



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



NOTA TÉCNICA

Implementación de la técnica del hexafluoruro de azufre para cuantificar metano entérico en bovinos en Costa Rica

Implementation of the Sulfur Hexafluoride Technique in Costa Rica to Quantify Enteric Methane in Cattle

Johnny Montenegro-Ballesteros^a, Eduardo Barrantes-Guevara^b

^a Investigador en cambio climático y agricultura, Convenio Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) e Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Costa Rica, jmontenegro@inta.go.cr

^b Dirección de Investigación y Transferencia, Sede Atenas de la Universidad Técnica Nacional (UTN) de Costa Rica, ebarrantes@utn.ac.cr

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. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú

Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica

Dr. Arturo Sánchez Azofeifa. Universidad de Alberta-Canadá

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) 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 del artículo, siempre y cuando se mencione la fuente y autoría de la obra.



NOTA TÉCNICA

Implementación de la técnica del hexafluoruro de azufre para cuantificar metano entérico en bovinos en Costa Rica

Implementation of the Sulfur Hexafluoride Technique in Costa Rica to Quantify Enteric Methane in Cattle

Johnny Montenegro-Ballester^a, Eduardo Barrantes-Guevara^b

[Recibido: 11 de agosto 2016; Aceptado: 01 de noviembre 2016; Corregido: 11 de noviembre 2016; Publicado: 30 de noviembre 2016]

Resumen

Con el objetivo de implementar por primera vez en Costa Rica la técnica del gas trazador hexafluoruro de azufre (SF₆) para determinar la emisión de metano (CH₄) entérico en bovinos que consumen una dieta basada en forrajes tropicales, se realizó este estudio en la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas, de mayo a julio del 2013. Esta técnica permite capturar y almacenar, en un dispositivo colocado sobre el animal, una muestra del metano expedito. La implementación se realizó en dos fases: estabulación y pastoreo. En ambas se utilizaron novillas Jersey, que recibieron una etapa de adaptación previa a la fase de recolección de las muestras gaseosas. En estabulación la dieta estuvo compuesta por silopaca de transvala (*Digitaria decumbens*) y pasto *Brachiaria brizantha*; en la segunda fase pastorearon *B. decumbens*. Las tres especies tenían 35 días de rebrote y sin fertilización. La emisión diaria de metano por novilla en estabulación fue 147±7 g, y de 17,3±1,1 g kg⁻¹ de masa seca (MS) consumida. En pastoreo se emitieron 141±16 g de CH₄, y se estiman 16,1±1,1 g de CH₄ kg⁻¹ MS de pasto consumido. El factor de emisión (P_m: 4,9±0,3%) para la fase de pastoreo fue inferior al sugerido por el IPCC. Se concluye que la técnica es apropiada para ser utilizada en condiciones similares a las usadas en estos trabajos de investigación, y que con el cálculo de P_m es posible estimar, con baja incertidumbre, la emisión de metano entérico en bovinos. Esta que podría ser utilizada en los inventarios nacionales de gases con efecto invernadero para el sector pecuario de Costa Rica.

Palabras clave: Emisión de metano, ganadería, pastoreo, pastos tropicales, SF₆.

Abstract

In order to implement, for the first time in Costa Rica, the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer technique to determine the enteric methane (CH₄) released by cattle consuming tropical forages, this study was carried out at the *Universidad Tecnica Nacional, Atenas*, from May to July 2013. This technique allows capturing and storing a sample of methane in a device placed over the animal. The implementation was done in two phases: confinement and grazing. In both phases, Jersey heifers were used. They were subjected to an adaptation phase prior to the collection of gas samples. Confinement diet consisted of *transvala silopaca (Digitaria decumbens)* and *Brachiaria brizantha*. In the second phase *B. decumbens* was grazed. The three species had 35 days of regrowth without fertilization. The daily emission of methane per heifer in confinement was 147±7 g, and 17.3±1.1 g kg⁻¹ DM consumed. During the grazing

^a Investigador en cambio climático y agricultura, Convenio Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) e Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Costa Rica, jmontenegro@inta.go.cr

^b Dirección de Investigación y Transferencia, Sede Atenas de la Universidad Técnica Nacional (UTN) de Costa Rica, ebarrantes@utn.ac.cr



phase, heifers released 141 ± 16 g of CH_4 d^{-1} , and 16.1 ± 1.1 g of CH_4 kg^{-1} DM of consumed grass was estimated. The emission factor (Y_m : $4.9 \pm 0.3\%$) for the grazing phase was lower than that suggested by IPCC. It is concluded that this technique is suitable for use under similar conditions to those used in this research, and with the calculation of Y_m it is possible to estimate with low uncertainty, the emission of enteric methane in cattle that should be used in the National Inventories Greenhouse Gases for the livestock sector in Costa Rica.

Keywords: Grazing, livestock, methane emission, SF6, tropical grasses.

1. Introducción

El cambio climático, que se produce por el incremento de la concentración de gases con efecto invernadero (GEI) en la atmósfera es una de las principales amenazas a las que se enfrenta la humanidad. De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), la temperatura media de la Tierra podría incrementarse entre 2 y 6 °C (IPCC, 2006), con lo cual se comprometería la sobrevivencia de diferentes especies vegetales y animales, incluido al ser humano.

Uno de estos gases es el metano (CH_4), que en los bovinos se produce por la digestión anaeróbica de la materia orgánica (Bunglavan, 2014). Dado el aumento de la población bovina mundial en el último siglo, esta se ha asociado el incremento de la concentración atmosférica de este gas (IPCC, 2006). Sin embargo, no hay consenso en la emisión mundial de CH_4 ya que el rango reportado es muy amplio, lo cual ha sido reseñado por Herrero et al., (2011). Por esta razón, se requiere conocer la emisión real de este gas en los bovinos para desarrollar algunas maneras de reducirlo (Eckard, Grainger y de Klein, 2010; Tan et al., 2011) sin disminuir la producción animal (Grainger y Beauchemin, 2011).

En Costa Rica se estima que la actividad ganadera contribuye con más del 80% de la emisión de metano del sector agropecuario (Montenegro y Abarca, 2001), lo que coincide con el Inventario nacional de GEI (Chacón, Jiménez, Montenegro, Sasa y Blanco, 2014), en el cual se determinó que en el 2012 los bovinos emitieron 96,4 Gg de metano entérico, lo cual, expresado como CO_2 equivalente, representó 65% de la emisión total del sector agropecuario y 14% del nivel nacional.

La producción de metano por fermentación entérica está relacionada con el alimento consumido (Lassey, Piñares-Patiño y Ulyatt, 2002). Sin embargo, el nivel de consumo y las características del alimento, como la digestibilidad, son factores importantes y determinan la cantidad de metano producido (Clark, Kelliher, y Pinares-Patiño, 2011). Los alimentos que se degradan más lentamente (como los carbohidratos estructurales) producen más metano que aquellos que se fermentan a tasas más rápidas (Eun, Fellner y Gumpertz, 2004). Por ello se requieren estrategias de manejo nutricional para disminuir al máximo la pérdida de energía de la dieta; en los rumiantes ello puede representar hasta el 12% por la emisión de metano (Johnson y Johnson, 1995; Johnson, Westberg, Michal y Cossalman, 2007).

Consecuentemente, el mejoramiento en el aprovechamiento de la energía puede incrementar la ganancia de peso o la producción de leche y, a la vez, reducir drásticamente la emisión de metano (Grainger y Beauchemin, 2011; Johnson y Johnson, 1995; Johnson et al., 2007). Ello se



traduciría en un beneficio directo para los sectores productores, ya que se mejoraría la eficiencia de transformación del alimento consumido y se obtendrían mejores índices productivos, lo cual haría más rentables las explotaciones bovinas. Por ello se requiere conocer la emisión de este gas en los bovinos.

No obstante, una de las limitantes para cuantificar mediante medición directa la emisión de metano entérico ha sido la imposibilidad de realizar determinaciones en condiciones de pastoreo, por ello la existencia de las metodologías sugeridas por el IPCC (Nivel I y Nivel II). Las mediciones directas para cuantificar el CH₄ entérico en rumiantes no son recientes (Blaxter y Clapperton, 1965; Moe y Tyrrell, 1979), y han sido realizadas utilizando cámaras fisiológicas. Pero, esta metodología no considera las condiciones reales, ni del comportamiento animal, ni de la dieta consumida en pastoreo.

Esta limitación ha sido superada con el desarrollo de la técnica del hexafluoruro de azufre (SF₆) (Johnson, Huyler, Westberg, Lamb y Zimmerman, 1994), la cual permite cuantificar la emisión de metano en animales individuales en pastoreo sin causar ninguna alteración en su comportamiento y con la dieta usual (McGinn, Beauchemin, Iwaasa y McAllister, 2006). Esta es una de las razones por la cual esta técnica ha sido utilizada por diferentes investigaciones en diversas partes del mundo (Boadi y Wittenberg, 2002; Dini, 2012; Grainger et al., 2007; Lassey, 2004; Pedreira et al., 2009).

La cuantificación directa de este gas es importante, ya que permitirá mejorar considerablemente las estimaciones para el inventario provenientes del sector pecuario, el cual es parte del inventario nacional de GEI que Costa Rica reporta a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Esto será también un aspecto de suma relevancia para la política del Gobierno de la República, que se ha propuesto ser carbono neutral para el 2021, ya que la contribución del metano proveniente de la fermentación entérica de los bovinos es muy significativa (Chacón et al., 2014). La implementación de esta técnica en Costa Rica permitirá, con el desarrollo de trabajos de investigación, obtener índices nacionales de emisión de acuerdo con las condiciones en las que se desarrolla el sector ganadero, y no derivados de ecuaciones obtenidas en condiciones diferentes al trópico.

Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: 1) Implementar por primera vez en Costa Rica la técnica conocida como SF₆ para cuantificar el metano proveniente de la fermentación entérica en bovinos que consumen gramíneas tropicales y, 2) Verificar la racionalidad de los valores de emisión de metano obtenidos en este estudio, comparándolos con los reportados en investigaciones similares con la misma metodología.

2. Materiales y métodos

2.1 La técnica

Para la determinación directa del metano entérico producido en los bovinos, se implementó la técnica de medición de metano del hexafluoruro de azufre desarrollada por Johnson et al. (1994), y conocida como SF₆, debido a que utiliza este gas como marcador. La técnica se basa



en el hecho de que el CH_4 emitido por los bovinos se genera en el rumen, desde donde se libera mediante eructos. Por lo tanto, si se recolecta una muestra continua de aire mediante un dispositivo colocado sobre el animal, se obtendrá una muestra representativa de las emisiones provenientes del rumen durante un periodo seleccionado (Boadi y Wittenberg, 2002; Hegarty, Goopy, Herd, y McCorkell, 2007; McGinn et al., 2006). Con la determinación de la concentración de metano en la muestra, se conocerá la cantidad de este gas liberado, si es que su tasa de liberación es previamente determinada. Por esta razón se introduce en el rumen una cápsula que libera SF_6 a una tasa constante y conocida, el cual es expulsado de la misma manera que el metano y en mezcla con este.

Esta técnica tiene varios componentes:

1. Un tubo permeable (cápsula) que contiene el gas SF_6 , el que se coloca dentro del rumen del animal días antes de iniciar la fase de medición.
2. Un dispositivo colocado sobre el animal para capturar y almacenar la muestra de gases recolectada.
3. La determinación de la concentración de CH_4 y SF_6 en las muestras.
4. El cálculo de la emisión del metano (g d^{-1}) que utiliza la concentración de las muestras ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) y la tasa de liberación del SF_6 (g d^{-1}).

2.2 Implementación

Esta implementación se realizó de mayo a julio del 2013, en la Universidad Técnica Nacional (UTN), sede Atenas, con un clima tropical seco, donde la precipitación y temperatura anual media son de 1 200 mm y 25°C respectivamente. Este trabajo se efectuó en dos fases, la primera en estabulación (Fase I), y la segunda en pastoreo (Fase II). Previo a la Fase I se determinó la tasa de liberación del SF_6 de las cápsulas, que se mantuvieron a 39°C por 10 semanas y se pesaron semanalmente en una balanza analítica. Esta labor se desarrolló en los Laboratorios del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Por enfocarse este trabajo en la implementación de la técnica en mención, no se utilizó diseño experimental alguno; sin embargo, los resultados de las determinaciones realizadas se compararon con las reportadas en otras investigaciones para verificar la racionalidad de los valores obtenidos.

2.2.1 Fase I

En esta fase se utilizaron 4 novillas Jersey, con un peso vivo de 290 ± 16 kg y 2 años de edad, estabuladas en cuadras individuales. La duración fue de tres semanas: dos de adaptación al manejo y una de evaluación en la cual se recolectaron las muestras gaseosas. Al inicio del período de adaptación, a cada novilla se le introdujo en el rumen una cápsula conteniendo SF_6 para permitir que el gas difunda y se homogenice en el rumen con antelación a la toma de muestras gaseosas. Las novillas recibieron *ad libitum* una dieta compuesta por 50% silopaca de trasvala (*Digitaria decumbens*) y 50% pasto *Brachiaria brizantha* cv Marandu, ambos con 35 días de rebrote y sin fertilizar, ofrecidos en dos tiempos: 6 a.m. y 2 p.m. Durante la fase de toma de muestras gaseosas, diariamente (mañana y tarde) se pesó el forraje ofrecido, así como



la cantidad residual de los mismos, y se recolectaron muestras para determinar materia seca, utilizándose para ello un horno a 60 °C donde se introdujeron las muestras por 24 h.

2.2.2 Fase II

Durante esta fase se utilizaron las mismas novillas que en la Fase I, pero se mantuvieron pastoreando *Brachiaria decumbens* cv Basilisk, sin fertilizar y de 35 días de rebrote durante la etapa de adaptación (10 días) y de medición (4 días). La fase de recolección de muestras gaseosas se inició el día siguiente al ingreso a un aparcadero nuevo, y previo al ingreso se determinó la disponibilidad de forraje mediante la técnica del doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975). Todas las novillas pastorearon el mismo aparcadero en un solo grupo.

2.3 Recolección de muestras gaseosas

En ambas fases, la recolección de las muestras se realizó diariamente durante un período de cuatro días seguidos. Del dispositivo de captura y almacenamiento de la muestra de gases colocado sobre cada novilla se tomaron muestras en duplicado que se trasladaron a viales de vidrio previamente identificados y al vacío. Durante ambas fases (I: estabulación y II: pastoreo), no se utilizó diseño experimental ya que lo que se pretendía era, además de implementar la técnica, determinar si existía la logística adecuada para poder continuar con la utilización de esta, así como identificar cualquier problemática durante el proceso de medición. En consecuencia, los valores de emisión reportados corresponden al promedio diario de cada animal en cada una de las fases realizadas; el promedio general es comparado con el valor sugerido por el IPCC (2006), así como también con datos anexados en publicaciones científicas.

2.4 Análisis de laboratorio

El análisis de los gases de interés (CH_4 y SF_6) presentes en las muestras recolectadas se realizaron en el Laboratorio de Suelos del INTA, utilizando un cromatógrafo de gases Agilent provisto de un detector FID, previa validación del método. La concentración de estos gases se determinó por interpolación en curvas de calibración, construidas a base de gases patrón y trazables al NIST. Como control de calidad se intercalaron muestras de concentración conocidas en el grupo con muestras provenientes de la medición de campo.

3. Resultados y discusión

3.1 Determinación de la tasa de liberación del SF_6

La tasa de liberación del SF_6 contenido en las cápsulas introducidas en el rumen de las novillas Jersey fue de $2,97 \pm 0,05 \text{ mg d}^{-1}$ y se encuentra dentro del rango reportado por diferentes investigaciones (Johnson et al., 1994; Pedreira et al., 2009). La pérdida de peso de las cápsulas durante esta fase fue lineal (Figura 1), muestra, especialmente durante las últimas semanas de medición, una condición muy estable.

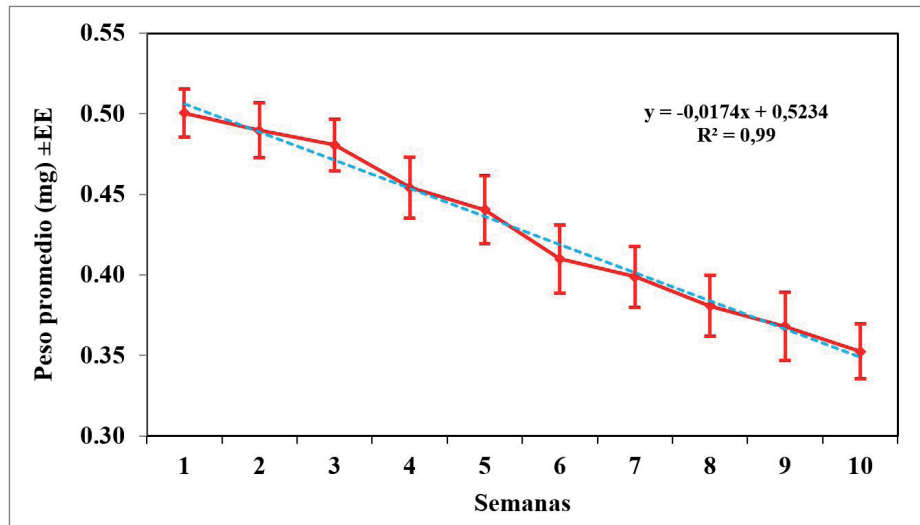


Figura 1. Pérdida de peso, mg semana⁻¹, del SF6 contenido en las cápsulas utilizadas en las novillas Jersey. Atenas, Costa Rica.

3.2 Fase I

3.2.1 Consumo de forraje

El consumo de los forrajes ofrecidos durante el período de medición de la emisión de metano varió muy poco, se determinó un rango entre 8,4 y 9,0 kg de materia seca (MS) novilla⁻¹ d⁻¹ (Cuadro 1), promediando 3,0±0,1% del peso vivo.

3.2.2 Emisión de metano

La emisión diaria de metano varió entre las novillas (Cuadro 1). Este es un comportamiento previamente señalado en distintos trabajos de investigación, donde se ha utilizado esta misma técnica en bovinos (Lasey, Piñares-Patiño, Martin, Molano y McMillan, 2011; Tallec, Klumpp, Hensen, Rochette y Soussana, 2012).

Cuadro 1. Consumo de forraje, kg materia seca d⁻¹, y emisión de metano, g d⁻¹ y kg⁻¹ de materia seca consumida d⁻¹, en novillas Jersey estabuladas. Atenas, Costa Rica, 2013

Novilla	Consumo, kg MS d ⁻¹	CH ₄ , g d ⁻¹ Promedio*	Emisión g CH ₄ kg ⁻¹ MS consumida
1	8,9±0,3	160±19	18,0
2	8,6±0,4	128± 4	14,9
3	8,4±0,3	140± 7	16,7
4	9,0±0,3	178± 1	19,9
Promedio*	8,7±0,2	147± 7	17,3±1,1

* Promedio ± 1 EE



En términos generales, la emisión diaria determinada es similar a la que se han reportado en trabajos realizados en el trópico, así como también en diferentes latitudes (DeRamus, Clement, Giampola, y Dickison, 2003; Moysés, 2007; Pedreira et al., 2009; Primavesi et al., 2004).

La emisión de metano varió, debido a diferencias en el consumo de forraje producto, entre otras razones, a variaciones del peso vivo y a diferencias propias de los animales en relación con la utilización del alimento consumido (Hegarty et al., 2007), con una leve tendencia al aumento de la emisión con el incremento en el consumo de materia seca. Probablemente, debido a que los consumos fueron muy similares entre las novillas (Cuadro1), no se obtuvo una mejor y definida tendencia como ha sido establecido en diferentes trabajos experimentales donde las diferencias en el consumo diario fueron mayores (Waghorn y Hegarty, 2011).

Teniendo en cuenta el valor promedio diario de la emisión de metano y asumiendo un manejo constante a lo largo del año, se tendría que, anualmente, cada novilla estaría emitiendo un total aproximado de $53,7 \pm 2,6$ kg. Este dato es inferior al sugerido por el IPCC en las guías metodológicas del 2006 para ser utilizado para estimar la emisión de metano en bovinos de leche.

Hay que considerar, que el valor del IPCC es un promedio que se sugiere utilizar para toda la estructura del hato, mientras que los datos provenientes de este estudio se refieren específicamente a una categoría animal todavía no adulta y para una condición de manejo específico en una época del año; ello puede explicar la diferencia observada entre ambos valores. Se requieren **más datos** de diferentes categorías animal, incluyendo bovinos adultos y en producción, y épocas del año, para poder determinar qué tan similares pueden ser estos valores (experimental y del IPCC).

3.3 Fase II

3.3.1 Disponibilidad de forraje

La pastura de *B. decumbens*, donde se realizó esta fase de evaluación, tuvo una disponibilidad total de 1,1 t de materia seca ha^{-1} al momento de incluir los animales, y la carga animal durante el período en mención fue de 1,4 UA ha^{-1} . De acuerdo con lo anterior, no se presentó limitación en el consumo del forraje disponible, lo que se estima con base en criterio experto y en resultados de trabajos realizados en la UTN (Guillermo Pérez, comunicación personal), así como por el valor determinado durante la Fase I, las novillas en pastoreo podrían tener un consumo promedio de 2,75% de su peso vivo.

Este consumo es mayor al 2,1% determinado por Primavesi et al. (2004), pero similar al reportado por Pedreira et al. (2009) (2,95%), ambos con novillas de lechería (*B. Taurus* x *B. indicus*) pastorearon la misma especie en Brasil. De igual forma, el consumo estimado en este estudio sería mayor que el reportado por Moysés (2007) (< 2%), con novillos Nelore pero que consumieron heno de *B. brizantha* en Brasil.

Estas diferencias en el consumo probablemente se puedan explicar por el genotipo utilizado en las evaluaciones, pero principalmente por la calidad del forraje en oferta. En el caso de Primavesi et al. (2004), la digestibilidad fue relativamente baja (37,2% DIVMO), lo cual tuvo efecto negativo en el consumo, que resultó mejor (45,4% DIVMO) en el trabajo de Pedreira et al. (2009).



Si se considera que la DIVMS de la pastura ofrecida en este estudio fue $63,1 \pm 2,2\%$, y que la baja presión de pastoreo permitió a las novillas gran selectividad (Velásquez, 2005), no es de extrañar que el consumo estimado en esta evaluación pudiera ser mayor al reportado en algunas de las investigaciones referenciadas.

3.3.2 Emisión de metano

La cantidad de metano emitida por los bovinos en pastoreo varió entre los animales utilizados en este estudio, aunque la magnitud de la variación fue muy pequeña, dada la similitud de estos mismos en términos de peso vivo (Cuadro 2). La poca variación observada en la emisión posiblemente es el resultado de la alta oferta de forraje, la posible uniformidad de la calidad de este, la selectividad y el consumo que pudieron tener las novillas en pastoreo y, en consecuencia, en valores similares de metano emitido.

Cuadro 2. Consumo estimado de forraje, kg materia seca d^{-1} , emisión de metano, $g d^{-1}$ y kg^{-1} de materia seca consumida d^{-1} , en novillas Jersey pastoreando *Brachiaria decumbens*. Atenas, Costa Rica, 2013

Novilla	Consumo*, kg MS d^{-1}	CH ₄ , $g d^{-1}$ Promedio**	Emisión $g CH_4 kg^{-1}$ MS consumida
1	8,8	142±3	16,1
2	7,4	136±3	18,3
3	8,0	144±1	18,1
Promedio	8,1±0,4	141±16	17,5±0,7

* Asumiendo 2,75% del peso vivo, ** ± EE.

Con respecto a la relación entre emisión de metano y consumo de materia seca (g de CH₄ kg^{-1} MS consumida), los valores obtenidos fueron similares a los reportados en otras investigaciones en pastoreo. Pedreira et al. (2009) reportaron, con un consumo de 2,9% en novillas de lechería mestizas (cruce entre $\frac{3}{4}$ Holstein x $\frac{1}{4}$ Gyr) pastoreado *B. decumbens* en Brasil, un total de 180,7 g de CH₄ d^{-1} y 16,7 g CH₄ kg^{-1} de materia seca consumida. Previamente, Primavesi et al. (2004) habían informado que con un consumo promedio del 2,1% en novillas (Holandesas x Cebú) pastoreando la misma especie antes mencionada, detectó un total de 181,7 g de CH₄ d^{-1} , aunque un valor mayor en relación con el consumo de forraje (22,6 g CH₄ kg^{-1} de materia seca). Este menor consumo de pasto *B. decumbens* y mayor emisión por unidad ingerida en la investigación de Primavesi et al. (2004) se explica, como se mencionó anteriormente, por la inferior calidad del forraje ofrecido, comparado con el de Pedreira et al. (2009). Sin embargo, si se coteja la emisión por kilo de peso metabólico, los valores obtenidos son muy similares (alrededor de 2 g de CH₄ $kg^{-0,75}$ de peso vivo) en las anteriores investigaciones y la presente.

Los valores de emisión obtenidos en este estudio en la relación entre consumo de forraje durante el pastoreo son similares a los reportados en diferentes investigaciones realizadas en



diferentes latitudes, pastos y tipo de animal (DeRamus et al., 2003; Moysés, 2007; Pedreira et al., 2009). La emisión anual ($51,5 \pm 5,8$ kg CH_4) estimada en este trabajo experimental, asumiendo uniformidad de condiciones a través del año, sería inferior al valor sugerido por el IPCC (2006), lo cual es una indicación de lo que *podría* estar sucediendo con las estimaciones de metano realizadas hasta el momento. En este sentido, la continuación de este tipo de estudios contribuiría a demostrar si la emisión de metano originada por la fermentación entérica en bovinos es o no sustancialmente diferente a la actualmente reportada.

3.4 Factor de emisión

Existe gran interés en determinar factores de emisión que puedan ser utilizados con baja incertidumbre para calcular la emisión de metano proveniente de la fermentación entérica. De acuerdo con Lassey (2004), no hay forma teórica de hacerlo, la única manera de obtenerlo es mediante un proceso experimental, la técnica del SF_6 una de estos. En este sentido y dado que el proceso efectuado permitió cuantificar el metano (**Cuadro 2**), se realizó el cálculo pertinente para obtener el factor de emisión (Y_m por sus siglas en inglés o P_m en español) acorde con las circunstancias en las cuales se realizó este estudio.

Considerando el valor comúnmente aceptado de la energía liberada por cada unidad de materia seca (IPCC, 2006), así como el de energía generada por unidad de metano, con la emisión de metano obtenido en el proceso experimental, se realizó la estimación del P_m . En promedio, el P_m tuvo un valor de $4,9 \pm 0,3\%$, el cual expresa la fracción de la energía consumida y proveniente de la pastura de *B. decumbens*, que ha sido perdida como gas metano. Este valor promedio es inferior al sugerido por el IPCC ($6,4 \pm 1,0$) para este tipo de bovinos. El valor experimental obtenido en este estudio es similar que el calculado a partir de la información disponible en Pedreira et al. (2009) (5,1%) e inferior al estimado para Primavesi et al. (2004) (6,8%) en condiciones de pastoreo en la misma especie de *Brachiaria* en Brasil. Un mayor valor ($P_m = 7,5$) fue calculado con la información disponible en Moysés (2007), el cual resulta del bajo consumo del heno ofrecido y la moderada emisión de metano.

El resultado del P_m obtenido en este estudio debe ser corroborado en futuros trabajos a realizar, y de ser validado, sería un claro indicio de que el valor sugerido por el IPCC debe ser reconsiderado para condiciones de manejo de la ganadería en el trópico, como las imperantes en Costa Rica. Por esta razón se requiere más investigación de este tipo, para disponer de más factores de emisión (para diferentes pastos, categoría de bovinos y sus combinaciones), validarlos y con ellos obtener emisiones de metano más reales y con bajo nivel de incertidumbre para nuestros sistemas de producción ganaderos.

4. Conclusiones

De acuerdo con las condiciones bajo las cuales se desarrolló esta fase de implementación, se concluye que la técnica de medición implementada mostró ser apropiada para las condiciones de estabulación utilizadas en este trabajo; donde el valor promedio de emisión de metano determinado resultó congruente con valores reportados en otras investigaciones. Esta técnica permite conocer la emisión de metano entérico para cada bovino individualmente.



Con base en los resultados obtenidos, la técnica del SF₆ puede ser utilizada para determinar la emisión de metano en bovinos en pastoreo en el trópico, ya que no se detectaron problemas en los bovinos o el equipo utilizado. Los valores de emisión de metano encontrados están dentro de los rangos reportados con bovinos en pastoreo en el trópico. Se recomienda desarrollar más investigación en pastoreo que permita, no solo verificar la información generada en esta implementación, sino también disponer de más datos que faculten el desarrollo de factores de emisión nacional. Se debe continuar utilizando esta técnica para obtener factores de emisión de metano para bovinos en pastoreo, de acuerdo con el manejo de pasturas característicos de nuestros sistemas de producción ganadera. Por ello, es necesario en futuros trabajos de investigación, determinar el consumo en pastoreo para calcular con baja incertidumbre el P_m, el cual es clave para estimar la emisión de metano entérico por categoría animal y tipo de forraje, entre otros.

5. Comentario final

Es importante mencionar que este trabajo de implementación es pionero en su género en el país, y la información generada es básica y fundamental para futuros trabajos de investigación, en los cuales se pretendan desarrollar opciones de mitigación para el metano generado por fermentación entérica en ganado bovino, en los que resulta indispensable determinar el cambio en la emisión como resultado de la implementación de la opción de manejo de pasturas o de nutrición recomendada. La experiencia generada es básica para el manejo de la técnica, y será de gran utilidad para aplicarla en subsiguientes fases de investigación.

El desarrollo de esta experiencia es fundamental para poder generar información que permita reducir sustancialmente el nivel de incertidumbre asociado con los inventarios nacionales de la emisión de GEI en el sector pecuario. Este tipo de trabajos es la primera vez que se realizan en el país y, en consecuencia, permitirá determinar la emisión real de metano que un bovino produce en condiciones de estabulación y en pastoreo consumiendo pastos tropicales. Datos previos utilizados y reportados en Costa Rica han sido generados utilizando las guías que, para tal fin, han sido elaboradas por el IPCC (2006), o bien, utilizando modelos de simulación.

6. Agradecimientos

Este estudio se realizó en el marco del Convenio Interinstitucional INTA-IMN, gracias al financiamiento recibido del PNUD (proyecto LECB-08317) y FITTACORI (proyecto F010-2011). Agradecemos las oportunas observaciones por parte de la Revista y personas revisoras anónimas.

7. Referencias

- Blaxter, K. y Clapperton, J. (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Br. J. Nutr.*, 19, 511-522. doi: <https://doi.org/10.1079/bjn19650046>
- Boadi, D., y Wittenberg, K. (2002). Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer gas technique. *Can. J. Anim. Sci.*, 82, 201-206. doi: <https://doi.org/10.4141/a01-017>



- Bunglavan, S. (2014). Methanogenesis and recent techniques for mitigation of methanogenesis in ruminants. *J. Livestock Sci.*, 5, 35-48.
- Clark, H., Kelliher, F., y Pinares-Patiño, C. (2011). Reducing CH₄ emissions from grazing ruminants in New Zealand: Challenges and opportunities. *Asian-Australian J. Anim. Sci.*, 24(2), 295-302. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.r.04>
- Chacón, A., Jiménez, G., Montenegro, J., Sasa, J., y Blanco, K. (2014). *Inventario nacional de emisión de gases con efecto invernadero y de absorción de carbono en Costa Rica en el 2010*. San José, Costa Rica: MINAE-IMN.
- DeRamus, H., Clement, T., Giampola, D., y Dickison, P. (2003). Methane emissions of beef cattle on forages: Efficiency of grazing management systems. *J. Environ. Qual.* 32, 269-277. doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2003.2690>
- Dini, Y. (2012). *Emisión de metano entérico de vacas lecheras en pastoreo de praderas dominadas por gramíneas o por leguminosas* (Tesis de maestría). Universidad de la República, Uruguay.
- Eckard, R., Grainger, C., y de Klein, C. (2010). Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. *Livest. Sci.*, 130, 47-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010>
- Eun, J., Fellner, V., y Gumpertz, M. (2004). Methane production by mixed ruminal cultures incubated in dual-flow fermenters. *J. Dairy Sci.*, 87, 112-121. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73148-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73148-3)
- Grainger, C., y Beauchemin, K. (2011). Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Anim. Feed Sci. Technol.*, 166-167, 308-320. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.021>
- Grainger, C., Clarke, T., McGinn, S., Auldist, M., Beauchemin, K., Hannah, M., Waghorn, G., Clark, H., y Eckard, R. (2007). Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer and chamber techniques. *J. Dairy Sci.*, 90, 2755-2766. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-697>
- Hegarty, R., Goopy, J., Herd, R., y McCorkell, B. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J. Anim. Sci.*, 85, 1479-1486. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>
- Herrero, M., Gerber, P., Vellinga, T., Garnett, T., Leip, A., Opio, C., Westhoek, H., Thornton, P., Olesen, J., Hutchings, N., Montgomery, H., Soussana, J., Steinfeld, H., y McAllister, T. (2011). Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 779-782. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.083>
- Haydock, K., y Shaw, N. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian J. Experimental Agriculture and Anim. Husbandry*, 15, 663-670. doi: <https://doi.org/10.1071/ea9750663>



- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *Climate change 2006: The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Johnson, K., Westberg, H., Michal, J., y Cossalman, M. 2007. The SF6 trace technique: methane measurement from ruminants. En H. Makkar and P. Vercoe (Eds.), *Measuring methane production from ruminants* (Chapter 3, pp. 33-67). New York: Springer.
- Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B., y Zimmerman, P. (1994). Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. *Environ. Sci. Tech.*, 28, 359-362.
- Johnson, K., y Johnson, D. (1995). Methane emissions in cattle. *J. Anim. Sci.*, 73, 2483-2492. doi: <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Lassey, K., Piñares-Patiño, C., Martin, R., Molano, G., y McMillan, A. (2011). Enteric methane emission rates determined by the SF6 tracer technique: Temporal patterns and averaging periods. *Anim. Feed Sci. and Technol.*, 166-167, 183-191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.066>
- Lassey, K. (2004). Livestock methane emission: measurement methods, inventory estimation, and the global methane cycle. *Agric. For. Meteorol.*, 142, 120-132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.028>
- Lassey, K., Piñares-Patiño, C., y Ulyatt, M. (2002). Methane emission by grazing livestock: some findings on emission determinants. En J. Ham, A. Baede, L. Meyer, R. Guicherit and J. Williams-Jacobs (Eds.), *Non-CO₂ Greenhouse Gases: Scientific understanding, control options and policy aspects* (January 21-23. p. 95-100). Maastricht, Netherlands.
- McGinn, S., Beauchemin, K., Iwaasa, A., y McAllister, T. (2006). Assessment of the sulfur hexafluoride (SF6) tracer technique for measuring enteric methane emissions from cattle. *J. Environ. Qual.*, 35, 1686-1691. doi: <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0054>
- Moe, P., y Tyrrell, J. (1979). Methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 62, 1583-1586. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(79\)83465-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(79)83465-7)
- Montenegro, J., Abarca, S. (2001). *Importancia del Sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global*. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José.
- Moysés, C. (2007). *Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo Brachiaria brizantha em diferentes estádios de maturação* (Tesis de maestría). Universidade de São Paulo.
- Pedreira, M., Primavesi, O., Aparecida, M., Frighetto, R., de Oliveira, S., y Berchielli, T. (2009). Ruminant methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil. *Sci. Agric.* (Piracicaba, Braz.), 66(6), 742-750. doi: <https://doi.org/10.1590/s0103-90162009000600004>



- Primavesi, O., Shiraishi, R., Pedreira, M., de Lima, M., Berchielli, T., y Barbosa, P. (2004). Metano entérico de bovinos leiteiros em condições trópicas brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(3), 277-283. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011>
- Talleg, T., Klumpp, K., Hensen, A., Rochette, Y., y Soussana, J. (2012). Methane emission measurements in a cattle grazed pasture: a comparison of four methods. *Biogeosciences Discuss*, 9, 14408-14436. doi: <https://doi.org/10.5194/bgd-9-14407-2012>
- Tan, H., Sieo, C., Abdullah, N., Liang, J., Huang, X., y Ho, Y. (2011). Effects of condensed tannins from leucaena on methane production, rumen fermentation and populations of methanogens and protozoa in vitro. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 169, 185–193. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.07.004>
- Velásquez, R. (2005). *Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas naturalizadas en función de dos épocas, manejo y condición de paisajes en Muy Muy, Nicaragua* (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Waghorn, G., y Hegarty, R. (2011). Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Anim. Feed Sci. and Technol.*, 166–167, 291-301. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.019>