



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



Determinación de la emisión de metano entérico de novillos Brahman en pastoreo en el ecosistema de bosque tropical seco de Costa Rica

Determination of Enteric Methane Emission from Grazing Brahman Steers in the Tropical Dry Forest Ecosystem of Costa Rica

Johnny Montenegro^a, Eduardo Barrantes^b y Nicolás DiLorenzo^c

- a Investigador en cambio climático y agricultura, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Costa Rica. jmontenegro@inta.go.cr
b Director de Investigación y Transferencia, Universidad Técnica Nacional (UTN), Sede Atenas, Costa Rica. ebarrantes@utn.ac.cr
c Assistant Professor, Department of Animal Sciences, North Florida Research and Education Center, University of Florida, USA. ndilorenzo@ufl.edu

Director y Editor:

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

Consejo Editorial:

Dra. Mónica Araya, Costa Rica Limpia, Costa Rica
Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica
Dr. Olman Murillo Gamboa, ITCR, Costa Rica
Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica
Dr. Arturo Sánchez Azofeifa. Universidad de Alberta-Canadá

Asistente:

Joseline Jimenez Brenes

Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)



Los artículos publicados se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (post print) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales, no se generen obras derivadas y se mencione la fuente y autoría de la obra.



Determinación de la emisión de metano entérico de novillos Brahman en pastoreo en el ecosistema de bosque tropical seco de Costa Rica

Determination of Enteric Methane Emission from Grazing Brahman Steers in the Tropical Dry Forest Ecosystem of Costa Rica

Johnny Montenegro^a, Eduardo Barrantes^b y Nicolás DiLorenzo^c

Recibido: 27 de abril, 2018. Aceptado: 22 de mayo, 2018. Corregido: 25 de mayo, 2018. Publicado: 1 de julio, 2018.

Resumen

Esta investigación se realizó con el fin de determinar la emisión de metano entérico en novillos Brahman que pastorearon diferentes especies de gramíneas no fertilizadas: pasto naturalizado, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu y *B. decumbens*, en el ecosistema del bosque tropical seco. En cada pasto se determinó la disponibilidad de materia seca, digestibilidad, proteína cruda, contenido de fibra y, para la emisión de metano, se utilizó la técnica de hexafluoruro de azufre (SF₆). La emisión diaria de metano por animal fue similar ($P > 0.05$) entre las especies de pastos (168.0 ± 6.2 , 178.8 ± 6.2 y 166.4 ± 6.2 g, para el natural, *B. brizantha* y *B. decumbens* respectivamente). De acuerdo con los niveles de consumo estimados, se detectaron diferencias en la cantidad de metano emitido por unidad de consumo de materia seca (CMS), la cual resultó mayor ($P < 0.01$) en pasto natural (21.8 ± 0.7 g CH₄ kg⁻¹ CMS) que en *B. brizantha* (19.6 ± 0.8 g de CH₄ kg⁻¹ CMS); un nivel intermedio se determinó con *B. decumbens* (20.3 ± 0.8 g de CH₄ kg⁻¹ CMS). La energía consumida emitida como metano y expresada como M_p presentó un rango entre 6.0 y 6.6 %, y, a medida que el consumo aumentó, la eficiencia de utilización de energía mejoró y disminuyó el factor de conversión, entendido como la relación entre la cantidad de metano emitido y el consumo de alimento, ambos expresados en términos de energía.

Palabras clave: Ganado de carne; metano; pastos tropicales; pastoreo; SF₆.

Abstract

This research was conducted to determine the actual enteric methane emission of Brahman steers grazing different unfertilized grass species in the tropical dry forest ecosystem: naturalized, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, and *B. decumbens* cv. Basilik. In each grass, availability of dry matter, digestibility, crude protein, and fiber content were determined; and for methane emission, the sulfur hexafluoride (SF₆) technique was used to measure it. The daily methane emission per animal was similar ($P > 0.05$) among grass species (168.0 ± 6.2 , 178.8 ± 6.2 and 166.4 ± 6.2 g, for natural, *B. brizantha* and *B. decumbens* respectively). According to estimated consumption levels, differences were detected in the amount of methane emitted per unit of dry matter intake (DMI), being higher ($P < 0.01$) in natural grass (21.8 ± 0.7 g CH₄ kg⁻¹ DMI) compared to that in *B. brizantha* (19.6 ± 0.8 g CH₄ kg⁻¹ DMI); intermediate level was determined with *B. decumbens* (20.3 ± 0.8 g CH₄ kg⁻¹ DMI). The consumed energy emitted as methane and expresses

a Investigador en cambio climático y agricultura, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Costa Rica. jmontenegro@inta.go.cr
b Director de Investigación y Transferencia, Universidad Técnica Nacional (UTN), Sede Atenas, Costa Rica. ebarrantes@utn.ac.cr
c Assistant Professor, Department of Animal Sciences, North Florida Research and Education Center, University of Florida, USA. ndilorenzo@ufl.edu



as Y_m had a range from 6.0 to 6.6; and it was clear that as consumption increased, the energy utilization efficiency improved and, therefore, decreased the conversion factor.

Keywords: cattle; grazing; methane; SF₆; tropical grasses.

1. Introducción

El metano (CH₄) es un gas con efecto invernadero (GEI) de gran importancia, dado que tiene un potencial de calentamiento 21 veces superior al CO₂ (IPCC, 2006). En la ganadería es producido, entre otras fuentes, en el tracto gastrointestinal de los rumiantes y denominado metano entérico, razón por la cual la ganadería bovina es considerada un contribuidor importante de las emisiones de GEI a nivel global.

La formación de metano no solo es un proceso necesario para mantener baja la concentración de H⁺ en el rumen, sino también para una eficiente fermentación. Ello se logra mediante la acción de microorganismos metanogénicos Archaea que reducen el CO₂ y producen el metano. En consecuencia, la producción de CH₄ es un proceso intrínseco de la fermentación ruminal y, de hecho, los rumiantes han evolucionado para utilizar celulosa y polisacáridos, por medio de su sistema de fermentación pregástrica que produce y libera CH₄ (Bodas *et al.*, 2012).

Se han reportado diferentes cantidades de metano liberado por el ganado y cuánto representa ello en términos de la emisión mundial: 16 % (Scheehle y Kruger, 2006), 28 % (Beauchemin *et al.*, 2008), y 32 % (Grainger *et al.*, 2007); el rango es muy amplio, lo cual ha sido reseñado por Herrero *et al.* (2011).

Factores como las condiciones climáticas, que influyen la calidad del recurso forrajero disponible y, consecuentemente, la respuesta de la población bovina, así como diferencias genéticas y de manejo del ganado y de las pasturas, pueden resultar en desviaciones significativas entre las estimaciones realizadas con la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) y la emisión real de metano proveniente del ganado bovino en el trópico, tal y como ha sido reseñado por Moura (2013). Existe, por lo tanto, la necesidad de cuantificar con precisión la emisión de metano de los sistemas de producción ganadera de nuestro país.

En el trópico, la ganadería bovina se basa en el uso casi exclusivo de gramíneas en pastoreo, las que, por su condición climática en esta región del mundo, tienden a madurar rápidamente; ello implica pérdida de calidad nutritiva y, consecuentemente, baja productividad animal, lo cual es típicamente asociado con grandes emisiones de CH₄ (Pinares-Patiño *et al.*, 2007b). De acuerdo con diferentes investigaciones (Kamra *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2010), ello podría explicarse porque la proporción de carbohidratos estructurales se incrementa con la edad. Por esta razón, los forrajes maduros tienen baja digestibilidad, incrementan el pH ruminal y con ello favorecen los microorganismos que degradan la fibra y, por lo tanto, se produce mayor cantidad de metano por unidad de forraje consumido (Pinares-Patiño *et al.*, 2007b).

En consecuencia, el consumo de pasturas con nuevos rebrotes, con baja concentración de carbohidratos estructurales, es favorable, no solo para mejorar la respuesta del animal (aumento de peso o producción de leche), sino también para el ambiente, ya que se mejora la eficiencia de



emisión, al reducirse la cantidad de metano emitido por unidad de producto animal obtenido (DeRamus *et al.*, 2003).

Existen pocas experiencias divulgadas y provenientes de países tropicales realizadas con ganado de carne en condiciones de pastoreo donde se haya determinado la emisión de CH₄ con la técnica del SF₆. En Brasil, Pedreira *et al.* (2009) con novillas ¾ Holstein × ¼ Cebú, de 373 ± 37 kg de peso, con pastoreo *Brachiaria decumbens* cv. Basilik sin fertilizar, determinaron 179 g de metano d⁻¹. En el mismo país, Primavesi *et al.* (2004), utilizando novillas Holstein × Cebú en pastoreo *Brachiaria decumbens* sin fertilizar, comprobaron que las emisiones de metano variaron entre 182 y 199 g d⁻¹, lo que es equivalente a emitir entre 66 y 72 kg de metano año⁻¹. Con novillos Nellore de 371 ± 38 kg de peso en pastoreo de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, Cota *et al.* (2014) encontraron 98 g de CH₄ d⁻¹.

En condiciones de estabulación y utilizando heno de *Brachiaria brizantha* de diferentes edades (15, 45 y 90 días, con una digestibilidad de materia seca de 64, 63 y 63 % respectivamente) con toros Nellore de 402 ± 52 kg de peso, Moyses (2007) en Brasil determinó 133, 138 y 134 g de CH₄ d⁻¹, dependiendo del tipo de heno. Del mismo modo, Neto *et al.* (2009), con ganado cruzado (500 kg PV) alimentado con heno de *Brachiaria brizantha* de baja calidad, registró 98 g de CH₄ d⁻¹ y Caliman (2012), proporcionando una mezcla de heno de *B. brizantha* y *B. decumbens* a toros jóvenes Nellore de 356 kg de peso, determinó la emisión de 144 g de CH₄ d⁻¹.

Con diferentes pastos tropicales en Australia, Kennedy y Charmley (2012), trabajando con ganado Brahman, comprobaron que la emisión de metano estaba en el rango de 5.0 a 7.2 % del consumo de energía bruta y que la cantidad de metano emitido por cada unidad de materia seca ingerida era variable entre las dietas, lo cual ha sido relacionado con la calidad nutricional (Chaves *et al.*, 2006).

En Costa Rica no se dispone de este tipo de información, por esta razón, la presente investigación se realizó con el objetivo de determinar la emisión de metano entérico proveniente de novillos Brahman en pastoreo, en tres diferentes especies de gramíneas (pasto natural (control), *Brachiaria brizantha* cv. Marandú y *Brachiaria decumbens*), en el ecosistema del bosque tropical seco.

2. Metodología

Este estudio se realizó siguiendo el procedimiento estándar de ética científica, que incluye el uso y cuidado de animales de experimentación de acuerdo con la Ley de Bienestar Animal N.º 7 451 del Servicio Nacional de Sanidad Animal (SENASA) de Costa Rica, y se llevó a cabo en la Universidad Técnica Nacional, Sede Atenas (450 m s.n.m.), Costa Rica, en un clima típico del ecosistema de bosque seco tropical, que tiene un promedio anual de 1 200 mm de lluvia y 25 °C.

La región presenta seis meses sin lluvia: de noviembre a abril, y esta evaluación se llevó a cabo de septiembre a noviembre de 2014, por lo que las estimaciones se refieren a la temporada de lluvias.

Los tratamientos fueron diferentes especies de pastos, los cuales se pastorearon secuencialmente de la siguiente manera: 1. NAT.: pastura naturalizada (control, compuesta por una mezcla de 40 % de *Brachiaria* spp, 40 % de *Axonopus* spp, 1 % de leguminosas y 19 % de malezas, todos en base seca (MS); 2. BRI.: *Brachiaria brizantha* cv. Marandú; y 3. DEC.: *B. decumbens*.



Los pastos no recibieron ningún tipo de fertilizante durante el experimento, así como tampoco en meses previos al inicio de esta investigación. Al momento del ingreso de los bovinos a la fase experimental, todas las pasturas tenían 35 días de rebrote.

Se usaron un total de 9 novillos Brahman de 2 años de edad (326 ± 37 kg de peso vivo) para el experimento, y se manejaron en un solo grupo. La carga animal en el tratamiento 1 representó el promedio nacional (0.9 Unidad Animal (UA) ha^{-1}) en Costa Rica, mientras que en los dos tratamientos restantes fue de 2.0 UA ha^{-1} .

Se establecieron dos fases para cada tratamiento, la primera fue la adaptación y consistió en 10 días de pastoreo; en la segunda fase (un solo aparto) se determinó la emisión de metano, lo cual se realizó diariamente durante 5 días consecutivos para cada novillo (de lunes a sábado), se intercambiaron los yugos a la misma hora todos los días. Además, muestras de aire del aparto donde los novillos pastoreaban se recolectaron diariamente para detectar los niveles normales de CH_4 y SF_6 en el ambiente durante cada período de muestreo. Estos valores se sustrajeron de los resultados obtenidos con las muestras de gas recogidas en los yokes.

Las variables determinadas fueron la emisión de metano, en gramos novillo $^{-1}$ día $^{-1}$, consumo estimado de materia seca y calidad del forraje en oferta: digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), proteína cruda (PC), fibra detergente ácida y neutra (FDA, FDN).

En las gramíneas se determinó la disponibilidad de biomasa, de acuerdo con el método de rango en peso seco (Haydock y Shaw, 1975) antes de la entrada de novillos. La misma determinación se realizó al finalizar el período de pastoreo, para determinar la biomasa residual en el aparto. El consumo de materia seca se estimó con base en la diferencia entre la disponibilidad inicial y final de la materia seca en el aparto pastoreado durante el período de medición de metano, y el valor obtenido se dividió por el número de animales y días de pastoreo (Dulau, 2007; Tomkins *et al.*, 2011).

Dado que la estimación del consumo se realizó una sola vez, el consumo de materia seca se simuló en el rango de 2 y 3 % del peso vivo, con el fin de estimar la variación que podría ocurrir en la determinación del factor de emisión de metano con diferentes niveles de consumo de forraje.

La calidad del forraje consumido se determinó a partir de la recolección, al azar, de muestras de pasto en oferta, que se secaron en un horno a 60 °C durante 48 horas para obtener la materia seca, y se molieron para obtener partículas de 2.0 mm para los análisis respectivos, los cuales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Piensos y Forrajes del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).

La técnica de hexafluoruro de azufre (SF_6 , Johnson *et al.*, 1994) fue utilizada para la determinación directa de metano entérico.

Cada día después de la recolección del yoke, la presión remanente en ellos se registró y neutralizó con nitrógeno puro. Las muestras de gases se analizaron en el Laboratorio de Suelos del INTA, utilizando un cromatógrafo de gases (GC, Agilent modelo 7 890 A, Santa Clara, CA, Estados Unidos) equipado con dos detectores: ionización de llama (FID) y captura de electrones (ECD).

Los datos se analizaron en un diseño completamente al azar con tres tratamientos (pastos) y nueve repeticiones (novillos). Las comparaciones de medias se realizaron con la utilización de la diferencia mínima significativa de Infostat (DiRienzo *et al.*, 2014) con el modelo: $Y_{ij} = \mu + T_i$



+ ϵ_{ij} , donde Y_{ij} es el CH_4 emitido (g d^{-1}), μ es el media general, T_i es el efecto del tratamiento, y ϵ_{ij} es el error experimental.

3. Resultados

3.1 Calidad nutricional, disponibilidad de biomasa y consumo

La concentración de PC (**Cuadro 1**) fue mayor para NAT en comparación con BRI ($P < 0.05$) y fue intermedia para DEC, no difirió de NAT o BRI ($P > 0.05$). Las concentraciones de FDN y FDA, y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) fueron similares en todos los tratamientos ($P > 0.05$), lo que indica que la calidad nutricional general fue similar en todos los tratamientos de pastoreo (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Promedio, error estándar de la media y valores de probabilidad para la composición de nutrientes de las pasturas consumidas por novillos Brahman en pastoreo en el ecosistema de bosque seco de Costa Rica

Variable ²	Tratamiento ¹				P
	NAT	BRI	DEC	EEP ³	
PC, %	9.9 ^a	9.1 ^b	9.4 ^{ab}	0.3	< 0.05
FDN, %	52.6 ^a	53.5 ^a	53.4 ^a	0.6	> 0.05
FDA, %	41.6 ^a	40.6 ^a	41.1 ^a	1.7	> 0.05
MO, %	91.6 ^b	89.9 ^a	90.2 ^a	0.2	< 0.05
DIVMS, %	57.8 ^a	59.0 ^a	63.1 ^a	4.2	> 0.05

Letras diferentes dentro de cada fila indica que sus valores difieren al nivel $P \leq 0.05$.

¹ NAT=pasto natural; BRI=*Brachiaria brizantha* cv. Marandú; DEC=*B. decumbens*.

² PC=proteína cruda, FDN=fibra neutro detergente, FDA= fibra ácido detergente, MO= materia orgánica, DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

³ Error estándar del promedio, n=5 muestras/tratamiento.

La biomasa disponible en las pasturas varió entre los tratamientos y, como se esperaba, fue mayor en los tratamientos con las especies mejoradas (**Cuadro 2**). Considerando que NAT representa una situación típica de los sistemas de producción de carne en la región en la que se realizó esta investigación, la adopción de especies forrajeras mejoradas como BRI o DEC puede aumentar significativamente la disponibilidad de materia seca, ya que la BRI y DEC presentaron 131 y 33 % más forraje disponible en comparación con NAT (**Cuadro 2**).

Aunque no fue posible realizar ningún análisis estadístico, debido a que solo se realizó una única medición de disponibilidad, esta sirve como referencia de la cantidad de forraje disponible al comienzo del ciclo de pastoreo. En las especies forrajeras mejoradas, los novillos presentaron mayor consumo que con la especie natural (**Cuadro 2**), y fue mayor ($P < 0.05$) con BRI (9.1 kg d^{-1}), mientras que NAT y DEC no difirieron ($P > 0.05$) entre ellos (7.7 y 8.2 kg d^{-1} , respectivamente). Sin embargo, en esto no influyó la calidad nutritiva del material en oferta, dado que esta fue similar entre las diferentes especies evaluadas (**Cuadro 1**).



Cuadro 2. Biomasa disponible (kg de MS ha⁻¹) y consumo estimado (kg día⁻¹ y cómo % de PV) en diferentes especies de gramíneas pastoreadas por novillos Brahman en el ecosistema de bosque seco de Costa Rica

Variable	Tratamiento ¹		
	NAT	BRI	DEC
Biomasa disponible, kg MS ha ⁻¹	1 663	3 841	2 205
Consumo ² , kg MS novillo ⁻¹ d ⁻¹	7.7	9.1	8.2
Peso vivo (PV), kg	321	324	327
CMS ³ , % PV	2.4	2.8	2.5

¹ NAT = pasto natural; BRI = *Brachiaria brizantha* cv. Marandú; DEC = *B. decumbens*.

² Promedio diario estimado, n = 9 novillos/tratamiento.

³ Consumo de materia seca como porcentaje del peso vivo

3.2 Emisión de metano

No hubo diferencias ($P > 0.05$) en la cantidad de metano entérico emitido, con un promedio de 171 g novillo⁻¹ d⁻¹ (**Cuadro 3**). Con base en estas mediciones, si se estiman las emisiones anuales de metano en las condiciones evaluadas, estas serían equivalentes a 61.3, 65.3 y 60.7 kg año⁻¹ para los tratamientos NAT, BRI y DEC, respectivamente; estos valores representan emisiones de metano que son 9.5, 16.5 y 8.5 % mayores que los valores anuales sugeridos por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2006). Sin embargo, se debe considerar que esta evaluación representa solo aproximadamente el 50 % del año que corresponde a la estación lluviosa y, por lo tanto, las estimaciones de la estación seca, cuando la disponibilidad de forraje y la calidad nutricional son limitantes, deben ser calculadas.

En cuanto a la cantidad de metano entérico emitido, no hubo diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos cuando esta se expresa en gramos por kg de MSC, MOC o PV, con valores que van desde 19.5 a 21.8, de 23.6 a 26.0 y de 0.51 a 0.56 respectivamente.

La eficiencia de la emisión de metano, definida como la cantidad de gas emitido por día por unidad de materia seca consumida, mejoró a medida que aumentó el consumo, es decir, la cantidad de metano emitido por kilogramo consumido disminuyó (**Cuadro 3**) cuando el consumo fue mayor (**Cuadro 2**).

Otra forma de expresar la emisión de metano en bovinos es mediante el término conocido como factor de conversión M_p (Y_m por sus siglas en inglés), que es la relación entre la cantidad de metano emitido y el consumo de alimento, ambos expresados en términos de energía de combustión (Lassey, 2007).

De acuerdo con los datos obtenidos en esta investigación, los valores de M_p fueron similares ($P > 0.05$) para los tres tratamientos evaluados (**Cuadro 3**), y al propuesto por el IPCC (2006). Sin embargo, teniendo en cuenta que el consumo de forraje se estimó por medición indirecta, los valores obtenidos se promediaron en cada nivel de consumo para desarrollar un análisis de correlación entre los valores de M_p con los niveles de consumo de forraje (**Figura 1**). La regresión polinomial mostró efecto significativo ($P < 0.001$), y demuestra que a medida que aumenta el consumo de forraje, el factor de conversión de metano disminuye (**Figura 1**).



Cuadro 3. Mínimos cuadrados, errores estándar de la media y valores de probabilidad para la emisión de metano entérico en novillos Brahman que pastorean diferentes forrajes en el ecosistema de bosque seco de Costa Rica

Variable ²	Tratamiento ¹			EEP ³	P
	NAT	BRI	DEC		
CH ₄ g d ⁻¹	168.0 ^a	178.8 ^a	166.4 ^a	6.2	> 0.05
CH ₄ kg novillo ⁻¹	61.3 ^a	65.3 ^a	60.7 ^a	2.3	> 0.05
g CH ₄ kg ⁻¹ CMS	21.8 ^b	19.6 ^a	20.3 ^a	0.6	< 0.001
g CH ₄ kg ⁻¹ CMO	24.1 ^a	26.0 ^a	23.6 ^a	1.4	> 0.05
g CH ₄ kg ⁻¹ PV	0.53 ^a	0.56 ^a	0.51 ^a	0.03	> 0.05
M _p % ⁴	6.6 ^a	6.0 ^a	6.1 ^a	0.3	> 0.05

Letras diferentes dentro de cada fila indica que sus valores difieren al nivel $P \leq 0.05$.

¹ NAT = pasto natural; BRI = *Brachiaria brizantha* cv. Marandú; DEC = *B. decumbens*.

² CMS= Consumo de materia seca, CMO = consumo de materia orgánica, PV = peso vivo

³ Error estándar del promedio, n = 9 novillos/tratamiento.

⁴ Mp = factor de conversión

Esta observación implica que a medida que aumenta el nivel de consumo, la energía incremental ingerida se usa de manera más eficiente y produce menos metano entérico por unidad de materia seca consumida. Este análisis mostró que por cada 0.1 de incremento en el consumo de materia seca expresada como un porcentaje del peso vivo, el valor de M_p se reduce 0.3 unidades.

Con base en la regresión descrita anteriormente, y considerando el tipo de animal utilizado en esta investigación, el CMS de 2.2 % del PV correspondería a un M_p de 7.2 %, equivalente a emisiones de aproximadamente 156 g de metano novillo⁻¹ d⁻¹.

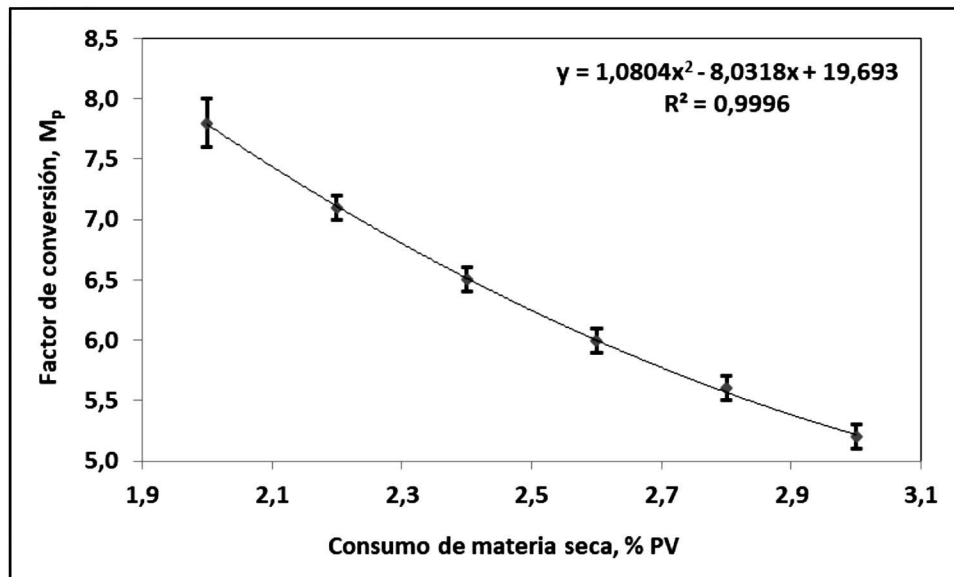


Figura 1. Relación entre el consumo diario de materia seca, como % del peso vivo (PV) y el factor de conversión de metano (M_p) estimado para novillos Brahman en pastoreo de gramíneas tropicales en el ecosistema de bosque seco de Costa Rica.



3.3 Variación diaria de metano emitido

La emisión promedio diaria de metano mostró variaciones no significativas durante el período de evaluación. Las determinaciones mostraron que la cantidad de metano emitido como promedio del grupo de novillos en pastoreo en BRI, con la excepción del primer día que mostró el mayor valor de emisión, tuvo solo pequeña variación diaria (**Figura 2**). Este patrón de emisión diaria de metano fue similar al determinado en cada uno de los otros dos tratamientos, donde también se observaron variaciones en la cantidad emitida (**Figura 2**), pero nuevamente sin diferencia estadística ($P > 0.05$) entre y dentro de las especies evaluadas.

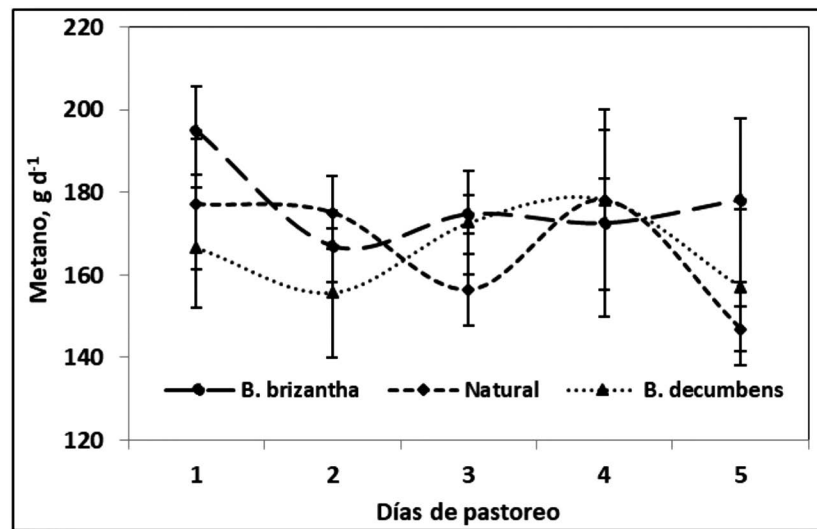


Figura 2. Dinámica de la emisión diaria de metano entérico en novillos Brahman pastoreados con diferentes gramíneas tropicales en el ecosistema de bosque seco de Costa Rica.

4. Discusión

La cantidad de metano emitido por novillos Brahman en este estudio, que varió entre 166 y 179 g d⁻¹ (**Cuadro 3**), es similar a los reportados por Caliman (2012), Moyses (2009), Primavesi *et al.*, (2004) y Pedreira *et al.*, (2009) en condiciones tropicales con pastoreo, o al proporcionar heno de gramíneas tropicales.

Por lo general, la cantidad de metano entérico emitido se ha relacionado con la calidad de la dieta (Berchielli *et al.*, 2012; McGeough *et al.*, 2010) y el nivel de ingesta (Berchielli *et al.*, 2012; Boadi y Wittenberg, 2002), donde el consumo de materia seca es uno de los principales factores que afectan la producción de CH₄ entérico (Buddle *et al.*, 2011), ya que el mayor consumo se relaciona con mayor velocidad de paso y, aunque se emite más metano por día, debido al mayor volumen ingerido, se emite menor cantidad de metano por unidad consumida (Pinares-Patiño *et al.*, 2003a, 2007a), por esta razón se requiere un buen estimado del consumo.

En esta investigación los forrajes evaluados tuvieron calidad nutritiva similar (**Cuadro 1**), probablemente debido al tiempo de rebrote que fue igual para todos los pastos, y esta puede ser la razón principal por la cual el metano emitido fue similar entre tratamientos. Las gramíneas



menos maduras, generalmente, tienen mayor digestibilidad que las que tienen una etapa avanzada de madurez, lo que conduce al aumento de las concentraciones de ácidos grasos volátiles en el rumen y, por lo tanto, un pH más bajo. En estas condiciones y cuando el pH está por debajo de 6.2, el crecimiento de microorganismos fibrolíticos es limitado, disminuye la producción de acetato y, en consecuencia, se reduce la emisión de metano (Pinares-Patiño *et al.*, 2007a).

En condiciones de pastoreo, los bovinos prefieren hojas a tallos, y material verde en lugar de forraje seco o muerto. En consecuencia, en cualquier pastura la relación hoja:tallo es importante, ya que influye directamente en el consumo de forraje y, cuando este valor se reduce, por lo general, hay una disminución en el consumo debido a la disminución en la calidad nutritiva del forraje disponible (DeRamus *et al.*, 2003). Por esta razón, conforme el pastoreo continúa en el tiempo (días), existe un descenso potencial en el consumo de forraje, y esto mermaría la emisión diaria de metano.

Esta condición podría explicar las variaciones observadas (Figura 2) y la tendencia general a disminuir la emisión de metano a medida que avanzaba el período de evaluación, dada la relación entre la ingesta y la emisión diaria total de metano (Andrade *et al.*, 2014; Caliman, 2012). Como resultado, la relación entre el consumo voluntario y el metano emitido por unidad de consumo sugiere que todas las prácticas asociadas con el aumento en el consumo de forrajes podría conducir a menor producción de metano por unidad de materia seca ingerida.

El mayor suministro de forraje tiende a aumentar el consumo voluntario y reduce el tiempo de retención en el rumen, promoviendo un uso más eficiente de la energía mientras reduce la proporción de energía de la dieta que se convierte en metano (Pinares-Patiño *et al.*, 2003a). Por lo tanto, al mejorar la calidad de la dieta, se puede aumentar la respuesta del animal en términos de aumento de peso o producción de leche, y reducir la cantidad de metano emitido por unidad de producto animal obtenido, lo que influye, marcadamente, en la menor intensidad de las emisiones de metano entérico por el ganado, como herramienta para mitigar su producción de metano entérico.

En consecuencia, el aumento del 57 % en la disponibilidad forrajera de *B. brizantha* en el tratamiento BRI (Cuadro 2) en relación con NAT, probablemente condujo a la disminución del 11 % en el metano emitido por unidad de materia seca consumida (Cuadro 3). Esto es consistente con lo informado anteriormente por Pinares-Patiño *et al.* (2003b) quienes determinaron que 60 % más de forraje disponible aumentó la emisión diaria de metano por animal, pero disminuyó en 23 % cuando se expresó por unidad de materia seca consumida.

Se podría haber esperado menor eficiencia en la emisión de metano en el tratamiento NAT, sin embargo, como se discutió anteriormente, la calidad nutricional de los pastos evaluados en esta investigación fue similar en todos los tratamientos (Cuadro 1) y esto, probablemente, se debió a que todas las especies tenían 35 días de rebrote. Quizás las prácticas de manejo conducentes a rotaciones más largas, y por lo tanto a más días de rebrote, habrían exacerbado las diferencias en la calidad, probablemente a favor de las especies forrajeras mejoradas sobre los pastizales nativos. Además, mayor cantidad de forraje disponible (como en BRI) pudo haber conducido a mayor ingesta y disminuido la cantidad de metano emitido por unidad de materia seca consumida, lo cual ha sido observado previamente (Pinares-Patiño *et al.*, 2003b; Sun *et al.*, 2011).



En cuanto a los factores de conversión de metano (M_p) obtenidos en esta investigación, son similares a los valores sugeridos por el IPCC (2006), y también a los reportados por Kennedy y Charmley (2012) con ganado Brahman en pastoreo de pasturas tropicales, en las cuales los valores de M_p presentaron un rango entre 5.0 y 7.2 %. Del mismo modo, Caliman (2012), con novillos Nellore, y Pedreira *et al.* (2009), con novillas Holstein × Cebu, mostraron valores de M_p en el rango de los obtenidos en este estudio.

5. Conclusiones

De acuerdo con las condiciones en que se realizó este estudio, se puede concluir que no hubo diferencias en la emisión diaria de metano entérico proveniente de novillos Brahman en pastoreo de tres gramíneas típicas utilizadas en los trópicos. Además, la calidad nutricional de los pastos ofrecidos fue similar y no influyó en la cantidad de metano emitido.

La cantidad de metano emitido por unidad de materia seca consumida varió entre las especies de pasto, tendiendo a aumentar la cantidad diaria total de metano emitido con el aumento en la ingesta de materia seca. Los factores de conversión de metano (M_p) determinados con las diferentes especies de gramíneas fueron similares a los sugeridos por el IPCC.

Si bien la estimación del consumo de forraje en condiciones de pastoreo continúa siendo un desafío para las investigaciones, los resultados de este estudio resaltan la necesidad de expresar las emisiones de metano en relación con la ingesta de materia seca determinada de una forma directa. Además, una evaluación cuidadosa de la calidad nutritiva de los pastos o con diferentes días de rebrote es imprescindible para determinar el efecto de la calidad sobre las emisiones de metano entérico.

Se debe explorar el uso de leguminosas como una posible opción de mitigación para mejorar la eficiencia de las emisiones. Finalmente, el uso de la técnica del SF₆ en condiciones de pastoreo en sistemas de forraje tropical permitió estimaciones razonables de las emisiones de metano, que están de acuerdo con las reportadas previamente para condiciones similares, y dentro del rango de las propuestas por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC).

6. Agradecimientos

Esta investigación fue realizada en el marco del Acuerdo interinstitucional entre el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA, Costa Rica) y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), en colaboración con la Universidad Técnica Nacional (UTN, Costa Rica), sede Atenas, con apoyo financiero parcial del PNUD-COSTA RICA (proyecto LECB-08317), que fue clave para desarrollar este proyecto de investigación. Finalmente, agradecemos a la revista y personas revisoras anónimas por sus comentarios a la versión final del documento.



7. Referencias

- Andrade, E. Ribeiro-Filho, H. De Liz, D. Almeida, J. Miguel, M. Raupp, G. Ramos, F. Almeida, E. (2014). Herbage intake, methane emissions and animal performance of steers grazing dwarf elephant grass with or without access to *Arachis pinto* pastures. *Tropical Grasslands*, 2, 4–5. doi: [10.17138/TGFT\(2\)4-5](https://doi.org/10.17138/TGFT(2)4-5)
- Beauchemin, K., Kreuzer, M. O'Mara, F. McAlister, T. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 21–27. doi: [10.1071/EA07199](https://doi.org/10.1071/EA07199)
- Berchielli, T. Messana, J. Canesin, R. (2012). Produção de metano entérico em pastagens tropicais, *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*, 13, 954–968. doi: [10.1590/S1519-99402012000400010](https://doi.org/10.1590/S1519-99402012000400010)
- Boadi, D. Wittenberg, K. (2002). Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulfur hexafluoride (SF6) tracer gas technique. *Canadian Journal of Animal Science*, 82, 201–206. doi: [10.4141/A01-017](https://doi.org/10.4141/A01-017)
- Bodas, R. Prieto, N. García-González, R. Andrés, S. Giráldez, F. López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 176, 78-93. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010)
- Buddle, B. Denis, M. Attwood, G. Altermann, E. Janssen, P. Ronimus, R. Pinares-Patiño, C. Muetzel, S. Wedlock, D. (2011). Review: Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pastures. *The Veterinary Journal*, 188, 11-17. doi: [10.1016/j.tvjl.2010.02.019](https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.02.019)
- Caliman, A. (2012). *Relação entre emissão de metano entérico e eficiência alimentar em bovinos Nelore*. Dissertação Teses Mestre em Produção Animal Sustentável, Instituto de Zootecnia. APTA/SAA.
- Chaves, A. Thompson, L. Iwaasa, A. Scott, S. Olson, M. Benchaar, C. Veira, D. McAllister, T. (2006). Effect of pasture type (alfalfa vs. grass) on methane and carbon dioxide production by yearling beef heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, 86, 409–418. doi: [10.4141/A05-081](https://doi.org/10.4141/A05-081)
- Cota, O. de Figueiredo, D. Branco, R. Magnani, E. do Nascimento, C. de Oliveira, L. Mercadante, M. (2014). Methane emission by Nelore cattle subjected to different nutritional plans. *Tropical Animal Health and Production*, 46, 1229-1234. doi: doi.org/10.1007/s11250-014-0632-3
- DeRamus, H. Clement, T. Giampola, D. Dickison, P. (2003). Methane emissions of beef cattle on forage: Efficiency of grazing management system. *Journal of Environmental Quality*, 32, 269-277. doi: [10.2134/jeq2003.2690](https://doi.org/10.2134/jeq2003.2690) o [10.2134/jeq2003.0269](https://doi.org/10.2134/jeq2003.0269)
- DiRienzo, J. Casanoves, F. Balzarini, M. Gonzáles, L. Tablada, M. Robledo, C. (2014). InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL. <http://www.infostat.com.ar>



- Dulau, D. (2007). *Estimación del consumo de bovinos en pastoreo. Comparación de distintos métodos* (Tesis de ingeniería agrícola). Universidad Nacional de La Plata, Argentina. www.produccion-animal.com.ar
- Grainger, C. Clarke, T. McGinn, S. Auld, M. Beauchemin, K. Hannah, M. Waghorn, G. Clark, H. Eckard, R. (2007). Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer and chamber techniques. *Journal of Dairy Science*, 90, 2755–2766. doi:10.3168/jds.2006-697.
- Haydock, K. Shaw, N. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15, 663–670. doi: 10.1071/EA9750663 o 10.1071/EA9750663c
- Herrero, M. Gerber, P. Vellinga, T. Garnett, T. Leip, A. Opio, C. Westhoek, H. Thornton, P. Olesen, J. Hutchings, N. Montgomery, H. Soussana, J-F. Steinfeld, H. McAllister, T. (2011). Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. *Animal Feed Sciences and Technology*, 166–167, 779–782. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.083
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Climate change 2006: The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Johnson, K. Huyler, M. Westberg, H. Lamb, B. Zimmerman, P. (1994). Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. *Environmental Science and Technology*, 28, 359–362. doi: 10.1021/es00051a025
- Kamra, N. Agarwal, N. Chaudhary, L. (2010). Effect of tropical feeds and plants containing secondary metabolites on methane emission by ruminants. *Tropical Animal Health and Production*, 1701, 1-23.
- Kennedy, P. Charmley, E. (2012). Methane yields from Brahman cattle fed tropical grasses and legumes. *Animal Production Science*, 52, 225-239. doi: 10.1071/AN11103
- Lasey, K. (2007). Livestock methane emission: From the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142, 120–132. doi: 10.1016/j.agrformet.2006.03.028
- McGeough, E. O’Kiely, P. Hart, K. Moloney, A. Boland, T. Kenny, D. (2010). Methane emissions, feed intake, performance, digestibility and rumen fermentation of finishing beef cattle offered whole-crop wheat silages differing in grain content. *Journal of Animal Science*, 88, 2703-2716. doi: 10.2527/jas.2009-2750
- Moura, M. (2013). *Greenhouse gas emissions from beef cattle grazing systems in Florida* (Tesis de maestría). University of Florida.
- Moisés do Nascimento, C. (2007). Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo *Brachia-ria brizantha* em diferentes estádios de maturação. Dissertação (Mestrado) Universidade



- de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Nutrição e Produção Animal.
- Neto, G. Berndt, A. Nogueira, J. Demarchi, J. Nogueira, J. (2009). Monensin and protein supplements on methane production and rumen protozoa in bovine fed low quality forage. *South African Journal of Animal Science*, 39 (Supplement 1), 280-283.
- Pedreira, M. Primavesi, O. Lima, M. Frighetto, R. Oliveira, S. Berchielli, T. (2009). Ruminal methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil. *Scientia Agricola* (Piracicaba,), 66, 742-750.
- Pinares-Patiño, C. Ulyatt, M. Lassey, K. Barry, T. Holmes, C. (2003a). Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. *The Journal of Agricultural Science*, 140, 205-214. doi: [10.1017/S0021859603003046](https://doi.org/10.1017/S0021859603003046)
- Pinares-Patiño, C. Ulyatt, M. Lassey, K. Barry, T. Holmes, C. (2003b). Persistence of differences between sheep in methane emission under generous grazing conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 140, 227-233. doi: [10.1017/S0021859603003071](https://doi.org/10.1017/S0021859603003071)
- Pinares-Patiño, C. Waghorn, G. Machmüller, A. Vlaming, B. Molano, G. Cavanagh, A. Clark, H. (2007a). Methane emissions and digestive physiology of non-lactating dairy cows fed pasture forage. *Canadian Journal of Animal Science*, 86, 601-613. doi: [10.4141/CJAS06023](https://doi.org/10.4141/CJAS06023)
- Pinares-Patiño, C. D'Hour, P. Jouany, J. Martin, C. (2007b). Effects of stocking rate on methane and carbon dioxide emissions from grazing cattle. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121, 30-46. doi: [10.1016/j.agee.2006.03.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.024)
- Primavesi, O. Shiraishi, R. dos Santos, M. de Lima, M. Berchielli, T. Barbosa, P. (2004). Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 39, 277-283. doi: [10.1590/S0100-204X2004000300011](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011)
- Scheehle, E. Kruger, D. (2006). Global anthropogenic methane and nitrous oxide emissions. *The Energy Journal*, 3, 33-44 (special issue). doi: [10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VolSI2006-NoSI3-2](https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VolSI2006-NoSI3-2)
- Sun, X. Hoskin, S. Zhang, G. Molano, G. Muetzel, S. Pinares-Patiño, C. Clark, H. Pacheco, D. (2011). Sheep fed forage chicory (*Cichorium intybus*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) have similar methane emissions. *Animal Feed Science and Technology*, 172, 217-225. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2011.11.007](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.11.007)
- Sun, X. Waghorn, G. Clark, H. (2010). Cultivar and age of regrowth effects on physical, chemical and in sacco degradation kinetics of vegetative perennial ryegrass (*Lolium perenne* L). *Animal Feed Science and Technology*, 155, 172-185. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2009.12.004](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.12.004)
- Tomkins, N. McGinn, S. Turnerc, D. Charmley, E. (2011). Comparison of open-circuit respiration chambers with a micrometeorological method for determining methane emissions from beef cattle grazing a tropical pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 240-247. doi: [10.1016/j.anifeedsci.2011.04.014](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.014)