

Cuantificación de las emisiones de metano entérico en vacas Holstein bajo condiciones de pastoreo en el trópico alto colombiano

Edgar Augusto Mancipe*
 Juan de Jesús Vargas*
 Yesid Avellaneda*
 Andrea Milena Sierra*
 Erika Natalia Durán*
 Ronnal Esneyder Ortíz*
 Olga Lucía Mayorga*

*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. C.I. Tibaitatá. Km 14 Vía Mosquera. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.



Resumen

El país debe incrementar los índices de productividad, calidad e inocuidad de la leche para cubrir la demanda nacional y producir excedentes para los mercados externos, sin afectar en forma significativa el medio ambiente. Por lo tanto, es imperativo desarrollar sistemas de alimentación que contribuyan a aumentar la producción de leche pero que simultáneamente reduzcan las emisiones de entérico (CH_4). El objetivo de este trabajo fue implementar la técnica del gas trazador de hexafluoruro de azufre (SF_6) para determinar las emisiones de CH_4 entérico en vacas de leche en pastoreo al incorporar una suplementación estratégica en el centro de investigación Tibaitatá de Agrosavia (Mosquera, Cundinamarca), ubicado a 2560 msnm, en el trópico alto andino colombiano. Para este experimento se seleccionaron diez vacas multíparas en tercer tercio de lactancia, las cuales fueron aleatorizadas en dos tratamientos: 1. manejo convencional (pastura + balanceado comercial) y 2. suplementación estratégica (pastura + mezcla preparada a mínimo costo). En cada periodo de evaluación se estimó la producción de metano entérico a través de la

metodología del marcador de hexafluoruro de azufre (SF_6), la producción y la composición láctea y se tomaron muestras de los recursos alimenticios y excretas para la evaluación de consumo. La cuantificación de CH_4 y SF_6 se realizó por cromatografía de gases. La suplementación elaborada con materias primas disponibles y en función de la calidad nutricional de la biomasa forrajera, no modificó la producción láctea (convencional: 13.0 y estratégico: 12.6 litros/v/d), ni las emisiones de metano por unidad de materia seca consumida (convencional: 20.8 y estratégico: 20.3 g kg-1MS). Sin embargo, incrementó las concentraciones de sólidos en la leche (convencional: 11.5 y estratégico: 11.8%), redujo las emisiones de metano por unidad de leche corregida (convencional: 30,6 y estratégico: 26.5 g kg-1LCG) y disminuyó en 15.7% los costos por litro producido. La suplementación estratégica aumentó la calidad composicional de la leche y redujo las emisiones por unidad de leche corregida grasa.

Palabras claves: Trópico alto colombiano, estrategias nutricionales, emisiones de metano, producción lechera.



Ministry for Primary Industries
 Manatū Ahu Matua



AGROSAVIA



1. Introducción

La actividad lechera en el trópico alto colombiano tiene algunos rasgos de insostenibilidad como lo son el incremento de los costos unitarios de producción, asociados con el aumento de uso de suplementos concentrados y de insumos agrícolas; y un balance nutricional negativo, generado por la limitada oferta alimenticia en términos de calidad y cantidad (Pulido, 2005). En los sistemas ganaderos de trópico alto colombiano es tradicional encontrar una base forrajera sustentada en el monocultivo de kikuyo (*Cenchrus clandestinum*), con niveles elevados de fertilizantes nitrogenados, y en donde generalmente se usan suplementos alimenticios ricos en proteínas y carbohidratos solubles (Pulido, 2005). Es por esto, que el balanceo adecuado y la incorporación de subproductos agroindustriales en la dieta de los rumiantes resulta en la mayor fermentación ruminal (Losada et al., 2017 Garg et al., 2016), incremento en la productividad animal y reducción en las emisiones de metano entérico (Knapp et al., 2014). De otra parte, dentro de los métodos de evaluación de las emisiones de CH_4 entérico bajo condiciones en pastoreo en rumiantes, se encuentra la técnica con el trazador SF_6 , descrita por Berndt et al. (2014). Esta técnica permite medir las emisiones CH_4 , sin impedir ni limitar los movimientos ni los hábitos de los animales en la pastura (Johnson et al., 2007; Woodward et al., 2004; Grainger et al., 2010, Hristov et al., 2018). En este orden de ideas el objetivo de este estudio fue implementar la técnica del gas trazador SF_6 para determinar las emisiones de CH_4 entérico en vacas Holstein en pastoreo suplementados estratégicamente en un sistema pastoril del trópico alto andino colombiano.

2. Metodología

Para cuantificar el CH_4 entérico emitido por los animales se utilizó la técnica del trazador de SF_6 , su implementación en condiciones de trópico alto colombiano constó de dos fases.

2.1 Fase 1: Ajuste de las condiciones de muestreo y cuantificación de CH_4 y SF_6

Los ajustes realizados durante esta fase fueron previos al periodo experimental y se realizaron en condiciones de laboratorio.

2.1.1 Cuantificación de SF_6 y CH_4

La cuantificación de SF_6 y CH_4 se realizó en un cromatógrafo de gases marca Shimadzu GC-2014 equipado con un detector de captura de electrones (ECD) y una columna capilar marca Restek Rt-M sieve 5A (40-60 mesh). Para el CH_4 se utilizó un cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosystem XL equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna capilar de Aluminosilicato (referencia # N931-6361 PE-MOLESIEVE) marca Perkin Elmer.

2.1.2 Ajuste de los tubos de permeación con SF_6

Se adquirieron 20 tubos de permeación a la Universidad de la Florida con seguimiento gravimétrico durante seis semanas. Una vez llegaron a Colombia, se mantuvieron en una estufa Memmet 100 a 39°C y se continuó la evaluación de los pesos utilizando una balanza analítica digital (Mettler AE 200) durante 8 semanas. Posterior a ello, se determinó las tasas de liberación de los tubos, descartando aquellos que presentaron un coeficiente de determinación menor a 0,999. Se determinó que la tasa promedio de liberación de SF_6 fue de $2146,67\text{ ng/min} \pm 138,26$ a una en las condiciones experimentales.

2.1.3 Construcción de canister y líneas

En este ensayo, se construyeron canister en forma de "U", con un volumen de 2170 ml, hechos en PVC y con una extensión en manguera entre el codo y el adaptador quick connect (swagelok), que da flexibilidad y evita que el codo se rompa (Imagen 1), en caso de que el animal golpee el canister contra alguna superficie de acuerdo con el Dr. Nicolas Di Lorenzo de la Universidad de Florida, USA (Comunicación personal).



Imagen 1. Canister en forma "U" con manguera flexible, utilizado en el ensayo animal.

2.1.3.1 Líneas de flujo

La línea permite el paso de los gases desde los ollares del animal y hasta el canister. Está conformada por mangueras de nylon de 1/8", un tubo capilar de cromatografía de 10 cm de longitud (1/16" de diámetro externo y de 0.005" de diámetro interno), accesorios (nuez B-202-1, rula B-200-SET de 1/8", marca Swagelok), un filtro para evitar el taponamiento del capilar por partículas y humedad hecho con una manguera flexible de silicona perforada.

2.1.3.2 Calibración de capilares

Durante el armado de la línea de flujo, se ajusta el capilar para asegurar que el paso del aire se constante (velocidad y duración) durante el tiempo de medición (24 h). Según Berndt et al. (2014) la tasa de flujo puede modificarse a través de la longitud o la constricción mecánica del capilar. En los ensayos realizados se utilizaron capilares de acero inoxidable (10 cm) y la restricción de flujo se hizo mediante constricción utilizando unas pinzas y una prensa manual. La velocidad de paso del aire por la línea se determinó conectándola a un canister (presión -7 atm) y a un medidor de flujo digital (Marca: Cole-Parmer). Dado que la literatura no reporta valores de tasas de paso de capilares en ensayos en condiciones de altura, se realizaron diferentes experimentos que permitieron definir un flujo de paso de 0.48 cc/min resultando en el llenado del 33% de la capacidad del canister durante las 24 horas de medición. Por último, se recubrió la totalidad de la línea con cinta adhesiva, para protegerla de daños mecánicos que puedan ser ocasionados por el roce contra otros objetos por parte del animal, y se aseguró con amarres plásticos sobre la jáquima.

2.1.4 Presurización de canister con Nitrógeno (N₂) y toma de submuestras de gas

Previo a los ensayos con los animales, se realizaron ejercicios en laboratorio para definir el protocolo de toma de submuestras y limpieza de los canister. Para la toma de las submuestras desde los canister se definió que se debe utilizar una línea para presurizar los canister (hasta una presión de 1.2 atm), con N₂ UAP Grado 5.0, para equilibrar la presión interna con la atmosférica y facilitar la toma de las submuestras. Dado que el SF₆ es un gas con un peso molecular alto y con características de adherirse a las paredes de los canister, se realizaron ensayos preliminares en los cuales se colocaron canister en una estufa a

21°C durante 2 hora y se generó turbulencia utilizando una jeringa de 60 ml para generar una distribución homogénea de los gases al interior del canister. Luego, empleando una jeringa de 10 ml se tomaron 5 submuestras que fueron conservadas en tubos al vacío (vacutainer) para posterior análisis de cromatografía. Finalmente, la limpieza de los canister fue realizada saturando con N₂ y evacuado el gas de los canister por tres ocasiones.

2.2 Fase 2: Determinación de CH₄ entérico de vacas bajo pastoreo

El ensayo con animales se realizó en el hato del centro de investigación Tibaitatá en Mosquera, Cundinamarca a 2560 m.s.n.m, con una media de precipitación de 669 mm a-1 y una temperatura de 13°C. Se seleccionaron diez vacas multíparas de raza Holstein con un peso vivo de 683±94 kg, una producción de leche de 18±2 L y 240±55 días en leche, las cuales fueron aleatorizadas en dos tratamientos (Imagen 2): 1. manejo convencional (pastura + balanceado comercial) y 2. suplementación estratégica (pastura + mezcla preparada a mínimo costo). Se mantuvo una sola etapa de acostumbramiento de 10 días antes del inicio de los periodos experimentales, en la cual se colocaron las jáquimas y mangueras flexibles de 2 pulgadas (simulando el canister) a cada vaca, cambiándolas a diario luego del ordeño de la tarde. El experimento constó de cuatro periodos de 20 días cada uno, en donde, los primeros 15 días se consideraron de adaptación y los 5 finales de evaluación.

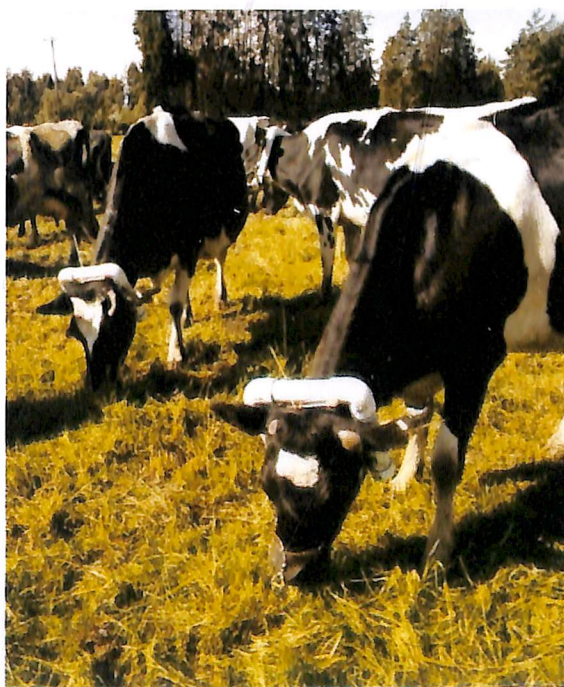




Imagen 2. Pastoreo de kikuyo y suplementos nutricionales evaluados.

Periodo de Adaptación (día 1 a 15): Se introdujeron los tubos de permeación a cada animal utilizando una pistola lanza bolos. Posterior a la inserción, los animales estuvieron 30 minutos en observación para asegurar que no regurgitaran el tubo. Se inició el suministro de la mezcla experimental (4 kg/v/d) y del marcador externo sobre el suplemento (dióxido de titanio, 10 g al día). Para complementar la información de las emisiones de metano se recolectó una muestra de aproximadamente 50 ml de fluido ruminal a través de sonda oro-ruminal y se tomó una muestra de 200 g de heces, directamente del recto del animal, las cuales fueron conservadas en congelación a -20°C para posterior análisis. Finalmente, se realizó el pesaje de los animales con báscula. Luego del ordeño de la tarde los animales ingresaron en el corral de manejo donde se realizaron actividades de rutina, cambio de mangueras y jáquimas hasta el día de instalación de los canister en el animal.

Periodo de evaluación (día 16 al 20): Se tomaron muestras de leche, heces, forraje y gases diariamente. Durante el ordeño de la tarde se colocaron las jáquimas con las líneas y los canister limpios y evacuados. Luego de 24 horas, se quitaron los canister, se les revisó la presión final y se cambiaron por canisters limpios (Figura 1). Después de retirar los canister con la muestra de gas, éstos fueron procesados para la toma de submuestras, fueron saturados (hasta 1.2 atm) con N_2 y conservados durante 16 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se metieron en una estufa de aire forzado a 25°C durante 2 horas, se generó turbulencia con una jeringa de 60 ml y se tomaron muestras de 7 ml en tubos de vidrio al vacío (vacutainer) debidamente rotulados, usando una válvula de tres pasos. Las muestras fueron conservadas al ambiente para posterior análisis de cromatografía. Para limpiar los canister se saturaron con N_2 hasta alcanzar una presión de 5.6 atm y posteriormente vaciados

a -7 atm utilizando una bomba de vacío (este procedimiento se repitió 3 veces).

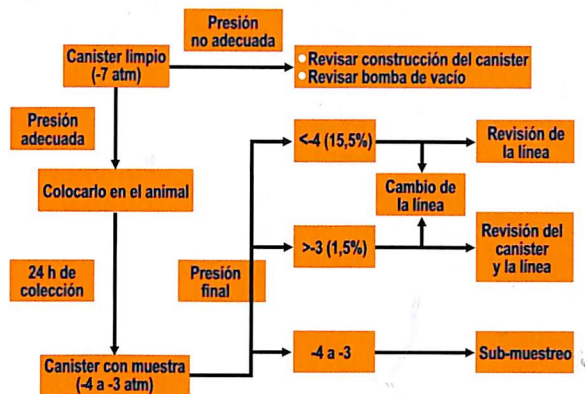


Figura 1. Proceso de seguimiento de los canister en los animales bajo experimentación.

2.3 Análisis Estadístico

Por la variación en aspectos experimentales asociados al comportamiento productivo de los animales y la forma en la que se realizó el muestreo de los gases evaluados, se analizó cada periodo por separado mediante estadística descriptiva con el fin de evaluar el nivel de variabilidad obtenido por los ajustes en la medición y estimación de los valores de los gases. Los análisis fueron realizados en el programa SAS Enterprise 7.12.

3. Resultados y discusión

El consumo de alimento estimado fue similar entre los tratamientos evaluados (convencional: 10.6 y estratégico: 10.6 kg MS). La producción de leche no fue diferente entre las dietas evaluadas (convencional: 13.0 y estratégico: 12.6 litros/v/d). Sin embargo, la concentración de grasa y sólidos totales fue mayor en la leche de los animales que recibieron el suplemento estratégico frente a los animales alimentados con concentrado convencional (estratégico: 4.42 y 11.8 %; convencional: 3.93 y 11.5%, respectivamente).

La respuesta de las emisiones de metano dadas a lo largo de los cuatro periodos experimentales mostró diferencias numéricas que sugirieron fueron causadas por los ajustes metodológicos que se estaban realizando en la técnica del trazador SF_6 . Por esta razón, los datos obtenidos durante cada uno de los cuatro periodos de experimentación por cromatografía de gases fueron analizados mediante cinco escenarios propuestos, que permitiera dar más consistencia a los resultados y así poder llevar a cabo un

análisis correcto de la información. En un primer escenario se evaluaron los datos crudos obtenidos por cromatografía de gases, en el segundo escenario se eliminaron valores que no reportaron valor en cromatografía en SF₆, en el tercero se incluyeron solamente los valores de los blancos de SF₆ que se encontraron entre 6 y 11 ppt, en el cuarto se excluyeron los blancos para el análisis de SF₆, y por último se tuvieron en cuenta solo los valores que estuvieron entre los rangos biológicos reportados por la literatura (Hristov et al., 2018). Al utilizar la metodología propuesta en el escenario cinco, la producción de metano no

fue diferente entre el tratamiento convencional y el estratégico cuando se expresó en g día⁻¹, g Kg⁻¹ MS consumida estimada, ni respecto a la proporción de la EB consumida. Sin embargo, el grupo que recibió el suplemento convencional presentó una mayor producción de metano al expresarlo por kilogramo de leche corregida por grasa respecto al grupo que recibió el suplemento estratégico (30.6 vs. 26.5 g/kg leche corregida, respectivamente) (Tabla 1). Esta respuesta se explica por la mayor producción de leche corregida grasa de los animales que recibieron la suplementación estratégica.

Tabla 1. Emisiones de metano de vacas de leche suplementadas con concentrado comercial o una mezcla formulada a mínimo costo en trópico alto colombiano.

Ítem	Convencional	Estratégico	ESM	Significancia
g día ⁻¹	329.3	334.8	17.5	ns
g Kg ⁻¹ MS consumida estimada	20.8	20.3	1.1	ns
g Kg ⁻¹ leche corregida grasa	30.6 ^a	26.5 ^b	1.7	*
% EB	5.0	4.9	0.2	ns

^{a,b}. Letras diferentes dentro de la fila, diferencias significativas entre tratamientos. ns: no significativo, *: p<0,05

Finalmente, la suplementación estratégica redujo en 15.7 % los costos por litro de leche y en 17% los costos por gramo de CH₄ producido.

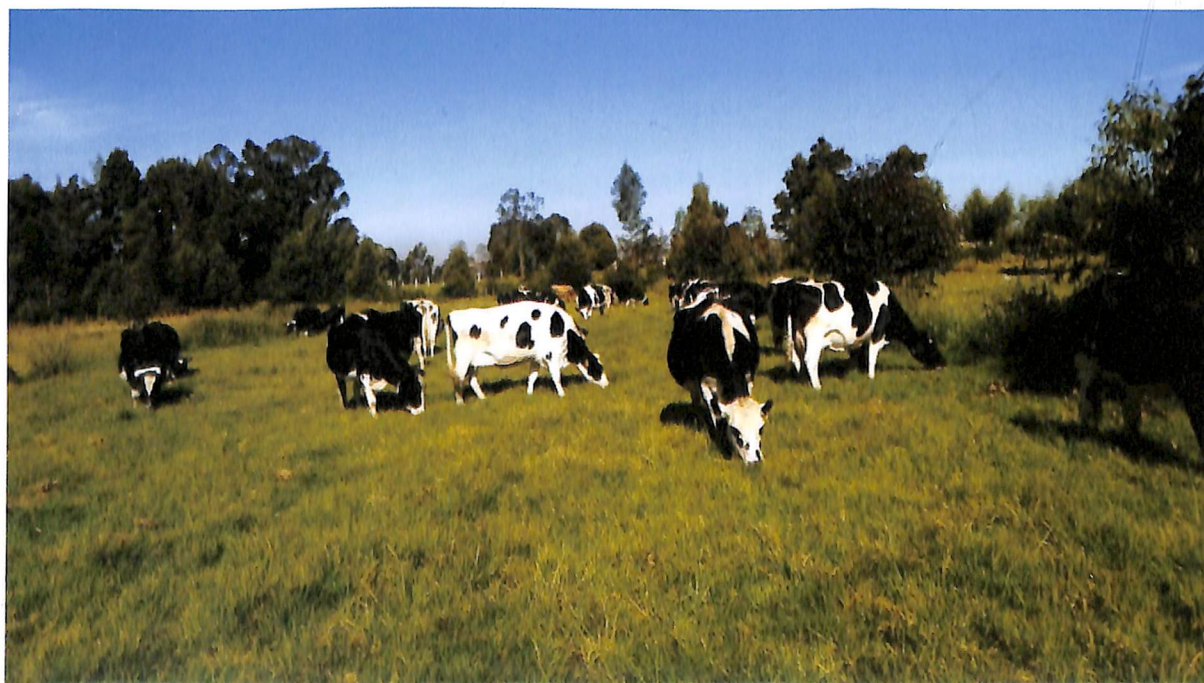


Imagen 3. Sistema de producción de leche en trópico alto colombiano.

Bibliografía

- Berndt, A., T. Boland, M. Deighton, J. Gere, C. Grainger, R. Hegarty, A. Iwaasa, J. Koolgaard, K. Lassey, D. Luo, R. Martin, C. Martin, P. Moate, G. Molano, C. Pinares-Patiño, B. Ribaux, N. Swainson, G. Waghorn, and S. Williams. 2014. Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants. Pages 166. M. G. Lambert, ed. New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre, New Zealand.
- Garg, M., B. Phondba, P. Sherasia, and H. Makkar. 2016. Carbon footprint of milk production under smallholder dairying in Anad district of Western India: a cradle to farm gate cycle assessment. *Anim Prod Sci.* 56: 423-436.
- Grainger, C., Williams, R., Clarke, T., Wright, A. - G., & Eckard, R. J. 2010. Supplementation with whole cottonseed causes long-term reduction of methane emissions from lactating dairy cows offered a forage and cereal grain diet. *Journal of Dairy Science*, 93(6), 2612-2619. DOI: 10.3168/jds.2009-2888
- Hristov, A.N.; Kebreab, E.; Niu, M.; Oh, J.; Bannink, A.; Bayat, A.R.; Boland, T.B.; Brito, A.F.; Casper, D.P.; Crompton, L.A.; Eugène, M.; Gansworthy, P.C.; Haque, N.; Hellwing, A.L.F.; Huhtanen, P.; Kreuser, M.; Kuhla, B.; Lund, P.; Madsen, J.; Martin, C.; Moate, P.J.; Muetzel, S.; Muñoz, C.; Peiren, N.; Powell, J.M.; Reynolds, C.K.; Schwarm, A.; Shingfield, K.J.; Storlien, T.M.; Weisbjerg, M.R.; Yáñez-Ruiz, D.R.; Yu, Z. 2018. Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models. *J Dairy Sci*, doi: 10.3168/jds.2017-13536
- Johnson, K.A.; Westberg, H.H.; Michal, J.J. and Cossalman, M.W. 2007. The SF₆ tracer technique: Methane measurement from ruminants. In: *Measuring Methane Production from Ruminants*. H.P.S. Makkar and P.E. Vercoe, ed. Springer, the Netherlands. Chapter 3. p 33-67.
- Knapp, J., G. Laur, P. Vadas, W. Weiss, and J. Tricarico. 2014. Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J Dairy Sci.* 97: 3231-3261.
- Losada, P., A. Cuesta, y J. Vargas. 2017. Efecto de *Caryodendron orinocense* sobre la degradación de la materia seca. *Agron. Mesoam.* 28(3): 667-675.
- Pulido, JI. 2005. Caracterización de los sistemas de producción de leche del trópico de altura en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Informe técnico final. CORPOICA, Bogotá. 112p.
- Woodward S, Waghorn G, Laboyrie P. 2004. Condensed tannins in birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) reduce methane emissions from dairy cows. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production.* 64: 160-164.



Descarga la versión electrónica

Biblioteca Agropecuaria
de Colombia - BAC



010100042208



Ministry for Primary Industries
Manatū Ahu Matua



AGROSAVIA

