

EMISIÓN DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA EN VACAS BAJO PASTOREO DE LECHERÍA TROPICAL

Sergio Abarca-Monge¹; Roberto Soto-Blanco¹; Cristóbal Villanueva-Najarro²

RESUMEN

Emisión de metano por fermentación entérica en vacas bajo pastoreo de la lechería tropical. La investigación se realizó de octubre de 2015 a abril de 2017, en una zona de Bosque Húmedo Transición a Muy Húmedo Premontano, con una precipitación anual que fluctúa entre los 2700 y los 3000 mm y una temperatura diaria promedio de 22,3°C. Se seleccionaron 16 vacas en producción las cuales se dividieron en tres grupos raciales, vacas Jersey (*Bos taurus*), híbridas *Bos taurus x Bos indicus* (F1 vacas Jersey x Gyr o Sahiwal) y un triple cruce (Jersey x Holsetin x Sahiwal). Se tomaron muestras un día cada 28 días durante 16 meses en una pastura de *Panicum maximum* var. Mombaza. La medición de metano (CH₄) se realizó mediante la técnica del hexafluoruro de azufre (SF₆). El consumo voluntario de materia seca (MS) se estimó mediante óxido crómico. Se observaron diferencias estadísticas para el periodo de lactancia entre las vacas F1 y la *B. taurus*. Las vacas del triple cruce se situaron en un nivel intermedio. Con respecto al periodo seco, los tres grupos mostraron diferencias en el consumo de materia seca. Las proporciones de pasto consumidas de la ingesta total fueron: 39,6; 48,6 y 43,0% para *B. taurus*, F1 y triple cruce, respectivamente. La emisión diaria de metano no presentó diferencias estadísticas entre grupos raciales para vacas lactando. Se observó para las vacas en periodo seco una reducción ($p < 0,01$) del triple cruce con respecto a los otros dos grupos raciales. Se estimó para el periodo de lactancia, un factor de conversión promedio de $6,5 \pm 1\%$ y para las vacas secas de $9,7 \pm 4,0$; $7,8 \pm 1,8$ y $6,6 \pm 1,8\%$ para *B. taurus*, F1 y triple cruce respectivamente, existiendo diferencias significativas entre el primero y el tercero, el segundo no se diferenció de los otros dos grupos.

Palabras claves: lechería tropical, emisión de metano, técnica del hexafluoruro de azufre.

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. INTA. Costa Rica. Investigadores. sabarca@inta.go.cr, rsoto@inta.go.cr

2 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Costa Rica. Investigador. cvillanu@catie.ac.cr

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica la producción bovina es la más difundida de las actividades agropecuarias y con la mayor área en uso agrícola bajo cobertura de pastizales (INEC 2015). Aporta aproximadamente el 20% de las emisiones del país, (2,3 millones de toneladas anuales de CO₂e) por sus procesos de producción y la principal fuente de emisión es la fermentación entérica (Abarca 2016).

La variación en la emisión de CH₄ de los bovinos depende de la proporción de energía que utilicen los microorganismos del rumen en sus procesos metabólicos e incorporen en su biomasa y la puedan liberar en forma de ácidos grasos, del total de energía consumida en los alimentos (Ribeiro *et al.* 2015); a esto se le conoce como energía digestible (ED), la cual es una proporción del total de energía contenida en los alimentos que se define como energía bruta (EB) (NRC 2001). Se estima que entre un 2 a un 12% de la EB contenida en los alimentos se pierde como CH₄ (Johnson y Johnson 1995).

En general, se considera que los pastos tropicales están asociados con mayores emisiones de

CH₄ por unidad de consumo de materia seca (DMI por sus siglas en inglés), que las gramíneas de zonas templadas debido a una mayor lignificación y menor tasa posterior de paso de la alimentación (Kurihara *et al.* 1999). De acuerdo con Archimède *et al.* (2011), realizaron un metanálisis de 22 estudios y concluyeron: que las emisiones de CH₄ fueron un 12% mayor para los rumiantes alimentados con pastos C4 (tropicales), que para aquellos alimentados con pastos C3 (templados). Su análisis empleó una variedad de técnicas, incluida la técnica del SF₆ y una gama de especies de ganado, incluyendo ovejas y cabras. Por otra parte, Charmley *et al.* (2016) trabajando solamente en ganado bovino, con cámaras metabólicas, mostraron claramente que la emisión de CH₄ de la fermentación entérica no fue mayor para el ganado *Bos indicus* alimentado con gramíneas C4, que la del ganado *Bos taurus* alimentado con pastos C3. Además, que la concentración de EB en dietas con pastos C4 fue de 17,7 MJ / kg de MS siendo un 4% menor que el estándar de 18,4 MJ / kg de MS observado en la zona templada, las emisiones también fueron 5% menores en clima sub tropical donde se utilizó *B. indicus* con respecto al clima templado con *B. taurus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el área de ganadería de la finca comercial del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, de octubre de 2015 a abril de 2017. La zona de vida de acuerdo con la clasificación de Holdridge (1978), corresponde a un Bosque Húmedo en Transición a Muy Húmedo Premontano; con una precipitación anual entre 2700 a 3000 mm y una temperatura diaria promedio de 22,3°C (Abarca 2008).

Manejo de los animales

Se seleccionaron 16 vacas en producción, las cuales se dividieron en tres grupos raciales; el primero constituido por cinco vacas Jersey (*B. taurus*), el segundo grupo con seis animales híbridos *B. taurus* x *B. indicus* (F1 vacas Jersey x Gyr o Sahiwal) y el tercer grupo con cinco vacas fue un triple cruce (Jersey x Holstein x Gyr o Sahiwal). Se tomaron muestras un día cada 28 días durante 16 meses. Para todos los días de muestreo, las vacas se alimentaron de una pastura de *Panicum maximum* var. Mombaza y recibieron el manejo y la dieta normal de la finca lechera de CATIE, que consistió en concentrado, soya, melaza, citropulpa y pasto de corte, durante los periodos de ordeño.

El diseño experimental utilizado en forma independiente para vacas en producción y vacas secas fue el siguiente:

$$yijkl = \mu + ri + vjj + mk + \epsilonijk$$

Donde:

- μ = Media general
 ri = Efecto de grupo racial ($i=1, 2, 3$)
 vjj = Efecto de vaca en grupo racial ($j= 1, 2, \dots, 6$)
 mk = Efecto de muestreo ($k= 1, 2, \dots, n$)
 ϵijk = Error experimental

Medición de metano

La medición de CH₄ se realizó mediante la técnica del hexafluoruro de azufre (SF₆), la cual consistió en poner a nivel de rumen un tubo de permeación conteniendo SF₆. La tasa de liberación del SF₆ fue determinada por regresión lineal para cada tubo, los cuales se pesaron una vez por semana durante dos meses previamente a ser implantados en el rumen. Para el muestreo se instaló un tubo colector al vacío (collar), ergonómicamente diseñado, en el cuello del animal, al cual fue conectado un capilar que se situó por medio de un gamarrón (bozal) en el morro del animal (Westberg *et al.* 1998 y MPI 2014).

Esta técnica permitió el libre pastoreo, sin limitaciones a los animales, garantizando un comportamiento y bienestar adecuado y natural durante el pastoreo. Se utilizó un collar por animal por 24 horas durante el día de medición. El CH₄ y SF₆ contenidos en el collar, se determinaron por cromatografía de gases en el laboratorio de GEI del Instituto de Investigación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).

Se asumió que las tasas de emisión de SF₆ y CH₄ eran iguales, así como la dilución. La mezcla de los gases se debió a los movimientos de los animales y del mismo rumen; por lo tanto la tasa de emisión del CH₄ (Q CH₄) pudo ser calculada por la medición de la concentración de CH₄ y SF₆ así como la tasa de liberación de SF₆ (Q SF₆) de acuerdo con la metodología establecida por Westberg *et al.* (1998) mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{CH4} = Q_{SF6} \times [CH4] / [SF6]$$

Estimación del consumo voluntario

Óxido crómico (Cr₂O₃)

El consumo voluntario de materia seca (MS) se estimó mediante la técnica de marcadores externos (Mejía 2002), utilizando óxido crómico. A los animales se les suministró una dosis de 10 g d⁻¹ de Cr₂O₃ durante 7 días consecutivos, tomando muestras de heces directamente del recto del animal a partir del quinto día. Luego se preparó una muestra compuesta por animal a la cual se le determinó la concentración de Cr₂O₃ mediante la digestión nítrico perclórica y la determinación por absorción atómica del cromo. A las muestras de forraje y heces se les determinó carbono (C) y nitrógeno (N).

La cantidad de heces y el consumo de MS se estimaron mediante las siguientes fórmulas y de acuerdo a la calidad nutricional del pasto Mombaza descrito en el cuadro 1.

$$\text{Heces (kg MS)} = \frac{\text{Cromo total consumido (g)}}{\text{Concentración de cromo en las heces (g/kg)}}$$

$$\text{Consumo de MS} = \frac{\text{Heces}}{\text{Indegradabilidad de la dieta}} \times 100$$

Cuadro 1. Calidad nutritiva de la pastura de *Mombaza (Panicum maximum)*. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 2017.

En el forraje ofrecido	Energía Bruta (EB)	Proteína Cruda (PC)	Fibra Detergente Neutro (FDN)	Degradación ruminal
	MJ/kg MS	%		
Promedio	18,1	11,1	57,6	56,6
Desviación estándar	0,5	1,7	3,7	4,3

La producción de leche se midió a intervalos de siete días y las vacas se pesaron una vez al mes. Todos los animales recibieron el manejo normal de la finca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Consumo de Materia seca

El consumo de MS, su tiempo de retención en el rumen y la calidad, están íntimamente ligados a la emisión de metano (Tyrrell y Moe 1972; Johnson y Johnson 1995). Se observó que la alimentación de las vacas entre el periodo de lactancia y seco fue diferente y contrastante, tal y como se puede notar en el cuadro 2. Mientras las vacas lactando recibieron una alta suplementación, las vacas secas estaban exclusivamente en pastoreo, por lo tanto, se analizó por separado el consumo para cada periodo por grupo racial. En el cuadro 2, también se observan los promedios de consumo de MS.

Cuadro 2. Consumo de Materia Seca (MS) por periodo y grupo racial. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2017.

Grupo racial	Consumo diario de MS (kg)					
	Vacas en lactación			Vacas secas		
Periodo	n	Promedio	Error Estándar	n	Promedio	Error Estándar
<i>B. taurus</i>	50	14,9 a	0,8	8	6,9 a	0,07
F1	52	17,5 b	0,7	23	8,9 b	0,04
Triple Cruce	50	15,8 ab	0,8	14	7,7 c	0,05
Promedio general	152	16,3	0,5	45	7,8	0,4

Medias con igual letra no difieren significativamente ($p>0,05$)

En relación con los grupos raciales se observaron diferencias estadísticas ($p>0,05$) para el periodo de producción entre las vacas F1 y las *Bos taurus*. Las vacas del triple cruce se situaron en un nivel intermedio, sin diferencias entre los otros dos grupos. Con respecto al periodo seco, los tres grupos mostraron diferencias en el consumo de MS. Lo anterior es importante porque en este periodo las vacas estuvieron exclusivamente en pastoreo, lo que se convierte en un indicador de la habilidad de los grupos raciales para alimentarse de pasturas tropicales del tipo C4 (Angharad 2016). En este caso se observó, que a mayor encaste con cebú mayor consumo de pasto Mombaza.

Alimentación durante el periodo de lactancia

Las vacas en lactancia de igual forma para los tres grupos raciales, recibieron en promedio 9 kg de suplementos, adicionales al pasto del pastoreo, de acuerdo con el desglose del cuadro 3.

Cuadro 3. Alimentos suplidos a las vacas en producción. CATIE, Turrialba. Costa Rica. 2017.

Alimentos	Consumo (kg MS/v/d)
Concentrado	5,35
Harina de soya	0,34
Melaza	0,53
Citropulpa	1,97
Pasto de corte	0,81
Total	9,00

En el cuadro 4, se observa la estimación de consumo de pasto durante el periodo de lactancia para cada grupo racial, mostrando diferencias significativas ($p>0,05$) entre los tres grupos raciales, al igual que ocurrió en el periodo seco con una dieta de solamente pasto.

Cuadro 4. Consumo estimado de pasto de pastoreo en las vacas lactando. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2017.

Grupo racial	Consumo de pasto (kg MS/v/d)
<i>B. Taurus</i>	6,2 ± 0,5 a
F1	7,4 ± 0,4 b
Triple cruce	6,8 ± 0,5 c

Medias con igual letra no difieren significativamente ($p > 0,05$)

En términos generales las proporciones de pasto consumidas de la ingesta total fueron: 39,6; 48,6 y 43,0% para *Bos taurus*, F1 y Triple cruce, respectivamente.

Emisión de metano por día

En relación a la emisión diaria de CH₄, no se observaron diferencias estadísticas entre grupos raciales para vacas lactando, aunque el triple cruce emitió 5,9 y 11,5% menos CH₄ que el *Bos Taurus* y el F1 respectivamente. Igualmente se observó para el periodo seco una reducción ($p < 0,01$) del triple cruce con respecto a los otros dos grupos raciales (ver cuadro 5), siendo concordante con lo observado por Charmley *et al.* (2016), en relación con la menor emisión observada en animales encastados *B. taurus* x *B.indicus* en ganado de carne en el norte de Australia.

Cuadro 5. Emisión diaria de CH₄ por vaca por día y grupo racial, durante los periodos de lactancia y seco. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2017.

Periodo	Emisión de metano (g/v/d)					
	Lactancia			Seco*		
Grupo Racial	n	Promedio	Error Estándar	n	Promedio	Error Estándar
<i>B. taurus</i>	50	271,7	37,9	8	219,3 a	24,9
F1	62	288,8	32,7	23	221,2 a	14,7
Triple Cruce	50	255,5	20,6	18	166,2 b	19,8
Promedio general	162	265,7	16,6	45	203,8	15,7

* Medias sin letras o igual letra en la misma columna no difieren $p > 0,05$

Emisión de metano por peso metabólico

Con respecto al periodo de lactancia, no se observaron diferencias entre grupos raciales, no obstante, el triple cruce emitió en promedio 10% menos por unidad de peso metabólico que las vacas de los otros dos grupos raciales. En relación con el periodo seco, las vacas del triple cruce mostraron diferencias ($p < 0,05$), con respecto a las de los otros grupos (ver cuadro 6), concordando con Vercoe (1970) en relación con el metabolismo del *B. indicus* y los cruces con *B. taurus*.

Cuadro 6. Emisión de CH₄ por unidad de peso metabólico. CATIE Turrialba Costa Rica, 2017.

Periodo	Emisión de metano (g CH ₄ /kg PV ^{0,75})					
	Lactancia			Seco*		
Grupo Racial	n	Mean	Error Estándar	n	Mean	Error Estándar
<i>B. taurus</i>	50	3,0	0,4	8	2,5 a	0,2
F1	62	3,0	0,4	23	2,1 ab	0,1
Triple Cruce	50	2,7	0,2	14	1,7 b	0,2
Promedio General	162	2,97	0,18	45	2,1	0,2

* Medias con igual letra en la misma columna no difieren $p > 0,05$

Relación entre emisión de metano y consumo de materia seca

Para el periodo de lactancia, se observó en general un nivel de emisión bajo tal y como se observa en el cuadro 7; concordando con Kurihara *et al.* (1999) en relación con la reducción de la emisión de CH₄ con dietas altas en grano. No se obtuvieron diferencias significativas entre grupos raciales, aunque hubo una tendencia a la reducción en el triple cruce con respecto a las vacas *Bos taurus* y F1. Para el periodo seco se observó una

diferencia significativa ($p < 0,05$) de las vacas del triple cruce con respecto a las de los otros dos grupos raciales (ver cuadro 7). Los datos de emisión de CH₄ en relación con el consumo de MS (g/kg) durante el periodo de lactancia, son concordantes con los estimados en la mayoría de las investigaciones (Charmley *et al.* 2016). No obstante, las emisiones del periodo seco son mucho mayores concordando con Archimède *et al.* (2011) sobre el incremento de la emisión en relación a animales alimentados con pastos tropicales.

Cuadro 7. Relación entre la emisión de CH₄ y el consumo de materia seca en vacas lecheras. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2017.

Periodo	Emisión de metano (g CH ₄ /kg MS)					
	Lactancia			Seco*		
Grupo racial	n	Promedio	Error Estándar	n	Promedio	Error Estándar
<i>B. taurus</i>	50	17,0	1,6	15	31,7 a	3,1
F1	62	17,6	1,3	27	25,3 ab	1,8
Triple cruce	50	16,5	1,6	18	21,5 b	2,0
Promedio general	162	17,0	1,1	45	25,3	2,0

* Medias con igual letra en la misma columna no difieren $P > 0,05$

Producción de leche y su relación con la emisión de metano

Se observó una menor producción de leche diaria en *Bos taurus* ($p < 0,01$) con respecto a las vacas de los otros dos grupos raciales. En lo concerniente a la emisión de CH₄, no se encontraron diferencias significativas, sin embargo el triple cruce mostró una tendencia a la menor emisión, siendo de 15,6 y 10,1% respecto a las vacas del *Bos taurus* y el F1, tal y como se observa en el cuadro 8.

Cuadro 8. Producción de leche diaria y emisión de CH₄ por kg de leche. CATIE, Turrialba, Costa, Rica. 2017.

Grupo Racial	n	Producción de leche (kg/v/d)*		Relación: metano/leche (g CH ₄ /kg leche)	
		Promedio	Error Estándar	Promedio	Error Estándar
<i>B. taurus</i>	35	16,6 a	0,67	16,8	2,0
F1	52	18,7 b	0,54	17,9	1,7
Triple Cruce	35	18,2 b	0,66	15,1	2,0
Promedio general	121	18,0	0,53	16,8	1,3

* Medias sin letras o igual letra en la misma columna no difieren $P > 0,05$

Estimación del factor de emisión

Un aspecto básico en los inventarios de gases de efecto invernadero (GEI) es la utilización de factores de emisión que reflejen datos lo más cercano posible a la realidad que se desea representar. Aunque normalmente se conoce poco de la mecánica del cálculo, los supuestos y datos que se utilizan para realizar los inventarios en vacas de leche (un tema crucial en lechería tropical), son los factores de conversión para el periodo seco y de lactancia. En este caso, el factor de conversión se estimó como la porción de la energía bruta consumida que se convirtió a metano (Y_m) (Cuadro 9) de acuerdo con la metodología sugerida por IPCC, 2006.

Cuadro 9. Factor de conversión de energía bruta a metano (Y_m) en vacas lecheras. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2017.

Vacas Lecheras	Y_m
Periodo de lactancia	5,2 ± 0,7
Periodo seco*	
<i>Bos taurus</i>	9,7 ± 4,0 a
F1	7,8 ± 1,8 ab
Triple cruce	6,6 ± 1,8 b

* Medias sin letras o igual letra en la misma columna no difieren $p > 0,05$

Se estimó para el periodo de lactancia un factor de conversión de $5,2 \pm 0,7\%$ de la EB ingerida transformada a CH_4 , mientras que para el periodo seco de estas mismas vacas, la variación y su promedio fueron altos para las vacas *Bos taurus*, una menor variación pero aún con valores relativamente altos, se dió en el caso de las vacas F1. En las vacas de triple cruce, el promedio fue semejante al sugerido por IPCC (2006), con una variación semejante a la de las vacas F1 de acuerdo a lo observado en el cuadro 9.

De acuerdo con la clasificación de lecherías, Vargas-Leitón *et al.* (2006) la finca lechera comercial del CATIE, ubicada en Turrialba, se ubica entre el conglomerado de especializadas semi-intensivas. Este conglomerado lo componen un 25% de los hatos de Costa Rica y corresponde a lecherías con ganado especializado, ubicadas en zonas altas de la Cordillera Volcánica Central, en suelos de tipo

Andisol, con precipitaciones anuales promedio de 2700 mm. No obstante, dicha lechería se ubica a 640 msnm, con una temperatura posiblemente mayor al promedio del conglomerado, por lo que las especies de pasto predominantes son de la familia Poaceae con mecanismos de asimilación del carbono de las plantas tipo C4, que de acuerdo con Van Soest (1994), se caracterizan por contenidos bajos de carbohidratos solubles y altos niveles de FDN y lignina.

El cantón de Turrialba en las últimas décadas, reporta incrementos en la precipitación anual de aproximadamente 3000 mm y una temperatura media diaria de 25°C, con humedad relativa del 80%, así como una disminución de la radiación solar, especialmente por interferencia de nubes (Abarca 2008). Lo que supone una mayor pérdida de confort para los animales de razas lecheras especializadas desarrolladas para climas templados y con selección genética dirigida hacia una mayor conversión de granos a leche. Por otra parte, bajo estas condiciones climáticas, se considera la posibilidad de incrementos en las estructuras anatómicas de sostén de las plantas C4, que de acuerdo con Sánchez (2007), reducen la calidad nutritiva para una eficiente producción, y son producto del incremento de la temperatura (Del Pozo 2002) y la reducción de luz (James 1995).

En relación con la variación del consumo de pasto de piso durante el periodo de lactancia y seco, los tres grupos mostraron en diferente proporción un efecto sustitutivo del pasto de piso por la suplementación, durante la lactancia. Las vacas *Bos taurus*, fueron las que menor sustitución tuvieron (0,7 kg MS), posiblemente debido al bajo consumo de pasto de piso que mostraron, seguidas del triple cruce (0,9 kg MS), y una fuerte sustitución se observó en las vacas F1 (1,5 kg MS). Posiblemente estas diferencias estén relacionadas a la proporción de sangre cebuina, que podría influir en la anatomía y función del tracto digestivo adaptándolo mejor al consumo de pastos semejantes a los presentes durante la evolución de este tipo de animal en los climas tropicales (Kennedy 2013). La mayor emisión observada en *B. taurus* durante el periodo seco posiblemente se deba a una menor tasa de recambio del rumen, producto del reducido consumo de pasto de piso mostrado por estas vacas.

El factor de conversión a CH₄ por unidad de EB consumida obtenido para vacas lactando de 5,2 ± 0,7%, fue semejante al observado mediante la misma técnica utilizada en este estudio en Uruguay por Ciganda *et al.* (2016) para animales en pastoreo con pasturas mejoradas, así como al límite inferior establecido por IPCC (2006) para vacas en pastoreo. Así mismo, el valor de 6,6 ± 1,8% para las vacas secas del triple cruce fue semejante al de IPCC (2006) y al observado en pasturas naturales y degradadas en Uruguay (Ciganda *et al.* 2016). Por otra parte, los factores de conversión para vacas secas F1 y *B. taurus*, exclusivamente a pastoreo en pasturas C4, fueron ligeramente mayores y altos respectivamente, en relación a los del IPCC (2006) para vacas en pastoreo. Los contenidos de energía digestible (ED) de la ingesta de las vacas en lactancia estuvieron adecuados, y el uso de concentrado, melaza y otros alimentos secos harinosos,

mejoraron del valor nutritivo de la dieta produciendo una reducción de la emisión de CH₄.

Teniendo como marco los considerandos anteriores, se puede indicar que para el caso de esta investigación, el encaste indicado por los registros de vacas lecheras vacas Jersey () x Gyr o Sahiwal (Holstein con un promedio de 25% de sangre *Bos indicus* lechero fue el tratamiento más eficiente; ya que mostró un adecuado consumo de MS, un incremento significativo en el consumo de MS del pastoreo con respecto al grupo de vacas de raza especializada y la menor emisión de CH₄ por día, y por unidad de peso metabólico, por unidad de materia seca consumida y por unidad de leche producida. Así mismo, cuando estuvieron en pastoreo exclusivamente (periodo seco), fueron las vacas con la menor emisión de CH₄.

LITERATURA CITADA

Abarca, S. 2008. Cambio Climático: Cuantificación de la variación del clima en Turrialba en el último medio siglo. Alcances Tecnológicos (6)1:85-95

Abarca, S. 2016. Emisión de gases de efecto invernadero y absorción de carbono en fincas ganaderas. Alcances Tecnológicos 11(1):3-16

Archimède, H; Eugène, M; Marie-Magdeleine, C; Boval, M; Martin, C; Morgavi, D; LeComte, P; Doreau, M. 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes (en línea). Animal Feed Science and Technology (166–167):59–64. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003>

Angharad, L. 2016. Seasonal composition of tropical C4 grasses, and its influence on rumen prokaryotic diversity in relation to methane production from beef cattle in the northern Australian rangelands (en línea). Tesis Ph. D. Queensland, Australia. University of Queensland. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:390478>

Charmley, E; Williams, S; Moate, Hegarty, P; Herd, R; Oddy, H; Reyenga, P; Staunton, K; Anderson, A; Hannah, M. 2016. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia (en línea). Animal Production Science. 56:169–180. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en <http://www.publish.csiro.au/an/AN15365>

Ciganda V; Dini Y; Romero C; Mariotta J; Cajarville C. 2016. Emisión de metano entérico en bovinos de carne bajo condiciones representativas bajo pastoreo en Uruguay: pasturas implantadas vs campo natural degradado (en línea). Revista INIA (45):49 –52. Consultado 19 may. 2018. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5801/1/Revista-INIA-Uruguay.-n.-45.-p.-49-52.-2016.pdf>

Del Pozo, RP. 2002. Bases ecofisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. Revista de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos 32(2):109 – 137.

Holdridge, L 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica. 216p.

- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, CR). 2015. VI Censo Nacional
- Agropecuaria (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 19 may. 2016. Disponible en <http://inec.cr/censos/censo-agropecuaria-2014>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático), 2006. Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (en línea). *In* Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. (4,10, 2006, Ginebra, Suiza). Consultado 20 mar. 2018. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- James, C.1995. Efecto de cuatro niveles de luz en la producción de biomasa y calidad nutritiva de cinco especies forrajeras en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 84p.
- Johnson, K, Johnson, D. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73(8):2483–2492.
- Kennedy, WK. 2013. Nitrogen Metabolism in *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle consuming low – quality forage (en línea). Tesis Mag. Sc. Texas, Estados Unidos de Norteamérica..Texas A&M University. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/151030>
- Kurihara, M; Magner, T; Hunter, R; McCrabb, G.1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*. 81(3):227–234
- Mejía, HJ. 2002. Consumo voluntario de forrajes en pastoreo. *In* Acta Universitaria 12(3):56-65. Irapuato México. Universidad de Guanajuato. Instituto de Ciencias Agrícolas.
- MPI (Ministry for Primary Industries New Zealand). 2014. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF6) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants. *In* Curso de Capacitación Investigación en Sistemas Ganaderos y Medición de Gases de Efecto Invernadero (2015). Lambert, MG (ed.). Memoria. Remehue – Osorno, Chile. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 166 p
- NRC (National Research Council), 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington, Estados Unidos de América. 132 p
- Ribeiro PLG; Machado FS; Campos MM; Guimaraes RG; Tomich TR; Larissa G Reis LG; Pharm Cassius C. 2015. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 28(2):124-143.
- Sánchez JM. 2007. Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero. *In* XI Seminario de pastos y forrajes en sistemas de producción animal (2007). UCR (Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica. p. 14-30.
- Tyrrell, F; Moe, P. 1972. Net energy value for lactation of a high and low concentrate ration containing corn silage (en línea). *Journal of Dairy Science* 55(8):1106–1112. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(72\)85632-7/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(72)85632-7/abstract)
- Van Soest, P. 1994. Nutritional Ecology of Ruminant. 2 ed. Cornell University. USA. 479 p.
- Vargas Leitón B; Solís-Guzmán O; Sáenz-Segura F; León-Hidalgo H. 2013. Caracterización y clasificación de hatos lecheros en Costa Rica mediante análisis multivariado (en línea). *Agronomía Mesoamericana* 24(2):257-275. Consultado 20 mar. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/437/43729228003.pdf>
- Westberg, H; Johnson, K; Cossalman, M; Michal, J. 1998. A SF6 tracer technique: methane measurement from ruminants. Washington State University. Pullman, Washington, Estados Unidos de América. 40 p.

