ensilado fue sustituida por rastrojo de maíz (RaMa). En cada periodo experimental del cuadrado latino los animales pasaron por una fase de adaptación a las dietas

durante 20 días, seguida por una fase de medición de cuatro días. Durante la adaptación las vacas fueron alojadas en estabulación individual y luego transferidas a una cámara de respiración de circuito abierto, tipo head-box como describe Castelán-Ortega *et al.* (2020), en donde se midió la emisión de CH<sub>4</sub>. Antes de iniciar la medición, las vacas fueron equipadas con una bolsa de plástico en forma de tubo alrededor de la vagina que termina en un garrafón para recolectar orina durante 24 h. Como las vacas fueron ordeñadas dos veces al día (0600h y 1500h), la corrida de medición de CH<sub>4</sub> se pausó a las 0600h y a las 1500h durante 30 minutos, en cada ocasión, para ordeñar a las vacas. Las vacas fueron pesadas el día de la medición, después de la ordeña de la mañana. Durante todo el experimento, los animales fueron alimentados *ad libitum*, de forma que la oferta de cada día equivale al 110% del consumo del día anterior. De igual manera, los animales tenían un libre acceso al agua. El rechazo fue recogido cada día antes de distribución matutina del alimento y pesado.

**Cuadro 1.** Ingredientes y composición química de las cuatro dietas experimentales

	Trat. A	Trat. B	Trat. C	Trat. D
<b>Ingredientes (g/kg MS)</b>				
Ensilado de maíz/alfalfa	620.6	549.1	484.8	426.4
Rastrojo de maíz	-	91.1	173.2	247.6
Maíz molido	184.8	175.2	166.6	158.7
Pasta de soya	75.9	72.0	68.4	65.2
Canola	56.2	53.2	50.6	48.2
salvado	55.8	52.9	50.3	47.9
Suplemento mineral-vitaminico	6.8	6.5	6.2	5.9
<b>Composición química (Media±DE)</b>				
MS (%)	54.1±0.3	55±2.1	56.3±1.23	60.3±0.78
MO (g/kg MS)	915.4±18.5	927.1±14.2	923.8±12.6	923.2±12
PC (g/kg MS)	162±2.1	159.8±15.9	158.8±1.79	158.1±2.35
FDN (g/kg MS)	401.8±12.7	433.4±3.72	464.8±3.97	504.7±8.81
FDA (g/kg MS)	2441±6.1	282.1±6.43	310.5±7.24	347.3±19
LIG (g/kg MS)	31.7±8.1	39.4±4.84	52.9±6.97	58.8±9.2
CEL (g/kg MS)	213.1±16.4	242.6±7.83	257.6±8.55	288.4±24.4
HEM (g/kg MS)	157±15.4	151.4±10	154.3±9	157.5±18.7
NFC (g/kg MS)	326.9±16.8	310.4±14.4	281.2±29.2	240.4±34.5
EE (g/kg MS)	24.6±3.8	23.4±3.33	19.8±0.97	20±1.04
EB (g/kg MS)	17.07±0.4	16.95±0.58	16.97±0.67	16.61±0.95

### Muestro y análisis

El alimento fue muestreado cada día durante la fase de medición, después de hacer la mezcla. Las muestras fueron, después, congeladas a -5°C hasta su posterior análisis. Se determinó el porcentaje de la materia seca (MS) dejando la muestra de alimento en estufa de aire forzado a 55°C durante 48 h (método n° 7.007, AOAC 1980), Proteína Cruda (PC = N\*6.25; método n° 990.03), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Fibra detergente Ácido

(FDA; Van Soest *et al.* 1991), Lignina (Goering y Van Soest, 1970), Cenizas (CNZ) en una mufla a 530°C (método 942.05, AOAC 2000). El porcentaje de materia orgánica en la dieta fue determinado restando el porcentaje de CNZ del 100% de la MS de la dieta. La concentración de energía bruta (EB) en la dieta fue determinado mediante una bomba calorimétrica adiabática (Parr, Illonois, EEUU). La materia fecal generada cada día en la cámara fue pesada y luego se



tomó una muestra del 10% del total y se guarda a -5°C. Previo a su análisis se hizo un pool para cada tratamiento y se tomó una alícuota del 10% para su análisis químico. De igual forma que las muestras de alimento, las muestras de heces fueron analizadas para su contenido en MS, PC, FDN, FDA, CNZ y EB para determinar tanto la digestibilidad aparente de la MS, de la energía y de los nutrientes (PC, FDN, FDA, MO) según la técnica de recolección de heces descrita por Schneider y Flatt (1975). El volumen de la orina producida en 24 h fue medido y se tomó una muestra para análisis, para evitar la volatilización del nitrógeno (N) en la orina, agregamos un 10% de ácido sulfúrico y la muestra fue congelada a -5°C hasta su posterior análisis. El contenido de EB de la orina fue estimado asumiendo que un gramo de N genera un calor de combustión equivalente a 9 kJ (Street *et al.*, 1964). Después del análisis de heces y de la orina, la concentración de energía digestible en la dieta fue calculada restando del consumo de la energía bruta (EBi), y la energía perdida en las heces. En el mismo sentido, la concentración de la energía metabolizable de la dieta fue estimada restando la energía perdida en las heces, en la orina y en forma de CH<sub>4</sub> de la EBi. La producción diaria de CH<sub>4</sub> fue convertida a energía asumiendo que 1 g de CH<sub>4</sub> equivale a 55.22 kJ (Brouwer, 1965). La cantidad de leche producida fue medida todos los días al momento de la ordeña. Durante la fase de medición, se tomó una muestra de cada ordeña diaria y se guardó a 4°C. La composición de leche (Lactosa, Proteína, Grasa y Sólidos no grasos) fue determinada mediante un analizador de leche de infrarrojo cercano.

## Resultados y Discusión

Las dietas fueron formuladas para contener niveles de FDN crecientes sustituyendo el ensilado de maíz y alfalfa por el RaMa. El rastrojo de maíz es un subproducto de baja calidad (NDF = 720 g/kg MS, PC = 60 g/kg MS y digestibilidad de 48%, datos no reportados) y su inclusión creciente en la dieta tuvo un efecto diluyente sobre el contenido proteico de la dieta (Cuadro 1). En contraste, conforme incrementó el porcentaje de RaMa en la dieta, el porcentaje de lignina en la misma aumentó (3.2, 3.9, 5.3 y 5.9% para las dietas A, B, C y D, respectivamente).

### Consumo y digestibilidad

El efecto del contenido en FDN en la dieta sobre el PV de los animales, así como el consumo y la digestibilidad de la dieta y de los nutrientes se muestra en el Cuadro 2. Como era de esperar, el consumo de la fibra (FDN, FDA, lignina y celulosa) incrementó conforme aumentó la inclusión de RaMa en la dieta (P = 0.0008, 0.0003, <0.0001 y 0.001, respectivamente), sin afectar el consumo total de los carbohidratos no fibrosos (CNF).

### Medición de CH<sub>4</sub> entérico

Se empleó una cámara de respiración de circuito abierto del tipo head-box. El aire dentro de la cámara fue succionado con un generador de masa y flujo a una potencia de 500 L/min para generar una presión negativa dentro de la cámara. Del total del aire succionado, una muestra por segundo fue tomada y enviada a un analizador infrarrojo de CH<sub>4</sub> (MA-10). Antes de cada corrida, el analizador fue calibrado con dos tipos de gases: N<sub>2</sub> puro para determinar el punto cero y una mezcla de gas que contiene CH<sub>4</sub> en un porcentaje 0.099%. La medición de CH<sub>4</sub> se realizó en corridas de 24 h. Los datos del porcentaje de CH<sub>4</sub> fueron capturados en una computadora mediante un software (ExpeData), y luego convertidos a litros de metano por día. El equipo de medición es fabricado por Sable Systems International, Las Vegas, Nevada, EEUU.

### Análisis estadístico

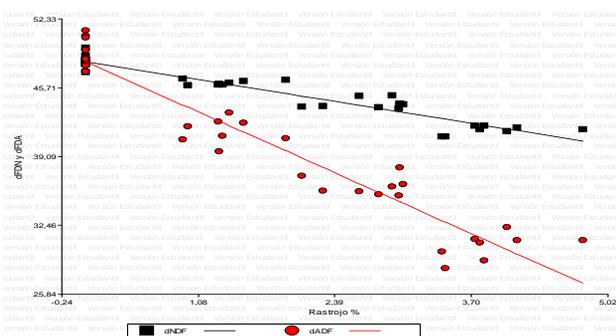
Los datos de consumo, digestibilidad, producción y composición de leche y producción de metano fueron analizados mediante el procedimiento PROC MIXED en el paquete estadístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ij(k)m} = \mu + SQ_m + P(SQ)_{im} + A(SQ)_{jm} + T_{(k)} + e_{ij(k)m}$$

Donde  $Y_{ij(k)m}$  es la variable respuesta,  $\mu$  es la media general,  $SQ_m$  es el efecto del cuadro ( $m = 1$  u  $2$ ),  $P(SQ)_{im}$  es el efecto del periodo  $i$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) dentro del cuadro  $m$ ,  $A(SQ)_{jm}$  es el efecto del animal  $j$  ( $j = 1, \dots, 4$ ) dentro del cuadro  $m$ ,  $T_{(k)}$  es el efecto del tratamiento  $k$  ( $k = 1, \dots, 4$ ) y  $e_{ij(k)m}$  es el error residual.

El RaMa es el responsable de la caída de la calidad de los tratamientos B, C y D pues la DMS se redujo 21% (P<0.0001) en el tratamiento D, de mayor inclusión de RaMa, en comparación con el tratamiento A, libre de rastrojo. De otro lado, el aumento de la fibra en las dietas desde 40% hasta 50% de FDN no limitó el CMS. Generalmente, el mayor contenido de fibra en la dieta se asocia con menor ingestión de la misma (Allen, 2000). No obstante, Einarson *et al.* (2004) demostraron que la calidad química de la fibra no se puede considerar como el único factor determinante del consumo, siendo el tamaño de partícula más importante. El RaMa empleado fue molido a un tamaño de 8 mm, por lo cual, creemos que su tamaño de partícula no estaba lo bastante grande como para ejercer el efecto físico de llenado en el rumen y limitar así el consumo. Por otro lado, la reducción de la DMS en los tratamientos B, C y D resultó en un consumo compensatorio de esas dietas, de forma que la cantidad de MS digestible ingerida al final es igual en todos los tratamientos (MSDi, Cuadro 2). En forma similar, Wang *et al.* (2014)

observaron un consumo compensatorio en dietas a base RaMa y paja de arroz en comparación con dieta a base de alfalfa, para alcanzar una ingesta de energía digestible similar en las tres dietas. En proporción al PV de los animales, observamos que el consumo de materia seca tendió a aumentar conforme aumentó el nivel de RaMa en la dieta ( $P=0.06$ ), hasta un máximo de 3.5%. La digestibilidad de las dietas presentó una reducción lineal significativa ( $P<0.0001$ ) con el aumento de la fibra. Eso se explica por el estado de lignificación del RaMa usado ( $LIG = 9.5\%$ ) que se refleja en su digestibilidad que está alrededor de 49% (dato no reportado en las tablas). De igual forma que la digestibilidad de la MS, la digestibilidad de la MO, de fibra y de PC se redujo linealmente con el aumento del rastrojo en la dieta. La Figura 1 muestra la relación lineal entre el porcentaje del rastrojo en la dieta y la digestibilidad tanto de la FDN como de la FDA y se puede observar que la disminución de la digestibilidad es más marcada en la FDA que en la FDN, ya que por cada porcentaje de rastrojo más en la dieta la dFDN baja 1.6% y la dFDA 4.45%.



**Figura 1.** Relación entre el porcentaje de RaMa en la dieta y la digestibilidad de la FDN ( $dFDN \% = 48.2 - 1.6 \times \% \text{ de rastrojo}$ ;  $R^2 = 0.90$ ) y la digestibilidad de la FDA ( $dFDA \% = 48.2 - 4.45 \times \% \text{ de rastrojo}$ ;  $R^2 = 0.91$ ).

### Producción y calidad de leche

Los ingredientes de la dieta que afectan la digestibilidad de la misma pueden tener impacto sobre la producción y la calidad de la leche (Weiss et al. 2009). En el presente estudio, la producción diaria de leche no se vio afectada por el aumento de la fibra en la dieta, a pesar de la disminución de la digestibilidad. Esto se debe a que las vacas en todas las dietas tuvieron una ingesta igual de energía digestible (Cuadro 2). Sin embargo, el porcentaje de grasa en la leche aumentó con la fibra, lo cual está relacionado con mayor concentración en el rumen de ácidos grasos volátiles precursores de lipogénesis, principalmente acético y butírico (Casse et al. 1993). De otro lado, el porcentaje de la proteína en la leche tiende a disminuirse con el aumento de la fibra. Su porcentaje en la leche es generalmente asociada con el aporte de la dieta en

proteína metabolizable (NRC 2001), que a su vez presentó una tendencia ( $p \text{ valor} = 0.09$ ) a disminuirse cuanto más rastrojo en la dieta (Cuadro 3).

**Emisión de metano:** El Cuadro 4 resume los datos de la producción de  $CH_4$  por las vacas, se observa que la producción diaria de  $CH_4$  (l/d) fue similar entre tratamientos, sin embargo, el rendimiento en  $CH_4$  (l/kg MS ingerida) y el porcentaje de energía perdida en forma de  $CH_4$  (Ym) disminuyeron significativamente ( $P \text{ valor} < 0.0001$ ) con la disminución de la calidad de la dieta (menor digestibilidad y mayor contenido fibroso), desde 31 hasta 21 l/kg MSI para el rendimiento  $CH_4$  y desde 7.4 hasta 5% para Ym. En un estudio de meta-análisis basado en 35 trabajos de investigación sobre emisión de  $CH_4$  por el ganado en diferentes zonas tropicales de la India y de Brasil (Patra, 2015), el rendimiento de  $CH_4$  puede oscilar entre 9 y 60 l/kg MSI, con un promedio de alrededor de 26 l/kg MSI y Ym entre 2 y 10.6% con un promedio de 5.8%. En comparación, otros trabajos meta-analíticos en Europa (Yan et al. 2009) y Norte América (Ellis et al. 2007), donde la calidad de la dieta es alta, se reportaron datos de rendimiento de  $CH_4$  entre 31.3 y 37.6. Éstos últimos se acercan más al resultado dado por la dieta A, la cual contiene menor FDN y mayor digestibilidad. Conforme baja la calidad de las dietas B, C y D, el rendimiento de  $CH_4$  y el Ym se asemeja más a lo reportado por Patra (2015). En México, Piñero-Vázquez (2017) encontró que en el trópico las vacas que comen una dieta de 67% de FDN producen por cada kg de dieta (MS) 19.5 l, perdiendo así 5.2% de la EBI en forma de  $CH_4$ . Lo cual, concuerda con lo observado en los tratamientos C y D que representan las dietas más fibrosas en nuestro estudio (Cuadro 4).

La disminución de la emisión de  $CH_4$  por unidad de alimento ingerido se explica por la reducción en la calidad de la dieta. El  $CH_4$  es un producto de la fermentación ruminal y la reducción de la digestibilidad de la MS y de los carbohidratos estructurales significa menor sustrato digestible, lo que conllevó a menor fermentación por unidad de alimento consumido (Patra 2015). Como ejemplo, Kurihara et al. (1999) estudiaron la producción de  $CH_4$  con dos pastos, heno *Dicanthium aristatum* (55% de dFDN) y heno de *Chloris gayana* (69% de dFDN) y observaron que tanto la producción diaria de  $CH_4$  como el rendimiento  $CH_4$  son más bajos con *Dicanthium aristatum* que con *Chloris gayana* (158 vs. 360 l/d y 44 vs. 51 l/kg MSI, respectivamente). Por otro lado, aunque el Ym disminuye con el aumento del nivel de fibra en la dieta (Cuadro 4), este Ym incrementa con el aumento de la parte digestible de la fibra. Un trabajo reciente (Kume, 2016) destacó también que la producción de  $CH_4$  se explica mejor con la digestibilidad de la fibra que con su contenido en la dieta.

**Cuadro 2.** Peso vivo (kg) y metabólico (kg) y consumo de materia seca y de nutrientes (kg/d) de los cuatro tratamientos

	Dietas experimentales				EEM	P valor	Contraste		
	A	B	C	D			Lineal	Cuadr.	Cub.
<b>PV</b>	441.1	440.8	431.2	447.5	10.12	NS	NS	NS	NS
<b>PV<sup>0.75</sup></b>	96.21	96.14	94.58	97.18	1.93	NS	NS	NS	NS
<b>Consumo (kg/d)</b>									
<b>CMS</b>	13.45	14.34	15.44	15.65	0.81	NS	0.016	NS	NS
<b>CMS%PV</b>	2.92	3.22	3.55	3.50	0.19	0.06	0.017	NS	NS
<b>MOi</b>	11.79	13.29	13.89	14.43	0.73	0.07	0.017	NS	NS
<b>PCi</b>	2.50	2.48	2.32	2.11	0.13	NS	0.026	NS	NS
<b>FDNi</b>	5.14c	6.20bc	7.17ab	7.90a	0.36	0.0008	0.0001	NS	NS
<b>FDAi</b>	3.10c	4.05bc	4.78ab	5.44a	0.27	0.0003	<.0001	NS	NS
<b>LIGi</b>	0.41b	0.58b	0.83 <sup>a</sup>	0.92a	0.05	<.0001	<.0001	NS	NS
<b>CELi</b>	2.69c	3.46bc	3.96ab	4.53a	0.24	0.001	0.0001	NS	NS
<b>HEMi</b>	2.06	2.16	2.40	2.47	0.14	NS	0.02	NS	NS
<b>CNFi</b>	4.28	4.45	4.42	3.78	0.24	NS	NS	NS	NS
<b>EBi</b>	219.9	241.8	262.2	261.5	14.1	NS	0.03	NS	NS
<b>Digestibilidad (%)</b>									
<b>dMS</b>	73.6a	68.3b	62.2c	57.9d	1.00	<.0001	<.0001	NS	NS
<b>dEB</b>	75.4a	69.2ab	62.5bc	58.6c	1.85	0.0001	<.0001	NS	NS
<b>dMO</b>	72.8a	67.4ab	61.4bc	58.5c	2.15	0.002	0.0003	NS	NS
<b>dFDN</b>	48.3a	46.2ab	44.2b	41.6c	0.50	<.0001	<.0001	0.06	NS
<b>dFDA</b>	49.1a	41.5b	36.3c	30.4d	0.44	<.0001	<.0001	0.07	NS
<b>dPC</b>	70.3a	69.5ab	68.9ab	68.7b	0.33	0.01	0.002	NS	NS
<b>MSDi</b>	9.58	9.84	9.70	9.10	0.51	NS	NS	NS	NS
<b>EDi</b>	167.3	167.9	165.3	152.4	9.35	NS	NS	NS	NS

PV: Peso vivo (kg), PV<sup>0.75</sup>: Peso metabólico (kg), CMS: Consumo de materia seca (kg/d), CMS%PV: consumo de materia seca en proporción el PV (%), MOi: Consumo de materia orgánica (kg/d), PCi: Consumo de proteína cruda (kg/d), FDNi: Consumo de FDN (kg/d), FDAi: Consumo de FDA (kg/d), LIGi: Consumo de Lignina (kg/d), CELi: Consumo de Celulosa (kg/d), HEMi: Consumo de Hemicelulosa (kg/d), CNFi: Consumo de CNF (kg/d), EBi: Consumo de EB (MJ/d), dMS: digestibilidad de materia seca (%), dEB: Digestibilidad de la EB (%), dMO: Digestibilidad de la MO (%), dFDN: digestibilidad de la FDN (%)

**Cuadro 3.** Producción y calidad de la leche en las cuatro dietas experimentales.

	Dietas experimentales				EEM	P valor	Contraste		
	A	B	C	D			Lineal	Cuadr.	Cub.
<b>Producción kg/d</b>									
<b>Leche</b>	16.1	17.9	16.9	17.1	2.32	NS	NS	NS	NS
<b>ECM<sup>a</sup></b>	16.9	17.2	19.5	19.8	1.86	NS	0.06	NS	NS
<b>Grasa</b>	0.56	0.66	0.62	0.67	0.09	0.09	NS	NS	NS
<b>Proteína</b>	0.54	0.60	0.58	0.59	0.08	NS	NS	NS	NS
<b>Composición %</b>									
<b>Grasa</b>	3.65b	3.67b	3.69ab	3.95a	0.04	0.03	0.01	NS	NS
<b>Proteína</b>	3.51	3.4	3.42	3.39	0.04	0.09	0.08	NS	NS
<b>SNG<sup>b</sup></b>	8.63	8.89	8.76	8.61	0.15	0.07	NS	0.02	NS
<b>Eficiencia<sup>c</sup></b>	1.21	1.15	1.17	1.12	0.11	NS	NS	NS	NS
<b>Conversión N<sup>d</sup></b>	0.26	0.25	0.25	0.24	0.02	NS	NS	NS	NS

<sup>a</sup> Leche corregida por energía = 0.3246 × leche (kg/d) + 13.86 × grasa (kg/d) + 7.04 × proteína (kg/d) (Orth, 1992).

<sup>b</sup> Sólidos no grasosos. <sup>c</sup> Eficiencia alimenticia = Leche (kg)/CMS (kg). <sup>d</sup> conversión de nitrógeno = proteína (kg)/PCI (kg).

**Cuadro 4.** Producción de metano por las vacas en las cuatro dietas experimentales

	Dietas experimentales				EEM	P valor	Contraste		
	A	B	C	D			Lineal	Cuadr.	Cub.
<b>CH<sub>4</sub> l/d</b>	409	405	381	390	21.3	NS	NS	NS	NS
<b>CH<sub>4</sub> l/kg MS</b>	32.1a	28.1b	23.1c	21.2d	0.43	<.0001	<.0001	NS	NS
<b>Ym</b>	7.41a	6.60b	5.36c	5.00d	0.09	<.0001	<.0001	NS	NS
<b>CH<sub>4</sub> l/kg leche</b>	28.9	30	20.2	21.2	3.81	NS	0.07	NS	NS

## Conclusiones

El uso del RaMa en la alimentación de ganado lechero en México conlleva a reducir la calidad de la dieta, manifestada en la baja digestibilidad y el alto contenido en fibra. Dicho incremento de fibra no limitó la ingesta de alimento, sin embargo, afectó negativamente el rendi-

miento de CH<sub>4</sub> y también partición de energía hacia CH<sub>4</sub>, de forma que al aumentar el nivel de FDN en una dieta de buena calidad de 40 a 50% redujo el Ym de 7.4 a 5%. En el presente estudio, la digestibilidad la fibra explica mejor la emisión de CH<sub>4</sub> que la digestibilidad de la materia seca.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no ha habido conflicto de interés.

## Literatura Citada

- Allen, M.S.; Piantoni, P. Carbohydrate Nutrition: Managing Energy Intake and Partitioning Through Lactation. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice* 2014, 30, 577–597, doi:10.1016/j.cvfa.2014.07.004.26.
- Castelán Ortega, O.A.; Pedraza Beltrán, P.E.; Hernández Pineda, G.S.; Benaouda, M.; González Ronquillo, M.; T Molina, L.; Ku Vera, J.C.; Montelongo Pérez, H.D.; Vázquez Carrillo, M.F. Construction and Operation of a Respiration Chamber of the Head-Box Type for Methane Measurement from Cattle. *Animals* 2020, 10, 227, doi:10.3390/ani10020227.
- Charmley, E.; Williams, S.R.O.; Moate, P.; Hegarty, R.; Herd, R.; Oddy, H.; Reyenga, P.; Staunton, K.; Anderson, A.; Hannah, M. A Universal Equation to Predict Methane Production of Forage-Fed Cattle in Australia. *Animal Production Science* 2016, 56, doi:10.1071/AN15365.
- Ellis, J.L.; Kebreab, E.; Odongo, N.E.; McBride, B.W.; Okine, E.K.; France, J. Prediction of Methane Production from Dairy and Beef Cattle. *Journal of dairy science* 2007, 90, 3456–3466, doi:10.3168/jds.2006-675.
- Goering, H.K.; Van Soest, P.J. Forage Fiber Analysis. *Agriculture handbook* 1970, 1–19.
- Hammond, K.J.; Pacheco, D.; Burke, J.L.; Koolaard, J.P.; Muetzel, S.; Waghorn, G.C. The Effects of Fresh Forages and Feed Intake Level on Digesta Kinetics and Enteric Methane Emissions from Sheep. *Animal Feed Science and Technology* 2014, 193, 32–43, doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.04.005.
- Kurihara, M.; Magner, T.; Hunter, R. A; McCrabb, G.J. Methane Production and Energy Partition of Cattle in the Tropics. *British Journal of Nutrition* 1999, 81, 227–234, doi:10.1017/S0007114599000422
- Kennedy, P.M.; Charmley, E. Methane Yields from Brahman Cattle Fed Tropical Grasses and Legumes. *Animal Production Science* 2012, 52, 225–239, doi:10.1071/AN11103.
- McAllister, T.A.; Cheng, K.-J.; Okine, E.K.; Mathison, G.W. Dietary, Environmental and Microbiological Aspects of Methane Production in Ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 1996, 76, 231–243, doi:10.4141/cjas96-035.
- Moe, P.W.; Tyrrell, H.F. Methane Production in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 1979, 62, 1583–1586, doi:10.3168/jds.S0022-0302(79)83465-7.
- Nkrumah, J.D.; Okine, E.K.; Mathison, G.W.; Schmid, K.; Li, C.; Basarab, J.A.; Price, M.A.; Wang, Z.; Moore, S.S. Relationships of Feedlot Feed Efficiency, Performance, and Feeding Behavior with Metabolic Rate, Methane Production, and Energy Partitioning in Beef Cattle. *J Anim Sci* 2006, 84, 145–153, doi:10.2527/2006.841145x.
- NRC Nutrient Requirements of Dairy Cattle; 2001; ISBN 978-0-309-06997-7.
- Patra, A.K. Prediction of Enteric Methane Emission from Cattle Using Linear and Non-Linear Statistical Models in Tropical Production Systems. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 2017, 22, 629–650, doi:10.1007/s11027-015-9691-7.



- Piñero-Vázquez, A.T.; Jiménez-Ferrer, G.O.; Chay-Canul, A.J.; Casanova-Lugo, F.; Díaz-Echeverría, V.F.; Ayala-Burgos, A.J.; Solorio-Sánchez, F.J.; Aguilar-Pérez, C.F.; Ku-Vera, J.C. Intake, Digestibility, Nitrogen Balance and Energy Utilization in Heifers Fed Low-Quality Forage and *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology* 2017, 228, 194–201, doi:10.1016/j.anifeedsci.2017.04.009.
- Street Joseph C., J.E. B. and L.E. H. Estimating Urine Energy from Urine Nitrogen. *Journal of Animal Science* 1964, 23, 1039–1041, doi:10.2527/jas1964.2341039x.
- Weiss, W.P.; St-Pierre, N.R.; Willett, L.B. Varying Type of Forage, Concentration of Metabolizable Protein, and Source of Carbohydrate Affects Nutrient Digestibility and Production by Dairy Cows. *J Dairy Sci* 2009, 92, 5595–5606, doi:10.3168/jds.2009-2247.
- Wang, B.; Mao, S.Y.; Yang, H.J.; Wu, Y.M.; Wang, J.K.; Li, S.L.; Shen, Z.M.; Liu, J.X. Effects of Alfalfa and Cereal Straw as a Forage Source on Nutrient Digestibility and Lactation Performance in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 2014, 97, 7706–7715, doi:10.3168/jds.2014-7961.
- Yan, T.; Porter, M.G.; Mayne, C.S. Prediction of Methane Emission from Beef Cattle Using Data Measured in Indirect Open-Circuit Respiration Calorimeters. *Animal: an international journal of animal bioscience* 2009, 3, 1455–1462, doi:10.1017/S175173110900473X.