



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Estimación del inventario de emisiones de metano entérico de ganado lechero en el departamento de Antioquia, Colombia**

**Alejandra Marín Gómez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad, Ciencias Agrarias  
Medellín, Colombia  
2013



# **Estimación del inventario de emisiones de metano entérico de ganado lechero en el departamento de Antioquia, Colombia**

**Alejandra Marín Gómez**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencias Agrarias**

Director (a):  
Zootecnista. Ph.D. Luis Alfonso Giraldo V  
Profesor Titular  
Departamento de Producción Animal  
Facultad de Ciencias Agrarias

Línea de Investigación:  
Nutrición Animal  
Grupo de Investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo - BIORUM

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Departamento de Producción Animal  
Medellín, Colombia  
2013



*(Dedicatoria)*

*A Gloria, mi inspiración y fortaleza.*



# Agradecimientos

Doy mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones que permitieron alcanzar todas las metas de mi investigación.

A todos los productores de leche de los municipios de Antioquia que hicieron parte de la investigación tales como: Jaime Rubio Escobar, Jorge Borda Correa, Jhon Jairo Restrepo Vélez, Yuban López, Gustavo Vásquez, Elkin Roldan, J. Mario Aristizabal, Herminia Preciado, Bernardo Arango, Saúl Preciado, Gustavo Vásquez y Carlos Vélez.

Representante legal de ECO-COMERCIAL **Federico Valderrama**, por facilitar las instalaciones y animales durante la ejecución del trabajo de campo.

Director de Investigación y Desarrollo Solla S.A **Luis Miguel Gómez** MVZ, MSc, por facilitar las instalaciones y animales durante la ejecución del trabajo de campo.

Profesional Gestión Productiva y Salud Animal de FEDEGAN **Luis Fernando Yepes Álvarez**, por facilitar información relacionado con los inventarios ganaderos de las regiones en investigación y ser intermediario con los productores de Santa Rosa de Osos, Antioquia.

Representante de ASOGANORTE **Mariano Restrepo**, por facilitar las fincas asociadas y ser intermediario con los productores de Yarumal, Antioquia.

Representante de UNILAC **Andrés Zapata** por facilitar las fincas asociadas y ser intermediario con los productores de La Unión, Antioquia.

Profesor **Luis Alfonso Giraldo V.** Zootecnista. MSc, PhD. Universidad Nacional de Colombia por su orientación, confianza y apoyo en todo mi proceso de aprendizaje.

Profesor **Guillermo Antonio Correa Londoño.** Ingeniero Forestal. MSc, PhD. Universidad Nacional de Colombia, por la asesoría profesional en todo lo relacionado con los análisis estadísticos del presente trabajo de investigación.

Profesor **Juan E. Carulla Fornaguera.** BSc., MSc, PhD. Por sus valiosas recomendaciones para el planteamiento del presente trabajo de investigación.

Profesor **Edgar Cárdenas** MSc, (c)PhD. Por sus valiosas recomendaciones y asesoría en el análisis de resultados del presente trabajo de investigación.

**Diana Marcela Valencia Echavarría.** Zootecnista. (c)MSc. Por la enseñanza sobre el manejo de las técnicas y equipos de laboratorio necesarios para llevar a cabo esta investigación.

**Paula Andrea Giraldo Parra. Zootecnista. (c)MSc.** Por su apoyo constante en toda la ejecución del presente trabajo de investigación.

**Wilyer García. Zootecnista. (c)MSc.** Por su valiosa colaboración durante todo el desarrollo, procesamiento de muestras y análisis de laboratorio, además por su amistad y apoyo incondicional durante todo el proceso de formación.

A todo el personal de la estación agraria Paysandú. **Universidad Nacional de Colombia.** Por facilitar las los muestreos, los animales y las instalaciones del centro agropecuario durante la ejecución del trabajo de campo.

**Grupo de Investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo BIORUM.** Universidad Nacional de Colombia por facilitar las instalaciones, equipos y materiales del Laboratorio de Biotecnología Ruminal y facilitar el desarrollo del presente trabajo de investigación.

**Colciencias,** por su apoyo con el programa nacional de formación de “Jóvenes Investigadores-Generación del Bicentenario”.

A **Omar Camargo,** gracias totales.



## Resumen

Se estimaron las emisiones de metano entérico producido por el ganado bovino lechero mediante la fermentación ruminal *in vitro* de pasturas y dietas provenientes de cinco municipios de clima frío del departamento de Antioquia; en cada uno de los cuales se seleccionaron cuatro fincas al azar (20 fincas total). En cada finca se tomaron muestras de pasto y del suplemento concentrado ofrecido a los animales y a partir de esas muestras se conformaron dietas en una relación pasto: concentrado 70:30, para un total de 20 muestras de pasto, 19 de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y 1 muestra de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y 20 dietas. A todos los pastos y dietas se les determinó la composición química (M.S, M.O, PC, FDN, FDA, Cenizas, Lignina, E.E y DIVMS) y los principales parámetros (Producción de gas, DMS, NH<sub>3</sub>-N, DFDN, DFDA, CH<sub>4</sub> y AGV) de la fermentación ruminal *in vitro* mediante la técnica acumulativa de producción de gases. Adicionalmente se realizaron pruebas de consumo de forraje voluntario de los animales en pastoreo por el método directo agronómico y finalmente se realizó la estimación de las emisiones de metano, con base en la información obtenida de las pruebas *in vitro*, las pruebas de consumo y los inventarios ganaderos por región. Se encontró que las emisiones de metano por animal al día, producto de la fermentación *in vitro* de pastos y dietas, ascienden a los 443,59 g y 648,80 g, respectivamente. De manera global, se estimó que las emisiones de metano entérico proveniente de la población bovina lechera estudiada (208.128 cabezas) a partir de la información generada con los pastos y dietas fue de 31,82 Gg/año y 46,08 Gg/año. Estas estimaciones extrapoladas al total de la población lechera mayor de 1 año del departamento de Antioquia (329.710 cabezas) ascenderían a 53,38 Gg/año con pastos o de 78,08 Gg/año con las dietas.

**Palabras claves:** fermentación ruminal, metano, *in vitro*.

## Abstract

Enteric methane emissions produced by dairy cattle in five municipalities located in cool climates in the department of Antioquia, Colombia were estimated through the *in vitro* ruminal fermentation of pastures and diets. Four farms were randomly selected from each of these five municipalities, for a total of 20 farms. Samples of the pasture and of the concentrated supplement offered to the animals in each farm were taken to the laboratory analysis. From these samples, diets were created with a 70:30 pasture:concentrate ratio for a total of 20 samples of pasture, 19 of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) and one sample of star grass (*Cynodon nlemfuensis*), and 20 from diets. The chemical composition (MD, MO, CP, NDF, ADF, ash, lignin, EE and DIVMS), as well as the main parameters of the *in vitro* ruminal fermentation through gas production (gas production, DMD, NH<sub>3</sub>-N, NDFD, DFDA, CH<sub>4</sub> and AGV), were determined both for pastures and for diets. Further tests were performed in order to determine the voluntary forage intake of grazing animals by means of the direct agronomic method. Finally, the estimation of methane emissions were carried out based on the information obtained from *in vitro* cumulative gas production technique (IVGPT), food intake and livestock inventories of each region. It was found that methane emissions per animal per day, due to the *in vitro* fermentation of pastures and diets amounted 443,59 g and 648,80 g, respectively. Overall, it was estimated that enteric methane emissions from dairy cattle population studied (208,128 heads) according to the information generated with pastures and diets was 31.82 Gg/year and 46.08 Gg/year, respectively. These estimations extrapolated to the total of dairy population over one year in the department of Antioquia (329,710 heads) ascended to 53.38 Gg/year with pastures or 78.08 Gg/year with diets.

**Keywords:** ruminal fermentation, methane, *in vitro*.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>X</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Lista de abreviaturas</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Capítulo 1 Emisiones de metano entérico producido por bovinos-revisión</b> .....	<b>5</b>
1.1 Resumen.....	5
1.2 Introducción .....	5
1.3 Antecedentes .....	7
1.4 Emisiones de metano entérico producido por bovinos.....	9
1.4.1 Metabolismo ruminal del metano .....	9
1.4.2 Factores que afectan la producción de metano .....	11
1.4.3 Metodologías para medir las emisiones de metano por rumiantes.....	14
1.5 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero –INGEI .....	16
1.5.1 Antecedentes .....	16
1.5.2 Metodología y disponibilidad de información .....	18
1.6 Conclusiones .....	20
1.7 Bibliografía.....	21
<b>2. Capítulo 2 Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> de pasturas y dietas provenientes del departamento de Antioquia.</b> .....	<b>27</b>
2.1 Resumen.....	27
2.2 Introducción .....	28
2.3 Materiales y métodos .....	29
2.3.1 Localización .....	29
2.3.2 Sustratos.....	30
2.3.3 Caracterización química.....	32
2.3.4 Pruebas de fermentación ruminal <i>in vitro</i> .....	32
2.3.5 Medición de pH .....	34
2.3.6 Concentración de Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> -N) en el líquido ruminal .....	34
2.3.7 Determinación de ácidos grasos volátiles (AGV) .....	34
2.3.8 Determinación de metano (CH <sub>4</sub> ) .....	35
2.4 Análisis estadístico .....	35
2.5 Resultados .....	36

2.5.1	Composición química.....	36
2.5.2	Parámetros de la fermentación ruminal <i>in vitro</i> .....	39
2.5.3	Relaciones entre la composición química y los parámetros de la fermentación ruminal <i>in vitro</i> .....	46
2.6	Discusión de resultados.....	47
2.6.1	Caracterización química de sustratos.....	47
2.6.2	Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> .....	49
2.6.3	Relaciones entre la composición química y los parámetros de la fermentación ruminal <i>in vitro</i> .....	57
2.7	Conclusiones.....	58
2.8	Bibliografía.....	59
<b>3.</b>	<b>Capítulo 3 Estimación de las emisiones de metano entérico de ganado bovino lechero en cinco municipios de clima frío del departamento de Antioquia.....</b>	<b>67</b>
3.1	Resumen.....	67
3.2	Introducción.....	68
3.3	Materiales y métodos.....	69
3.3.1	Localización.....	69
3.3.2	Sustratos.....	70
3.3.3	Pruebas de fermentación ruminal <i>in vitro</i> .....	70
3.3.4	Determinación de metano (CH <sub>4</sub> ).....	71
3.3.5	Pruebas de consumo agronómico.....	72
3.3.6	Estimación de las emisiones de CH <sub>4</sub> proveniente del ganado bovino lechero de Antioquia.....	72
3.4	Análisis estadístico.....	73
3.5	Resultados.....	73
3.5.1	Pruebas de consumo agronómico.....	73
3.5.2	Estimación de las emisiones de CH <sub>4</sub> proveniente del ganado bovino lechero de Antioquia.....	75
3.5.3	Inventario ganadero.....	76
3.6	Discusión de resultados.....	79
3.6.1	Estimación de las emisiones de CH <sub>4</sub> proveniente del ganado bovino lechero de Antioquia.....	79
3.7	Conclusiones.....	82
3.8	Bibliografía.....	83
<b>4.</b>	<b>Capítulo Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>87</b>
4.1	Conclusiones.....	87
4.2	Recomendaciones.....	88

- 
- A. Anexo:** Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo a las 24 horas. ....91
- B. Anexo:** Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo a las 48 horas .....93
- C. Anexo:** Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* de las dietas 70: 30, pasto kikuyo: suplemento concentrado respectivamente a las 24 horas 95
- D. Anexo:** Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* de las dietas 70: 30, pasto kikuyo: suplemento concentrado respectivamente a las 48 horas 97

## Lista de figuras

Pág.

<b>Figura 2-1</b> Representación biplot de los parámetros de la fermentación ruminal <i>in vitro</i> a las 24 horas del pasto kikuyo y las dietas (70:30). .....	45
<b>Figura 3-1</b> Escalamiento multidimensional de 20 fincas lecheras de Antioquia. .	74
<b>Figura 3-2</b> Distribución porcentual del inventario de hembras bovinas mayores de 1 año en cinco municipios del departamento de Antioquia .....	78

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1</b> Concentraciones anteriores y actuales de los principales gases de efecto invernadero.....	7
<b>Tabla 2-1</b> Identificación de sustratos (pastos y dietas) provenientes de diferentes fincas y municipios de Antioquia. ....	31
<b>Tabla 2-2</b> Composición química y digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) de las pasturas y dietas evaluadas, en diferentes municipios de clima frío de Antioquia. ....	37
<b>Tabla 2-3</b> Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> a 24 y 48 horas del pasto kikuyo proveniente de los cinco municipios de clima frío del departamento de Antioquia. ....	40
<b>Tabla 2-4</b> Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> a 24 y 48 horas de las dietas 70:30 kikuyo:concentrado, respectivamente proveniente de cinco municipios de clima frío del departamento de Antioquia. ....	41
<b>Tabla 2-5</b> Valores promedio de los parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> del pasto kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ) y sus respectivas dietas 70:30, proveniente de 5 municipios de Antioquia.....	43
<b>Tabla 2-6</b> Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> del pasto Estrella ( <i>Cynodon nlemfuensis</i> ) y sus respectivas dietas 70:30, proveniente del municipio de Yarumal, Antioquia. ....	44
<b>Tabla 2-8</b> Coeficientes de correlación de Pearson entre la producción de metano con la composición química y los parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> del pasto kikuyo y dietas (70:30) provenientes de diferentes municipios de Antioquia. ....	46
<b>Tabla 2-9</b> Predicción de la producción de metano (CH <sub>4</sub> ), del pasto kikuyo mediante análisis de regresión lineal. ....	47
<b>Tabla 3-1</b> Agrupamiento de fincas de acuerdo a la clasificación realizada con el análisis de escalamiento multidimensional.....	74
<b>Tabla 3-2</b> Valores promedio de consumo de materia seca de vacas lecheras. ...	75
<b>Tabla 3-3</b> Producción promedio de metano y factores de emisión de metano, estimado a partir de pastos y dietas incubados en la técnica <i>in vitro</i> de producción de gases de varios municipios de Antioquia. ....	76
<b>Tabla 3-4</b> Inventario ganadero de hembras mayores de 1 año y su inventario equivalente a 100 kg de peso vivo, en cinco municipios de Antioquia. ....	77
<b>Tabla 3-5</b> Estimación del inventario de emisiones de metano entérico emitido por el ganado lechero en cinco municipios del departamento de Antioquia, Colombia .....	77

## Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
<b>AGV</b>	Ácidos grasos volátiles
<b>C3</b>	Pastos de clima templado
<b>C4</b>	Pastos tropicales
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>DFDA</b>	Degradabilidad de la fibra en detergente ácido
<b>DFDN</b>	Degradabilidad de la fibra en detergente neutro
<b>DIVMO</b>	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica
<b>DIVMS</b>	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca
<b>DMS</b>	Degradabilidad de la materia seca
<b>EE</b>	Extracto etéreo
<b>EDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>eq</b>	Equivalente
<b>FAO</b>	food and agriculture organization (sigla en inglés)
<b>FDA</b>	Fibra en detergente ácido
<b>FDN</b>	Fibra en detergente neutro
<b>GEI</b>	Gases efecto invernadero
<b>Gg</b>	Giga gramos
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrogeno
<b>INGEI</b>	Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (sigla en inglés)
<b>LIG</b>	Lignina
<b>MO</b>	Materia orgánica
<b>MS</b>	Materia seca
<b>msnm</b>	metros sobre el nivel del mar
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Oxido nitroso
<b>NAD</b>	Nicotinamida adenina dinucleótido (forma oxidada)
<b>NADH</b>	Nicotinamida adenina dinucleótido (forma reducida)
<b>NH<sub>3</sub>-N</b>	Nitrógeno amoniacal
<b>PC</b>	Proteína cruda
<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>ppm</b>	partes por millón
<b>ppmm</b>	partes por mil millones
<b>PRICC</b>	Plan Regional Integrado de Cambio Climático Región Capital



## Introducción

Uno de los problemas que actualmente enfrenta nuestro planeta es el del calentamiento global debido al aumento del efecto invernadero causado por la acumulación de gases que atrapan el calor en la atmósfera (Soliva y Hess, 2007). El efecto invernadero es causado por gases denominados Gases Efecto Invernadero –GEI– de los cuales el metano es considerado como el segundo en importancia después del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Van Aardenne *et al.*, 2001). Las concentraciones atmosféricas de metano se han incrementado desde la era preindustrial y es ampliamente aceptado por la comunidad científica internacional que los bovinos representan una de las mayores fuentes antropogénicas de las emisiones de metano. Se estima que el metano de origen antropogénico liberado a la atmósfera alcanza los 320 millones de toneladas/año (Van Aardenne *et al.*, 2001) del cual 86 millones (26,87%), son atribuidos a la fermentación entérica (FAO, 2009).

La estimación de las emisiones de GEI obedece a un compromiso adquirido por los países participantes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático el cual debe cumplirse con la elaboración de los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera. Para tales efectos, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) estableció los lineamientos a tener en cuenta para estimar las producciones de metano basados en la aplicación de “factores de emisión” para cuyos cálculos se tienen en cuenta los inventarios ganaderos y el tipo de ganado de cada país (IPCC, 2006).

Dado que para el IPCC la producción de metano de origen ruminal está determinada por múltiples factores, recomiendan establecer lineamientos específicos para cada país a fin de estimar sus emisiones de la manera más aproximada posible. En tal sentido, se ha venido generando información e investigando sobre dichos inventarios, especialmente en las regiones tropicales donde la proporción de las pérdidas energéticas por efecto de las emisiones de metano es relativamente alta. No obstante algunos adelantos importantes, persiste un gran vacío en la información relacionada con el volumen de emisiones y en la eficacia de las estrategias de mitigación particularmente en regiones tropicales donde la gran mayoría de los rumiantes domésticos son alimentados con forrajes de calidades deficientes (Soliva y Hess, 2007).

Según el inventario de GEI para el año 2004, Colombia aporta el 0,37% (180.010 Gigagramos) del total emitido en el mundo además de este último informe se concluye también que el módulo "Agricultura" registra la mayor proporción en las emisiones totales de GEI en Colombia con una participación de 38,1% (68.566 Gg CO<sub>2</sub> eq), siendo del 18,5% la proporción en que la fermentación entérica participa en el total de los GEI en Colombia en 2004 (IDEAM, 2009)

En las subregiones norte y oriente el departamento de Antioquia, como una extensión de lo que sucede en las explotaciones lecheras ubicadas en el trópico alto colombiano, los sistemas de producción lechera con ganado bovino especializado, se caracterizan por utilizar dietas basadas en pasturas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) suplementadas con alimentos concentrados, de las cuales se desconoce su impacto ambiental y económico en función de las emisiones de metano. En ese sentido, se hace necesario adelantar una estimación de las emisiones de metano en este prototipo de ecosistemas de trópico alto dada la significativa participación de este subsector productivo en la economía nacional. Para tal efecto, se propondrá un modelo de inventario de emisiones de metano para la ganadería de leche regional basado en una aproximación metodológica internacionalmente aceptada y denominada "Técnica de Producción de Gases" (Theodorou *et al.*, 1994) del cual se espera sirva además de línea base para el diseño e implementación futura de estrategias de mitigación.

En dicho orden de ideas, el presente trabajo tiene como objetivo realizar un estimado del inventario de las emisiones de metano entérico producido por los bovinos en los sistemas de producción de leche especializada en el trópico alto Antioqueño con el fin de proponer un modelo de inventario de emisiones de metano, con posibilidades de aplicación en otras regiones del país.

## Bibliografía

- FAO. 2009. "La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones." Pp. 86-139, edited by H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. de Haan. Roma: FAO.
- IPCC. 2006. "IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Agriculture, forestry and land use. IGES. ." Pp. 1-87. Kanagawa, Japón. .
- Soliva, C. R. , and H. D. Hess. 2007. "Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques." Pp. 15-31 in *Measuring Methane Production from Ruminants*, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.
- Theodorou, M.K. , B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan, and France J. 1994. "A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds " *Animal Feed Science and Technology* 48:185-97.

---

Van Aardenne, J. A., F. J. Dentener, J. G. J. Olivier, C. G. M. Klein Goldewijk, and J. Lelieveld. 2001. "A High Resolution Dataset of Historical Anthropogenic Trace Gas Emissions for the Period 1890-1990." *Global Biogeochemical Cycles* 15(4):909-28.



# 1. Capítulo 1 Emisiones de metano entérico producido por bovinos- revisión

Marín A<sup>1</sup> y Giraldo L.A<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo BIORUM. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [amaring@unal.edu.co](mailto:amaring@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Profesor Titular. Departamento de producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [lagirald@unal.edu.co](mailto:lagirald@unal.edu.co)

## 1.1 Resumen

Las emisiones de metano por los rumiantes domésticos no solo representan un problema económico por las pérdidas energéticas que implican menor productividad, sino también uno ambiental debido al efecto del metano producto de la fermentación entérica sobre el calentamiento global. En esta revisión se exploran los antecedentes y el estado actual de las emisiones de metano entérico producido por bovinos, los factores que las afectan, las metodologías utilizadas para cuantificarlas y la información existente de inventarios de las emisiones de metano en Colombia. Se puede concluir que el metano producido y emitido por los bovinos domésticos, en su calidad de GEI, juega un papel cada vez más importante en relación con el calentamiento global dado su incremento en los últimos años; que la calidad y disponibilidad del forraje afectan de manera directa las emisiones de metano entérico producido por los bovinos, y que la medición de las emisiones de metano producto de la fermentación entérica es necesaria para el diseño de estrategias de mitigación eficaces.

## 1.2 Introducción

El calentamiento global es considerado como una seria amenaza ambiental, social y económica que enfrenta el planeta en la actualidad, gran parte del cual es atribuido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico (Beauchemin *et al.* 2008). Los principales GEI asociados con este fenómeno son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Es ampliamente aceptado por la comunidad científica internacional que los dramáticos aumentos en las concentraciones atmosféricas de metano registradas en el último siglo proceden de la fermentación entérica en los rumiantes, principalmente (FAO, 2009). La emisión de metano por parte de los rumiantes además de generar un impacto ambiental, representa una pérdida económica para la industria ganadera toda vez que la energía que el proceso de síntesis de metano consume debería ser canalizada para mejorar la productividad de los

animales (Johnson *et al.*, 2007). Se ha estimado que los rumiantes pueden producir entre 250 y 500 litros de metano por día (Johnson y Johnson, 1995a) y que dicha producción representa una pérdida de 2 al 12% de la ingesta de los rumiantes de la energía bruta (Johnson *et al.*, 2007), dependiendo del nivel de consumo de alimento, la composición de la dieta y la digestibilidad aparente de la energía alimentaria (Soliva y Hess, 2007).

El metano, principal forma de eliminación de hidrógeno (Moss *et al.*, 2000), es uno de los productos finales de la fermentación ruminal (Lopez y Newbold, 2007), resultado de un complejo sistema simbiótico compuesto por tres grupos microbiales: bacterias fermentativas, bacterias acetogénicas y bacterias metanogénicas (Van Soest, 1982).

La metanogénesis es afectada por una serie de variables que influyen directamente sobre la cantidad de metano que es producido y liberado por los rumiantes, entre los cuales se destacan la cantidad y calidad del alimento consumido, el tipo de carbohidratos en la dieta, el grado de procesamiento del alimento, la adición de lípidos o ionóforos a la dieta y las alteraciones en la microflora ruminal (Johnson y Johnson, 1995a), el tipo de pastura (Kamra *et al.*, 2010; Ulyatt *et al.*, 2002) y los factores medioambientales (Van Soest 1982) o de manejo tales como la fertilización (Ulyatt *et al.*, 2002), principalmente.

Las emisiones de metano provenientes del ganado han sido medidas como parte de estudios sobre fermentación ruminal, balance energético, evaluación de aditivos o para caracterizar la contribución de rumiantes a la carga global de CH<sub>4</sub>, emisiones que pueden ser cuantificadas mediante métodos *in vivo* e *in vitro* (Soliva y Hess, 2007) o mediante metodologías predictivas establecidas por las directrices del IPCC (IPCC, 1996). Diferentes países han implementado uno de estos métodos a fin de cumplir con lo estipulado por el Protocolo de Kyoto de reducir las emisiones de GEI (Las disposiciones de la Convención Marco 1998). Colombia, en atención a dicho Protocolo, ha presentado oficialmente dos informes sobre emisiones de GEI correspondientes a los años 1990-1994, 2000-2004. Según el inventario de GEI para el año 2004, Colombia aporta el 0,37% (180.010 Gigagramos) del total emitido en el mundo además de este último informe se concluye también que el módulo "Agricultura" registra la mayor proporción en las emisiones totales de GEI en Colombia con una participación de 38,1% (68.566 Gg CO<sub>2</sub> eq) (IDEAM, 2009) siendo del 18,5% la proporción en que la fermentación entérica participa en el total de los GEI en Colombia en 2004. Es de anotar que el aumento de la generación de GEI del inventario registrado entre los años 2000 y 2004 se concentra en el hato no lechero que pasó de aportar 27.772 de CO<sub>2</sub> eq (equivalente al 42% de las emisiones de esta categoría) a 30.266 de CO<sub>2</sub> eq (equivalente al 44% de las emisiones de esta categoría) para estos años.

Para efectos de levantar un inventario de emisiones de metano se deben tener en cuenta aspectos tan variados como los descritos anteriormente por lo cual el

documento que se presenta a continuación busca revisar un poco más a profundidad, los aspectos más importantes relacionados con el impacto, la producción, emisión y medición de las emisiones de metano por parte de los rumiantes con miras a darle contexto al trabajo en general y enriquecer la discusión de los resultados obtenidos.

### 1.3 Antecedentes

Uno de los problemas que el planeta enfrenta hoy es el del calentamiento global debido al aumento del efecto invernadero el cual aumenta por la acumulación de gases que atrapan el calor en la atmósfera (Soliva y Hess, 2007). La acumulación de gases de efecto invernadero –GEI– conlleva a un aumento de la temperatura global la cual al final del presente siglo serán muy probablemente superiores en magnitud a los observados durante el siglo XX y que según el informe especial del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (en inglés IPCC por *Intergovernmental Panel on Climate Change*) sobre escenarios probables de emisiones y las proyecciones de cambio climático (en inglés IEEA), estas podrían alcanzar aumentos de entre 1,1 °C hasta 6,4 °C, y consecuentemente a niveles sobre el nivel del mar de entre 18 y 59 cm superiores a los actuales, mayores precipitaciones en regiones altamente lluviosas y menores en regiones de menos precipitación (IPCC, 2007).

Entre los principales gases de efecto invernadero –GEI– que guardan relación con este proceso se destacan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los clorofluorocarbonos (FAO, 2009). Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750 y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales (IPCC, 2007). Las concentraciones atmosféricas de metano se han incrementado en aproximadamente un 150% desde la era preindustrial (Tabla 1-1), aunque recientemente se ha registrado una desaceleración en las tasas de aumento (FAO, 2009).

**Tabla 1-1** Concentraciones anteriores y actuales de los principales gases de efecto invernadero

Tipo de Gas	Concentraciones preindustriales (año 1750)	Concentraciones troposféricas actuales	Potencial de calentamiento global
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	277ppm	382 ppm	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	600 ppmm	1728 ppmm	25
Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	270-290 ppmm	318 ppmm	296

ppm: partes por millón; ppmm: partes por mil millones, Fuente: (FAO 2009).

Aunque el CO<sub>2</sub> es uno de los GEI más abundante y con mayor aporte al incremento del calentamiento global, las emisiones de metano, gas que posee un potencial de calentamiento 21-30 veces mayor que el CO<sub>2</sub>, se han venido incrementando aceleradamente en las últimas décadas (Carmona et al., 2005). Otros autores reportan que el metano (CH<sub>4</sub>) tiene un potencial de efecto invernadero 25 veces mayor que el CO<sub>2</sub>. (IPCC, 2007).

La quema de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que las actividades agrícolas son las principales contribuyentes de las emisiones globales de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (Lopez y Newbold, 2007; Wheeler et al., 2008). Según expertos del IPCC, algo más de la mitad de las emisiones actuales de CH<sub>4</sub> son de origen antropógeno generadas principalmente por el uso de combustibles fósiles, actividades ganaderas, actividades agrícolas (cultivo del arroz) y por los vertederos de residuos y desechos (IPCC, 2007). En terminos generales, se calcula que a nivel mundial la cantidad de metano antropogénico producido alcanza los 320 millones de toneladas de metano/año (Van Aardenne *et al.*, 2001) del cual un 27% (86 millones de toneladas al año) sería un producto de la fermentación entérica (FAO, 2009). Es estimado que la Agricultura representa alrededor del 10 al 12 % de las emisiones totales de GEI a la atmosfera (Smith *et al.*, 2007).

La exitosa adaptación de los rumiantes a sistemas basados en pasturas se debe principalmente a su capacidad de digerir los carbohidratos estructurales de las plantas. Esta función que es realizada por la microflora simbiótica presente en su sistema retículo-ruminal deja como subproducto el metano el cual es expulsado en su mayoría a través del reflejo del eructo y la respiración. Se estima que el 87% de la producción de metano se da en el rumen y 13% restante en el tracto digestivo posterior. De este último, aproximadamente el 89% es absorbido hacia la sangre y expirado a través de los pulmones (McCaughey *et al.*, 1999) lo cual indicaría que cerca del 98% del total de metano producido por los rumiantes puede ser expirado a través de la boca y los orificios nasales.

Según Johnson y Johnson, los animales producen entre 250 y 500 litros de metano al día (Johnson y Johnson, 1995a). Otros autores reportan que el ganado bovino produce alrededor de 150 a 420 Lt de CH<sub>4</sub> por día y las ovejas de 25 a 55 litros por día (Czerkawski, 1969; Holter y Young, 1992; McAllister *et al.*, 1996a). Se estima que la formación de metano representa una pérdida de 7 al 10% de la ingesta de los rumiantes de la energía bruta (Moss y Givens, 1993), dependiendo del nivel de consumo de alimento, la composición de la dieta y la digestibilidad aparente de la energía alimentaria (Soliva y Hess, 2007). Según otros autores la pérdida de energía bruta por metano puede ser del 2% en animales alimentados con dietas ricas en granos y de alrededor del 12% en animales alimentados con pasturas de baja calidad. Esa energía que se está perdiendo debería ser canalizada para mejorar la productividad de los animales y reducir las emisiones de metano (Johnson *et al.*, 2007). El metano es uno de los productos finales de la fermentación ruminal y es formado a partir de arqueas metanogénicas que



utilizan como sustrato el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub> derivado de las fuentes de carbono, en particular de los azúcares. Finalmente el metano es eliminado a través del eructo y la respiración y puede representar pérdidas de energía bruta entre el 5 y el 8% contenida en los alimentos consumidos por el animal (Lopez y Newbold, 2007)

## 1.4 Emisiones de metano entérico producido por bovinos

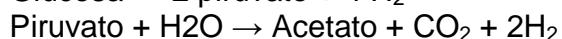
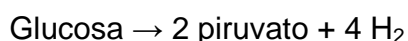
### 1.4.1 Metabolismo ruminal del metano

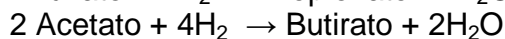
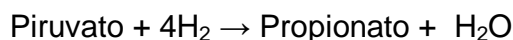
Los carbohidratos de la dieta ingeridos por los rumiantes son fermentados por los microorganismos anaerobios del rumen a ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente acetato, propionato y butirato, además de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrogeno (H<sub>2</sub>). Estos AGV's, si bien son productos de desecho para los microorganismos, representan la principal fuente energética para el rumiante y son ampliamente absorbidos a través de las paredes del rumen (Janssen, 2010; Moss y Givens, 1993; Relling y Mattioli, 2003). El gas hidrógeno producido durante la fermentación microbiana de los alimentos es utilizado como fuente de energía por las *archaea* metanogénicas (Janssen, 2010). Dichas moléculas de hidrógeno deben ser removidas para mantener la eficiencia energética en la fermentación (Beauchemin *et al.*, 2008). En el rumen, la formación de metano es la principal forma de eliminación de hidrógeno (Moss *et al.*, 2000). No obstante otras vías de remoción de hidrogeno se dan mediante el proceso de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados y la formación de ácido propiónico (Van Soest, 1982).

La fermentación de los carbohidratos de la dieta se da mediante un proceso oxidativo bajo condiciones anaeróbicas (glicólisis anaerobia) en el cual se obtienen cofactores reducidos como el NADH, durante este proceso es necesario mantener el equilibrio redox a través de la reoxidación de dichos cofactores a NAD. El exceso de poder reductor generado durante la conversión de glucosa a acetato o butirato se utiliza en parte durante la formación de propionato, pero principalmente por conversión en metano (Dijkstra, 1994).

Moss *et al.*, (2000), resumen de la siguiente manera la estequiometría de las principales rutas de fermentación:

#### Reacciones productoras de H<sub>2</sub>:



**Reacciones que utilizan de H<sub>2</sub>:**

La proporción de ácidos grasos volátiles (AGV) es en gran medida influenciada por la dieta y el estado de la población metanogénica en el rumen (Ishler *et al.*, 1994)

El metano, uno de los productos finales de la fermentación ruminal (Lopez y Newbold, 2007), es el resultado de un complejo sistema simbiótico compuesto por tres grupos microbiales: bacterias fermentativas, bacterias acetogénicas y bacterias metanogénicas (Van Soest, 1982).

Los microorganismos metanógenos están clasificados en el grupo de los procariotas, subgrupo arqueas caracterizados por ser unicelulares, sin núcleo definido, por una pared celular que no es de peptidoglicano como la de las bacterias sino de pseudomuerina (p.e., *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*), heteropolisacárido (p.e., *Methanosarcina*) o proteína (p.e., *Methanomicrobium*) y que viven en medios estrictamente anaerobios y obtienen energía mediante la producción metano (CH<sub>4</sub>). Esta última característica le confiere a este tipo de organismos una gran importancia ecológica dado que los faculta para intervenir en la degradación de la materia orgánica en la naturaleza y en el ciclo del carbono. Las metanógenas son un grupo filogenéticamente heterogéneo en donde el factor común que las une es la producción de gas metano y sus cofactores únicos (Balch *et al.*, 1979). La mayoría de las metanógenas (p.e., *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Methanomicrobium*) son capaces de usar H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> y formato como sustrato para producir CH<sub>4</sub> pero algunas (p.e., *M. barkeri*) son capaces de producir metano a partir de acetato, metilaminas y metanol (Stewart *et al.*, 1997). Las especies predominantes en rumen son la *Methanobrevibacter ruminantium* y la *Methanosarcina barkerii* (Sharp *et al.*, 2006).

El pH ruminal es uno de los principales factores que puede afectar la conformación de la población microbiana y los niveles de ácidos grasos producidos en el rumen. El pH ruminal al cual ciertas funciones son optimizadas puede variar. En el rumen hay dos grupos grandes grupos de bacterias que actúan a varios pH's. El de digestoras de fibra, las cuales son más activas a pH's de 6,2 a 6,8. Las bacterias celulolíticas y metanogénicas pueden verse reducidas cuando el pH comienza a caer por debajo de 6. Por su parte, el grupo de las digestores de almidón prefieren un ambiente más ácido a pH's de 5,2 a 6 (Ishler *et al.*, 1994).

### 1.4.2 Factores que afectan la producción de metano

La producción de metano principalmente depende de la cantidad y calidad del alimento que afecta la tasa de digestión y la velocidad de paso en el proceso de fermentación (Van Soest, 1982). Otros autores indican que la formación de metano producto de la fermentación ruminal está directamente relacionado con la calidad del forraje (Boadi *et al.*, 2002a; Ominski y Wittenberg, 2004; Ulyatt *et al.*, 2002) lo que a su vez está afectada por factores ambientales tales como la altitud, la latitud, la temperatura y el fotoperiodo (Van Soest, 1982) y la fertilización (Ulyatt *et al.*, 2002). Las pasturas en el trópico generalmente son de regular a baja calidad dada la cantidad de material lignocelulósico de poca digestibilidad y a los bajos tenores de otros nutrientes, principalmente carbohidratos solubles y proteína (Carmona *et al.*, 2005; Van Soest, 1982).

Se sugiere que el metano emitido por unidad de MS digerida es mayor para los rumiantes alimentados con pastos subtropicales (C4) que con pastos de climas templados (C3) lo cual es atribuido al mayor contenido de carbohidratos estructurales y lignina de las gramíneas C4 (Kamra *et al.*, 2010; Ulyatt *et al.*, 2002). Para otros autores, el sistema de producción así como el grupo racial de los animales, juegan un papel importante en las emisiones de metano producto de la fermentación ruminal (Pedreira *et al.*, 2009).

Las gramíneas C4 tienen generalmente una pared celular con mayor contenido de carbohidratos y menor digestibilidad comparadas con los pastos de clima templado en la misma etapa de crecimiento (Blaxter y Wainman, 1964; Minson 1981; Moe y Tyrell, 1979). Margan *et al.* (1988), mostraron que a medida que aumenta la proporción de carbohidratos de la pared celular en la dieta de los rumiantes a altos niveles de consumo de alimento, sus emisiones de metano también aumentan. Por lo tanto, es de esperarse mayores emisiones con gramíneas C4 que con plantas C3, en el mismo nivel de consumo. Este parece ser el caso, como estos mismo autores lo reportan, que las ovejas alimentadas con dos pastos tropicales C4 (*Digitaria decumbens* y *Setaria sphacelata*) registraron mayores emisiones de metano por unidad de energía consumible digerida que las ovejas alimentadas con forrajes C3 (*Lolium perenne* y *Trifolium repens*). Por su parte, McCrabb y Hunter, (1999) encontraron mayores valores para el mismo parámetro en bovinos alimentados con dos gramíneas tropicales (McCrabb y Hunter, 1999).

Varios reportes sugieren que la calidad del forraje tiene un impacto directo sobre las emisiones entéricas de metano, así ha sido comprobado tanto en modelos *in vitro* como en modelos *in vivo* (Boadi y Wittenberg, 2002; Boadi *et al.*, 2002a). Bovinos alimentados con heno de alta (61,5% DIVMO), media (50,7 DIVMO%) y baja (38,5% DIVMO) calidad difirió ( $P < 0,01$ ) en las emisiones de metano entérico ( $P < 0,01$ ), produjeron  $47,8 \pm 4,02$ ;  $63,7 \pm 4,02$  y  $83,2 \pm 4,02$  L CH<sub>4</sub>/Kg de materia orgánica digestible consumida a partir de el consumo de henos de alta, media y baja calidad, respectivamente (Boadi *et al.*, 2002a).

Dentro de los factores más importantes que influyen sobre la cantidad de metano producido y liberado por los rumiantes se encuentran: la cantidad y calidad del alimento consumido, el tipo de carbohidratos en la dieta, el grado de procesamiento del alimento, la adición de lípidos o ionóforos a la dieta y las alteraciones en la microflora ruminal. La manipulación de estos factores puede reducir las emisiones de metano del ganado. Estos mismos autores indican que los dos principales factores responsables de las variaciones en la producción de metano son la cantidad de carbohidratos fermentados en el retículo-rumen, lo cual implica diversas interacciones dieta-animal, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos y la tasa de pasaje (Johnson y Johnson, 1995a).

La degradación ruminal de un forraje o una dieta depende no sólo de sus características químicas y físicas sino también de su tiempo de retención (tasa de pasaje) en el rumen. Es ampliamente aceptado de manera general que las propiedades del forraje que disminuyen su digestibilidad o prolongan su permanencia en el rumen, aumentan la cantidad de metano producido por unidad digerida y de manera inversa, que la producción de metano disminuye con el aumento de las tasas de pasaje ruminales (McAllister *et al.*, 1996b). Esta relación inversa entre la producción de metano y tasas de pasaje es consistente con la disminución del 29% en la producción de metano registrada cuando la tasa de pasaje de material particulado en novillos a los cuales se les colocaron pesas en el rumen, se incrementó en 63% (Okine *et al.*, 1989). La producción de metano se redujo de 189 a 135 L/día sin cambiar la digestibilidad, pero sí las tasas de pasaje (Johnson y Johnson, 1995a).

El incremento de la tasa de pasaje por su parte, está asociado con altas concentraciones de H<sub>2</sub> en el rumen, relacionada a su vez con menos formación de metano, y el aumento de propionato como producto final de la fermentación. En general, los factores que se asocian con un aumento en la tasa de paso son los alimentos en el rumen asociados a su vez con una disminución en la cantidad de CH<sub>4</sub> formado por unidad de alimento digerido, también están asociados con un aumento en la proporción de propionato de entre los productos de fermentación en el rumen. Hay una fuerte correlación negativa entre la importancia de la formación de propionato en el rumen y la cantidad de CH<sub>4</sub> producido (Janssen, 2010).

Los microorganismos ruminales son muy sensibles a cambios en el pH y la mayoría funcionan mejor a un rango de pH entre 6.5 a 6.8. Las bacterias celulolíticas, en particular, son más sensibles a bajos pH que las bacterias amilolíticas (Grant y Mertens 1992). Hoover *et al* (1984) demostró que un pH alto (7.5) o bajo (5.5) severamente compromete la digestión de la fibra.

El consumo de alimentos concentrados, caracterizados por una mayor digestibilidad y una mayor tasa de pasaje se ha asociado a menores emisiones

de metano. Incrementos en la ingesta de concentrados pueden reducir la producción de metano de la energía bruta consumida, un descenso que es mayor al obtenido mediante el aumento en la ingesta de forraje (McAllister *et al.*, 1996a). Las dietas altas en granos (más de 90% de concentrado) suministrada cerca de los niveles de ingesta *ad libitum* pueden reducir las pérdidas de metano al 2-3% (Hutcheson, 1994; Johnson y Johnson, 1995a).

Cuando se aumenta el consumo, la producción total de metano aumenta, pero la cantidad de energía que se pierde en forma de metano por unidad de alimento consumido disminuye en un 12-30% (Blaxter y Wainman, 1961).

Según algunos autores, los rumiantes a los que son ofrecidas dietas ricas en almidones tiende a exhibir mayores producciones de propionato, menores relaciones de acetato: propionato y menores emisiones de metano (Demeyer y Van Nevel, 1975). Es conocido también que las altas tasas de fermentación de las dietas ricas en almidones, puede inhibir las bacterias metanogénicas y ciliados del rumen y aumentar la producción de propionato (Demeyer y Hendrickx, 1967; Eadie *et al.*, 1970; Van Kessel y Russell, 1995).

El impacto de la disponibilidad y la calidad de los pastos en las emisiones de metano entérico de ganado en sistemas de producción basados en pasturas se ha estudiado por Ominski *et al.*, (2004) quienes hallaron que las emisiones de metano entérico son afectadas tanto por el tipo de pastura y la temporada de pastoreo. Las emisiones son influidas por la calidad y la disponibilidad de la materia seca, en la medida en que las emisiones son más altas cuando la calidad del pasto y su disponibilidad son bajas. Los autores concluyen que las emisiones entéricas de metano son las más altas cuando el animal es sometido a forrajes de baja calidad y con limitadas oportunidades para seleccionar, es decir, forraje escaso y de pobre calidad (Ominski y Wittenberg, 2004).

En un extenso estudio sobre la calidad de las pasturas se presentan pruebas de que muchos de los pastos estudiados eran deficientes en diversos minerales como el cobre, el manganeso y el zinc. Se prevé que la falta de suplementos minerales o la ingesta inadecuada de mineral suplementario a través de estos pastos se traduce en un menor rendimiento, lo que a su vez incrementará las emisiones por unidad de producto (Wittenberg, 1997). Aparte de la gestión eficaz de los programas de alimentación, hay varias otras estrategias de manejo que sirven para mejorar la productividad animal. Éstos incluyen la adopción de estrategias de selección animal y mejoramiento genético, de manejo reproductivo y el uso de promotores del crecimiento para mejorar la productividad (Ominski y Wittenberg, 2004).

La selección genética de animales que consumen menos alimento o producen menos metano por unidad de alimento es otra estrategia de gestión que se puede emplear para reducir las emisiones de metano entérico. Algunos reportes demuestran que hasta un 27% de la variación en la producción de metano del

ganado en dietas basadas solo en forrajeras está asociada con la variación animal-animal (Boadi y Wittenberg 2002). Una considerable variación entre los animales de pastoreo ha sido observada también por otros autores (Lassey *et al.* 1997; Pinares-Patiño, Baumont y Martin 2003; Ulyatt *et al.* 1999) quienes estiman que la variación de animal-animal representa del 70% al 85% de la variación en la producción de metano diariamente. Dos aspectos que están siendo activamente investigados como medio para identificar los animales genéticamente superiores son la eficiencia alimenticia neta y el tiempo medio de retención de la digesta en el rumen (Hegarty, 2002).

Otro factor que afecta la producción de metano es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, la cual regula la producción de hidrógeno y la subsecuente producción de metano. Si la relación acético:propiónico llega a ser de 0.5 la pérdida energética puede ser de 0%. Pero si todos los carbohidratos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera propiónico las pérdidas energéticas podrían llegar a ser del 33%. La relación acético: propiónico puede variar entre 0.9 a 4, por lo tanto las pérdidas por metano varían ampliamente (Johnson y Johnson, 1995a).

En un resumen sobre las emisiones de metano entérico por parte de numerosas clases de ganado en los Estados Unidos dirigido por Johnson y Johnson, (1995) se concluye que las pérdidas de metano en explotaciones comerciales no se desvían mucho más allá del 6%. Como consecuencia, estos autores han sugerido que la mejor estrategia de mitigación es reducir la pérdida de metano por unidad de producto. En este orden de ideas, sugieren estos mismos autores que las estrategias para reducir las emisiones de metano en la industria ganadera deben incluir además una gestión eficaz de los recursos alimenticios adicionales a la calidad de los forrajes, tales como la calidad del agua, suplementación mineral y balanceo de raciones.

### **1.4.3 Metodologías para medir las emisiones de metano por rumiantes**

Para el desarrollo de un inventario preciso, o para implementar estrategias de mitigación, es importante que exista confianza en la precisión de la tecnología utilizada para medición de CH<sub>4</sub>. Las emisiones de metano provenientes del ganado han sido medidas como parte de los estudios sobre fermentación ruminal, balance energético, evaluación de aditivos y más recientemente, para caracterizar y reducir la contribución de rumiantes a la carga global de CH<sub>4</sub>. Las emisiones de CH<sub>4</sub> por parte del ganado se han medido usando técnicas de calorimetría de la respiración tales como las cámaras de cuerpo entero, cajas de cabeza y cámaras y máscaras ventiladas (Johnson y Johnson, 1995a).

A partir de los datos obtenidos mediante estas técnicas se han derivado las ecuaciones predictivas utilizadas para generar modelos matemáticos usados para los inventarios nacionales y mundiales (Benchaar *et al.* 1998; Mills *et al.* 2001).

En otras palabras para desarrollar estrategias de mitigación de las emisiones de CH<sub>4</sub>, la precisa cuantificación de las emisiones procedentes de los rumiantes bajo una amplia gama de circunstancias es esencial (Bhatta *et al.*, 2007).

En ese orden de ideas las emisiones de metano producto de la fermentación de los alimentos en el rumen pueden ser cuantificadas mediante métodos *in vivo* e *in vitro* (Soliva y Hess 2007) o con metodologías predictivas o de estimación de las emisiones de gases efecto invernadero como las establecidas por las directrices del IPCC (IPCC, 1996).

Para las mediciones como tal de metano se han usado técnicas y/o equipos tales como: a) la cromatografía de gases; b) los analizadores de gases infrarrojos con detección fotoacústica; c) la espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR); d) la espectroscopía de absorción láser con diodos sintonizables y, e) los semiconductores sensores de chip. Por su parte, para la medición de las emisiones de metano por parte de los rumiantes existen varias opciones o metodologías como: a) la calorimetría de la respiración; b) el uso de gases trazadores calibrados como el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>); c) técnicas meteorológicas tales como la técnica del túnel, las técnicas de arriba a abajo, las técnicas que muestrean en las fronteras límites de la capa atmosférica; d) las ecuaciones predictivas y; e) las técnicas *in vitro* entre las cuales se destaca la técnica de simulación ruminal –RUSITEC– y la técnica *in vitro* de producción de gases (Bhatta, Enishi y Kurihara 2007). Hay muchas opciones disponibles para medir las emisiones de metano producidas por los rumiantes, la selección de la técnica dependerá de la exactitud de cada una, las ventajas y desventajas (Johnson *et al.*, 2000).

La mayor parte de los estudios *in vitro* se han centrado en el estudio de los parámetros de la fermentación ruminal tales como la producción de gas y de metano, desaparición del sustrato (MS y FDN), pH, producción de AGV y concentración de NH<sub>3</sub> (Martínez, 2009).

La medición de las emisiones de metano *in vivo* incluye el uso de animales en pastoreo lo que es bastante difícil y extremadamente costoso, ya que requiere el uso de equipo y materiales altamente especializados (Johnson *et al.*, 2007). Los métodos *in vitro* no solo tienen la ventaja de ser más económicos y requerir menos tiempo, sino que les permiten también controlar con mayor precisión las condiciones experimentales (Getachew *et al.*, 1998).

La técnica *in vitro* de producción de gases permite determinar la extensión y la cinética de degradación del alimento a través del volumen de gas producido durante el proceso fermentativo (Theodorou *et al.*, 1994). Esa producción de gas es básicamente el resultado de la fermentación de los carbohidratos a acetato, propionato y butirato. Cuando un alimento es incubado con líquido ruminal los carbohidratos se fermentan a ácidos grasos de cadena corta y gases principalmente CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> (Getachew *et al.*, 1998).

El procedimiento como tal consiste en conectar una aguja hipodérmica a un transductor de presión digital que se inserta manualmente a través del tapón de goma de la botella de volumen conocido para medir y liberar la presión de gas acumulada (Theodorou *et al.*, 1994). Una de las ventajas de este procedimiento es que el curso de la fermentación y el papel de los componentes solubles del sustrato pueden ser cuantificados (Pell *et al.*, 1997). No obstante los sistemas de fermentación artificial como la técnica de producción de gases no pueden compararse en su totalidad con un sistema de fermentación *in vivo* en función de los múltiples factores que pueden generar cambios en el animal, lo que ha llevado a introducir algunas consideraciones metodológicas a la técnica y a su aplicación que han permitido predecir la respuesta animal o el impacto ambiental (Martínez, 2009).

Se ha sugerido que el metano producto de la fermentación ruminal *in vitro* presenta una alta correlación con los valores reales registrados en pruebas *in vivo* (Martínez, 2009). En estudios para estimar las emisiones de metano se compararon la técnica del SF<sub>6</sub> con la técnica de producción de gases, encontrándose que la producción de metano calculado por la técnica de producción de gases fue muy próxima a la de SF<sub>6</sub> (correlación a las 24h = 0,749; a las 48h = 0,939). De acuerdo a esos resultados se concluyó que la técnica de producción de gases parece ser una herramienta adecuada para el establecimiento de una base de datos sobre el potencial metanogénico de las dietas de rumiantes (Bhatta *et al.*, 2006).

## **1.5 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero – INGEI**

### **1.5.1 Antecedentes**

El Protocolo de Kyoto (PK), establecido durante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) en 1997, entró en vigor el 16 de febrero de 2005 con el objetivo de promover la reducción de emisiones nacionales de GEI a través de un acuerdo internacional que estableció como obligación para los 194 países signatarios reducir el total de sus emisiones de GEI en el período 2008-2012 en un porcentaje de al menos 5% con respecto al nivel registrado en 1990 (Las disposiciones de la Convención Marco 1998). De acuerdo a esto la primera acción de cada país para reducir las emisiones de GEI es realizar un inventario de GEI considerando sus actividades socio-económicas (Bonilla y Lemus, 2012).

Colombia, en su calidad de país signatario, ratificó sus compromisos asumidos ante la CMNUCC mediante la Ley 194 de 1994 lo cual implicaba “Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el artículo 12, un inventario nacional, en la medida que lo



permitan sus posibilidades, de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los Gases de Efecto Invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que promoverá y aprobará la Conferencia de las Partes” (IDEAM, 2009).

En cumplimiento de dicho mandato, se firma un convenio de cooperación internacional financiado por el Ministerio de Medio Ambiente de los Países Bajos y ejecutado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y expertos de TNO (Holanda), quienes hasta la fecha han realizado dos Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero (INGEI) (1990-1994, 2000-2004). Basándose en La metodología recomienda por el IPCC (Grupo de Inventarios PRICC Región Capital).

Estos inventarios, que en realidad son agregados de emisiones de GEI para el país, no permiten conocer en detalle la cantidad generada por región y su distribución sectorial. Aunque existen reportes sobre inventarios de emisión de GEI en regiones urbanas (p.e. Bogotá y Montería), e información fragmentaria sobre emisiones de GEI en algunos inventarios regionales de contaminantes de criterio, estas estimaciones de emisiones no han sido desarrolladas bajo una metodología unificada y avalada a nivel nacional, lo que dificulta su comparación con el inventario nacional (Grupo de Inventarios PRICC Región Capital).

Adicionalmente, las mediciones 2000 y 2004 en relación con las realizadas en 1990 y 1994, varían tanto en la metodología utilizada como la precisión en la información disponible que se usó en ambos inventarios (por ejemplo, tanto la capturada de sistemas de información como la estimada a través de factores de producción) y la utilización de los factores de emisión propuestos por el IPCC. Además, mientras que para el primer inventario se estimó las emisiones de 31 actividades productivas; en el segundo se reportan las emisiones de 47 actividades productivas. Por tales razones, si bien en las conclusiones se presentan las variaciones o diferencias, las cifras deben tomarse de manera indicativa sin que éstas permitan su comparación directa (IDEAM, 2009).

Colombia como parte de la CMNUCC, hasta el momento ha presentado oficialmente los datos de emisiones de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004. Recientemente como parte del proyecto del IDEAM se actualizó el inventario de GEI para el periodo 1990-2008 (cifras no oficiales), y a partir de esta información el DANE ha adelantado las comparaciones entre sus cifras y las cifras no oficiales reportadas por el IDEAM en cuanto a la emisión de metano derivada por la fermentación entérica del ganado bovino y los resultados del piloto de la cuenta de emisiones para el periodo 2000-2010 (Yepes, 2012).

En resumen, en materia de mitigación (reducción de emisiones y potenciamiento de sumideros), en Colombia no se cuenta con la información detallada sobre las emisiones de GEI a nivel regional y sectorial como insumo para la identificación de acciones estratégicas, así como tampoco con una metodología concertada

para su cálculo. Recientemente, y por efectos de superar estas deficiencias, han surgido dos iniciativas para Colombia con aplicación a nivel regional y local: los Nodos Regionales de Cambio Climático y el proyecto “Plan Regional Integrado de Cambio Climático Región Capital – PRICC”. El PRICC es un proyecto piloto de iniciativa internacional cuyos socios y gestores son el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), diferentes estados nacionales implementadores y 8 asociaciones de regiones del mundo. El objetivo de esta iniciativa es ayudar a las autoridades subnacionales de 50 regiones del mundo en el diseño de Planes Climáticos Territoriales Integrados, desde el establecimiento de objetivos y acuerdos, hasta la financiación de actividades prioritarias. Uno de los objetivos específicos del PRICC es la elaboración de una estrategia de mitigación y adaptación a nivel regional (Grupo de Inventarios PRICC Región Capital).

La metodología de las mediciones implica la clasificación de las emisiones por categorías principales denominadas módulos, los que a su vez contemplan subcategorías. Los módulos principales son energía, procesos industriales, agricultura, residuos y silvicultura, uso y cambio en el uso del suelo. Actualmente se están desarrollando los cálculos mediante aproximaciones *bottom-up* siempre que sea posible, y cuando no sea posible mediante metodologías *top-down* las cuales permiten estimar factores de actividad y/o directamente emisiones regionales a partir del inventario nacional, información de actividad, y/o información socioeconómica regional (Grupo de Inventarios PRICC Región Capital).

### **1.5.2 Metodología y disponibilidad de información**

Para 2000 y 2004, la disponibilidad de información permitió la aplicación de la metodología de nivel 2, propuesta por el IPCC para la estimación de emisiones de metano CH<sub>4</sub>, procedente de la fermentación entérica y manejo de estiércol para la categoría de ganado vacuno no lechero. Para este nivel 2, se utilizaron factores de emisión domésticos que reflejan las diferencias internas en términos de condiciones ambientales y productivas de un contexto nacional, razones por las cuales se disminuye la incertidumbre del inventario. Adicionalmente, dependiendo de la categoría que sea representativa como fuente de emisión en el país, se recomienda utilizar el nivel 2 para disminuir la incertidumbre del inventario, siendo este nivel el más exigente en cuanto a datos locales sobre el manejo técnico de una población de ganado. En el caso colombiano, esta metodología (nivel 2) se aplicó únicamente para poblaciones de ganado vacuno, teniendo en cuenta que exige una caracterización más detallada de la población, además de requerir variables como el promedio de alimento consumido por cada una de las subcategorías de ganado vacuno, tales, como vacas, toros y terneros. Fue así como a partir de una caracterización regional se determinó un factor de emisión nacional. La estimación del CH<sub>4</sub> emitido por manejo de estiércol requirió parte de la información recopilada en la categoría fermentación entérica, en este caso, de la población anual para cada subcategoría de ganado vacuno, distribución por

climas y sistema de producción, además, fue necesario tener información específica en cuanto al sistema de manejo de estiércol, relacionado con: **a)** masa de sólidos volátiles excretados por animal; **b)** capacidad máxima de producción de metano en el estiércol y, **c)** factor de conversión del metano, definido por el sistema de manejo y clima (IDEAM, 2009).

En la medición de los años 2000 y 2004 (IDEAM, 2009), se destaca el avance logrado en cuanto al esfuerzo destinado a obtener la información necesaria para caracterizar y analizar la población ganadera en el país, lo cual permitió una estimación más precisa de los factores de emisión para Colombia. A partir de dicha gestión, se pudo utilizar la metodología de nivel 2 para la categoría de fuente: manejo de ganado doméstico comparado con los valores estimados para esta misma categoría en el inventario de los años 1990 y 1994, las cuales se obtuvieron mediante metodología de nivel 1 (IDEAM, 2009).

Para la cuantificación del módulo “Agricultura”, se consideran cuantitativamente las emisiones de GEI procedentes de cinco fuentes o categorías las cuales son: **i)** ganado doméstico (fermentación entérica y manejo de estiércol), **ii)** cultivos de arroz, **iii)** quema prescrita de sabanas, **iv)** quema en el campo de residuos agrícolas y por último **v)** de suelos agrícolas donde se incluyen las emisiones por uso de fertilizantes nitrogenados. La principal fuente de emisión en este módulo se relaciona con la fermentación entérica, la cual representa el 50% de las emisiones del sector, razón por lo cual se considera una categoría clave dentro del Inventario Nacional. Las restantes categorías participan con porcentajes de menor magnitud. Dentro del periodo evaluado 1990 a 2008 (19 años), se puede afirmar que la fermentación entérica y los suelos agrícolas, son las categorías que mayores cantidades de GEI generan, representadas en Gigagramos de CO<sub>2</sub> equivalentes, en el sector analizado (SIAG, 2011).

Según el segundo INGEI, el módulo (sector) “Agricultura” registró la mayor proporción en las emisiones totales de GEI en Colombia con una participación de 38,1% (68.566 Gg CO<sub>2</sub> eq) seguido por los módulos “Energía” con una participación del 36,6% (65.973 Gg CO<sub>2</sub> eq); “Uso de la tierra y silvicultura” con 14,5% (26.015 Gg CO<sub>2</sub> eq); “Residuos” con 5,7% (10.279 Gg CO<sub>2</sub> eq) y finalmente por el módulo “Procesos industriales” con una participación del 5,1% (9.180 Gg CO<sub>2</sub> eq). Los resultados de dicho inventario, determinan que el aporte de los GEI se compone de: dióxido de carbono (50%), metano (30%) y óxido nitroso (19%); quedando el 1% para el resto de gases que causan efecto de invernadero y no están dentro del Protocolo de Montreal, como los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (CFC) y halocarbonos y hexafluoruro de azufre (IDEAM, 2009).

El metano proveniente del módulo de agricultura representó en el año 2004, el 66% de las emisiones totales de dicho gas; por su parte, la fermentación entérica generó 61% del total de las emisiones de metano; lo cual representa un 18,5% del total de los GEI del inventario del año 2004, al compararse en unidades de

CO<sub>2</sub> eq. Mientras que en la década del noventa, las emisiones de metano procedentes de la actividad ganadera aportaron un promedio de 1.334,4 Gg, de las cuales la fermentación entérica fue la categoría que más influyó en este comportamiento con 82,61%, para los años 2000 y 2004, se registró un aumento de estas emisiones a 1.528,27 Gg; con un 93,19% correspondiente a dicha categoría. Por su parte, el aumento de la generación de GEI del inventario entre los años 2000 y 2004 se concentra en el hato no lechero que pasó de aportar 27.772 de Gg CO<sub>2</sub> eq (equivalente a 42% de las emisiones de esta categoría) a 30.266 de Gg CO<sub>2</sub> eq (equivalente a 44% de las emisiones de esta categoría) para estos años (IDEAM, 2009).

Estudios adelantados por la (FAO, 2009), indican que el sector ganadero, en el contexto mundial, es responsable del 18% de las emisiones de GEI, un porcentaje mayor que el correspondiente a los medios de transporte. Los autores del estudio mencionado consideran que el sector pecuario es responsable del 35 al 40% de las emisiones antropogénicas globales, precisando, además, que la fermentación entérica y el estiércol generan en conjunto cerca del 80% de las emisiones procedentes de la agricultura. Tales cifras muestran una buena concordancia con los resultados obtenidos en los inventarios colombianos.

## 1.6 Conclusiones

A partir de la presente revisión se puede concluir que el metano producido y emitido por los bovinos domésticos, en su calidad de GEI, juega un papel cada vez más importante en relación con el calentamiento global dado que sus concentraciones atmosféricas se han incrementado en aproximadamente un 150% en los últimos 250 años.

El metano, producto final de la fermentación ruminal, es formado por la acción de arqueas metanogénicas que utilizan como sustrato el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub> derivado de las fuentes de carbono, en particular de los azúcares. En los rumiantes, el metano constituye la principal forma de eliminación de hidrógeno. Una vez formado, el metano es eliminado a través del eructo y la respiración en cantidades diarias que pueden ir de 250 a 500 litros por bovino adulto y puede representar pérdidas de energía bruta entre el 2 y el 12% contenida en los alimentos consumidos por el animal

El proceso bioquímico de la metanogénesis es afectada por una serie de variables que influyen directamente sobre la cantidad de metano que es producido y liberado por los rumiantes, entre las cuales se destacan la cantidad y calidad del alimento consumido, el tipo de carbohidratos en la dieta, el grado de procesamiento del alimento, la adición de lípidos o ionóforos a la dieta, las alteraciones en la microflora ruminal, los factores medioambientales y el tipo de pastura y su manejo, principalmente.

La calidad del forraje y su disponibilidad tiene un impacto directo sobre las emisiones entéricas de metano, así ha sido comprobado tanto en modelos *in vitro* como en modelos *in vivo*.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> pueden ser cuantificadas mediante métodos *in vivo* e *in vitro* o mediante metodologías predictivas establecidas por las directrices del IPCC. En Colombia, la información disponible ha permitido aplicar la metodología de nivel 2 propuesta por el IPCC para la estimación de emisiones de metano procedente de la fermentación entérica y manejo de estiércol para la categoría de ganado vacuno no lechero. No se han cuantificado aun oficialmente (IDEAM) las emisiones de metano por parte del ganado lechero, como sí se ha hecho para ganado no lechero y para el manejo del estiércol.

En Colombia, el sector agropecuario es considerado el mayor emisor de GEI antropogénico con una participación de 38,1% (68.566 Gg CO<sub>2</sub> eq), de los cuales el metano constituye el 30%. La principal fuente de metano antropogénico es la fermentación entérica (61%).

Finalmente, en Colombia no se cuenta con la información detallada sobre las emisiones de GEI a nivel regional y sectorial como insumo para la identificación de acciones estratégicas, así como tampoco con una metodología concertada para su cálculo. Como iniciativa para superar esta dificultad se ha propuesto el diseño de Planes Climáticos Territoriales Integrados cuyo principal objetivo es la elaboración de una estrategia de mitigación y adaptación a nivel regional.

## 1.7 Bibliografía

- Balch, W E, G E Fox, L J Magrum, C R Woese, and R S Wolfe. 1979. "Methanogens: reevaluation of a unique biological group." *Microbiological Reviews* 43(2):260-96.
- Beauchemin, K.A., M. Kreuzer, F. O'Mara, and T.A. McAllister. 2008. "Nutritional management for enteric methane abatement: a review." *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48(2):21-27.
- Benchaar, C, J Rivest, C Pomar, and J Chiquette. 1998. "Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations." *Journal of Animal Science* 76(2):617-27.
- Bhatta, R., K. Tajima, N. Takusari, K. Higuchi, O. Enishi, and M. Kurihara. 2006. "Comparison of sulfur hexafluoride tracer technique, rumen simulation technique and *in vitro* gas production techniques for methane production from ruminant feeds." *International Congress Series* 1293(0):58-61.
- Bhatta, Raghavendra, Osamu Enishi, and Mitsunori Kurihara. 2007. "Measurement of methane production from ruminants."
- Blaxter, K. L., and F. W. Wainman. 1961. "The utilization of food by sheep and cattle." *The Journal of Agricultural Science* 57(03):419-25.

- Blaxter, K.L. , and F.W. Wainman. 1964. "The utilization of the energy of different rations by sheep and cattle for fattening." *Journal of Agricultural Science* 63:113-28.
- Boadi, D. A., and K. M. Wittenberg. 2002. "Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF6) tracer gas technique." *Canadian Journal of Animal Science* 82(2):201-06.
- Boadi, D. A., K. M. Wittenberg, and W. McCaughey. 2002a. "Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF6) tracer gas technique." *Canadian Journal of Animal Science* 82(2):151-57.
- Bonilla, J.A., and C Lemus. 2012. "Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión." *Rev Mex Cienc Pecu* 3:215-46.
- Carmona, J. C. , D. M. Bolívar, and L. A. Giraldo. 2005. "El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo." *Rev Col Cienc Pec* 18(1):49-63.
- Czerkawski, J.W. 1969. "Methane production in ruminants and its significance." *World Rev. Nutr. Diet.* 11:240–82.
- Demeyer, D. I. , and H. K. Hendrickx. 1967. "Methane production from glucose *in vitro* by mixed rumen bacteria." *Biochem. J* 105:271-77.
- Demeyer, D.I., and C.J. Van Nevel. 1975. "Methanogenesis: an integrated part of carbohydrate fermentation and its control. pages 366-382 in I. W . MacDonald and A. C. Wamer, eds. Digestion and metabolism in the ruminant. The University of New England Publishing Unit, Armidale, Australia."
- Dijkstra, Jan. 1994. "Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen." *Livestock Production Science* 39(1):61-69.
- Eadie, J. M., J. Hyldgaard-Jensen, S. O. Mann, S. R. Reid, and F. G. Whitelaw. 1970. "Observations on the microbiology and biochemistry of the rumen in cattle given different quantities of a pelleted barley ration." *Br. J. Nutr.* 24:157-77.
- FAO. 2009. "La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. ." Pp. 86-139, edited by H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. de Haan. Roma: FAO.
- Getachew, G, M Blümmel, HPS Makkar, and K Becker. 1998. "*In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review." *Animal Feed Science and Technology* 72(3):261-81.
- Grupo de Inventarios PRICC Región Capital. "Inventario de emisiones de gases efecto invernadero para la región Cundinamarca – Bogotá. Plan Regional Integral de cambio Climático. Bogota, D.C. 2011. ." Disponible <http://pricc-co.wikidot.com/grupo-inventarios-gei>.
- Hegarty, RS 2002. "Strategies for mitigating methane emissions from livestock – Australian options and opportunities. In: Takahashi J, Young BA (eds) GHGs and animal agriculture. Elsevier, Dordrecht ".

- Holter, J.B. , and A.J. Young. 1992. "Methane prediction in dry and lactating Holstein cows." *J. Dairy Sci.* 75:2165–75.
- Hoover, W.H., Kincaid, C.R. Varga, G.A., Thayne, W.H., and Lunkins, Jr. L.L. 1984. Effects of solids and liquid flows on fermentation in continuous culture. IV. pH and dilution rate. *J. Anim Sci.* 58:692.
- Hutcheson, J. P. 1994. "Anabolic implant effects on body composition, visceral organ mass and energeticosf beef steers. Ph.D. Dissertation. Colorado State Univ., Fort Collins."
- IDEAM. 2009. "Inventario nacional de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero 2000 – 2004. Bogotá D.C. 2009."
- Ishler, V., Heinrichs, J. and Varga, G. From Feed to Milk: Understanding Rumen Function; Extension Circular No. 422, Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences: pages 5. Disponible en: <http://pubs.cas.psu.edu/FreePubs/pdfs/ec422.pdf>.
- IPCC. 1996. "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Revised 1996. IPCC, Bracknell (1997)."
- IPCC.2007. "Climate change 2007: synthesis report. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ayr4/syr/ar4\\_syr\\_sym.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ayr4/syr/ar4_syr_sym.pdf). Acceso Mayo 1 2011.
- Janssen, P.H. 2010. "Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics." *Animal Feed Science and Technology* 160(1-2):1-22.
- Johnson, D.E., K.A. Johnson, G.M. Ward, and M.E. Branine. 2000. "Ruminants and other animals. In: Atmospheric Methane: Its role in the global environment, (Ed. M. A. K. Khalil), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 112-133."
- Johnson, K. A. , H. H. Westbeg, J. J. Michal, and M. W. Cossalman. 2007. "Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques." Pp. 33-67 in *Measuring Methane Production from Ruminants*, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.
- Johnson, K. A., and D. E. Johnson. 1995. "Methane emissions from cattle." *Journal of Animal Science* 73(8):2483-92.
- Kamra, N.D., N. Agarwal, and L.C. Chaudhary. 2010. "Effect of tropical feeds and plants containing secondary metabolites on methane emission by ruminants." *Trop Anim Health Pro* 1701:1-23.
- Las disposiciones de la Convención Marco. 1998. "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 1998. Disponible en: <http://www.un.org/es/climatechange/kyoto.shtml>."
- Lassey, K. R.; , M. J.; Ulyatt, R. J.; Martin, C. F.; Walker, and I. D. Shelton. 1997. "Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand." *Atmospheric Environment* 31:2905-14.
- Lopez, S. , and C. J. Newbold. 2007. "Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques." Pp. 1-13 in *Measuring Methane*

- Production from Ruminants*, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.
- Margan, D. E.; , N. McC.; Graham, D. J.; Minson, and T. W. Searle. 1988. "Energy and protein values of four forages, including a comparison of tropical and temperate species." *Australian Journal of Experimental Agriculture* 28:729-36.
- Martínez, P.M.E. 2009. "Estudios de simulación del ecosistema ruminal en sistemas *in vitro*: aspectos metodológicos. Universidad de León, Facultad de Veterinaria, Departamento de Producción Animal. Tesis Doctoral. León, España. 2009. p 339."
- McAllister, T.A. , E.K. Okine, G.W. Mathison, and K.J. Cheng. 1996. "Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants." *Can. J. Anim. Sci.* 76:231-43.
- McCaughey, W., K. Wittenberg, and D. Corrigan. 1999. "Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows." *Can J An Sc* 79(2):221-26.
- McCrabb, G. J.; , and R. A. Hunter. 1999. "Prediction of methane emissions from beef cattle in tropical production systems." *Australian Journal of Agricultural Research* 50:1335-39.
- Grant, R.J. and Mertens, D.R. 1992. Development of buffer systems for pH control and evaluation of pH effects on fiber digestion *in vitro*. *Journal of Dairy Science.* 75: 1581-1587.
- Mills, J A, J Dijkstra, A Bannink, S B Cammell, E Kebreab, and J France. 2001. "A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: model development, evaluation, and application." *Journal of Animal Science* 79(6):1584-97.
- Minson, D.J. 1981. "Nutritional differences between tropical and temperate pastures. In: Morley, F. W. H. ed. *Grazing animals*. Amsterdam, Elsevier. Pp. 143-157."
- Moe, P.W., and H.F. Tyrell. 1979. "Methane production in dairy cows." *Journal of Dairy Science* 62:1583-86.
- Moss, A. R., and D. I. Givens. 1993. "Effect of supplement type and grass silage:concentrate ratio on methane production by sheep." *Proc. Br. Soc. Anim. Prod. Paper No. 52.*
- Moss, Angela R., Jean-Pierre Jouany, and John Newbold. 2000. "Methane production by ruminants: its contribution to global warming." *Ann. Zootech.* 49(3):231-53.
- Okine, E. K.; , G. W.; Mathison, and R. T. Hardin. 1989. "Effects of changes in frequency of reticular contractions on fluid and particulate passage rates in cattle." *J. Anim. Sci.* 67:3388-96.
- Ominski, K.H., and K.M. Wittenberg. 2004. "Strategies for reducing enteric methane emissions in forage-based beef production systems." *Presented at "The Science of Changing Climates- Impact on Agriculture, Forestry and Wetlands" July 20- 23 2004 University of Alberta, Edmonton, Alberta Canadian Society of Agronomy, Animal Science, and Soil Science.*
- Pedreira, Márcio dos Santos, Odo Primavesi, Magda Aparecida Lima, Rosa Frighetto, Simone Gisele de Oliveira, and Telma Teresinha Berchielli. 2009.



- "Ruminal methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil." *Scientia Agricola* 66:742-50.
- Pell, A. N. , P. H. Doane, and P. Schofield. 1997. "In vitro digestibility and gas production. In: Simpósio sobre Tópicos Especiais em Zootecnia, Lavras, MG, p.109 - 132."
- Pinares-Patiño, C. S., R. Baumont, and C. Martin. 2003. "Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity." *Canadian Journal of Animal Science* 83(4):769-77.
- Relling, A.E., and G.A. Mattioli. 2003. *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*: Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de La Plata
- Sharp, R., C.J. Ziemer, M.D. Stern, and D.A. Stahl. 2006. "Taxon-specific associations between protozoal and methanogen populations in the rumen and a model rumen system." *FEMS Microbiology Ecology* 26(1):71-78.
- SIAG. 2011. "Indicadores internacionales. Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero 1990 – 2008." Disponible en <https://www.siac.gov.co>.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, 2007: Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Soliva, C. R. , and H. D. Hess. 2007. "Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques." Pp. 15-31 in *Measuring Methane Production from Ruminants*, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.
- Stewart, C.S. , H.J. Flint, and M.P. Bryant. 1997. "The rumen bacteria." Pp. 10-72 in *The Rumen Microbial Ecosystem*, edited by P.N. Hobson. London, UK: Chapman and Hall.
- Theodorou, M.K. , B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan, and France J. 1994. "A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds " *Animal Feed Science and Technology* 48:185-97.
- Ulyatt, M. J., K. R. Lassey, I. D. Shelton, and C. F. Walker. 2002. "Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand." *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45(4):227-34.
- Ulyatt, M. J.; , S. K.; Baker, G. J.; McCrabb, and K.R. Lassey. 1999. "Accuracy of SF6 tracer technology and alternatives for field measurements. ." *Australian Journal of Agricultural Research* 50:1329-34.
- Van Aardenne, J. A., F. J. Dentener, J. G. J. Olivier, C. G. M. Klein Goldewijk, and J. Lelieveld. 2001. "A High Resolution Dataset of Historical Anthropogenic Trace Gas Emissions for the Period 1890-1990." *Global Biogeochemical Cycles* 15(4):909-28.
- Van Kessel, J. S. , and J. B. Russell. 1995. "The effect of pH on *in vitro* methane production from ruminal bacteria." *proc. Conf. Rum. Funct* 23:7.

- Van Soest, P. J. 1982. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Corvallis, Oregon: O & B Books, Inc.,.
- Wheeler, D.M., S.F. Ledgard, and C.A.M. DeKlein. 2008. "Using the OVERSEER nutrient budget model to estimate on-farm greenhouse gas emissions." *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48(2):99-103.
- Wittenberg, K. 1997. "Making sense of minerals, in Proc. Manitoba Grazing School, Portage la Prairie, Manitoba, Canada, December 9-10, 1997, 56."
- Yepes, L.D. 2012. "Cuenta de emisiones al aire: Estudio de caso emisión de metano por la fermentación entérica del ganado bovino. Bogotá, 2012. .Disponibile en:  
[http://www.dane.gov.co/candane/images/DT\\_DANE/wp\\_cuentas\\_emisiones\\_del\\_aire.pdf](http://www.dane.gov.co/candane/images/DT_DANE/wp_cuentas_emisiones_del_aire.pdf).

## 2. Capítulo 2 Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* de pasturas y dietas provenientes del departamento de Antioquia.

Marín A<sup>1</sup>, Giraldo L.A<sup>2</sup> y Correa G<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo BIORUM. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [amaring@unal.edu.co](mailto:amaring@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Profesor Titular. Departamento de producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [lagirald@unal.edu.co](mailto:lagirald@unal.edu.co)

<sup>3</sup> Profesor asociado. Departamento de Ciencias Agrarias Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [gcorrea@unal.edu.co](mailto:gcorrea@unal.edu.co)

### 2.1 Resumen

Se muestreó y determinó la composición química (MS, MO, PC, FDN, FDA, cenizas, lignina, EE y la DIVMS) de 20 muestras de pasto, 19 de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y una de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), además de 20 dietas (conformadas a partir de una relación 70:30 de pasto:concentrado) provenientes todos estos sustratos de 20 fincas, ubicadas en cinco municipios (San Pedro de los Milagros, Yarumal, La Unión, Santa Rosa de Osos y Entrerrios) de clima frío del departamento de Antioquia. Posteriormente se evaluó los principales parámetros (producción de gas, DMS, NH<sub>3</sub>-N, pH, DFDN, DFDA, CH<sub>4</sub> y AGV) de la fermentación ruminal *in vitro* de los sustratos mediante la técnica de producción de gases. Se diseñaron 10 experimentos o incubaciones *in vitro* independientes, uno por cada municipio y tiempo de incubación, conformados por 8 tratamientos (pastos y dietas) evaluados en dos tiempos (24 y 48 horas). Para efectos del análisis estadístico se realizó un diseño de una vía con muestreo aleatorio simple. Las medias fueron comparadas mediante la prueba Tukey con nivel de significancia del 5%, usando el procedimiento GLM del programa estadístico SAS. Así mismo, se construyó una representación biplot del análisis de componentes principales de los parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* donde se integraron todos los parámetros fermentativos de las 24 horas del pasto kikuyo y sus respectivas dietas (70:30). Se estimaron correlaciones de Pearson entre las variables en estudio y se ajustó un modelo de regresión para predecir las emisiones de metano en función de los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* utilizando el procedimiento REG de SAS. Los resultados mostraron que la mayoría de los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* estudiados difirieron ( $p < 0,05$ ) estadísticamente entre municipios, tanto a las 24 como a las 48 horas. No obstante, en los pastos se halló que no hubo diferencias

( $p > 0,05$ ) en la DMS a las 24 horas, ni en la DFDA en ambos tiempos evaluados. Tampoco se detectaron diferencias ( $p > 0,05$ ) en la proporción de acetato a las 24 horas ni en la proporción de isovalerato a las 48 horas. En las dietas no hubo diferencias ( $p < 0,05$ ) en la producción de gas, ni en la DFDA entre municipios, en ningún tiempo de incubación. No se hallaron diferencias ( $p > 0,05$ ) en la DMS a las 24 horas. Además la proporción de isovalerato difirió a las 48 horas. De acuerdo a la representación biplot del análisis de componentes principales se concluyó que las dietas en comparación con los pastos generaron mayor volumen de gas, mayores porcentajes de DMS, mayores proporciones de butirato y menores proporciones de acetato. Existe una relación positiva entre la producción total de metano con la producción total de AGV, la producción de acetato y la misma relación acetato:propionato. De otro lado, se halló una correlación inversa entre el metano y la producción de propionato. El modelo de regresión sugirió una ecuación para predecir la producción de metano con un  $r^2 = 0,69$ , en el que se relaciona positivamente la producción de gas y negativamente la proporción de propionato. Se registró una mayor producción de metano en las dietas en comparación con los pastos, posiblemente debido por un lado a que la alta calidad del pasto no permitió mitigar las emisiones de  $CH_4$  esperadas por la adición del suplemento concentrado y, por otro, a la baja proporción de concentrado incluida en la dieta (30%).

**Palabras clave:** Fermentación ruminal, *in vitro*, metano, AGV, kikuyo.

## 2.2 Introducción

La técnica *in vitro* de producción de gas se ha utilizado ampliamente en los últimos 20 años para la evaluación de alimentación (Pell *et al.*, 1997) como también para medir la producción de metano de una amplia gama de forrajes (Lovett *et al.*, 2006; Tavendale *et al.*, 2005). Esta técnica permite determinar la extensión y la cinética de degradación de un alimento a través del volumen de gas producido durante el proceso fermentativo (Theodorou *et al.*, 1994), siendo la producción de gas el resultado de la fermentación de los carbohidratos a acetato, propionato y butirato (Beuvink y Spoelstra, 1992; Blummel y Ørskov, 1993; Wolin, 1960). Cuando un alimento es incubado con líquido ruminal los carbohidratos se fermentan a ácidos grasos de cadena corta y gases principalmente  $CO_2$  y  $CH_4$  (Getachew *et al.* 1998). La mayor parte de los estudios *in vitro* se han centrado en el estudio de los parámetros de la fermentación ruminal tales como la producción de gas y de metano, la desaparición del sustrato (MS y FDN), el pH, la producción de AGV y la concentración de  $NH_3$  (Martínez, 2009).

La emisión de metano entérico en bovinos es afectada por varios factores entre los cuales sobresalen el tipo, calidad y disponibilidad de la pastura (Ominski y Wittenberg, 2004). Otro factor que afecta la producción de metano es la relación

de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, la cual regula la producción de hidrógeno y la subsecuente producción de metano (Johnson y Johnson, 1995).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad composicional y los principales parámetros de fermentación de los pastos kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y estrella (*Cynodon nlemfluensis*) como pasturas predominante de las regiones lecheras ubicadas en el trópico alto (clima frío) del Departamento de Antioquia. Así mismo, evaluar estos mismos parámetros en dietas conformadas por una relación 70:30 forraje a concentrado. Con la información obtenida a partir del estudio de las composiciones químicas de pastos y dietas (M.S, M.O, PC, FDN, FDA, Cenizas, Lignina, E.E y DIVMS) y de la fermentación *in vitro* (Producción de gas, DMS, NH<sub>3</sub>-N, DFDN, DFDA, CH<sub>4</sub> y AGV) se busca fundamentar el método propuesto en el presente trabajo para estimar las emisiones de metano a nivel regional.

## 2.3 Materiales y métodos

### 2.3.1 Localización

En el departamento de Antioquia y con base en el inventario ganadero y los volúmenes de leche producida se seleccionaron los siguientes municipios de Antioquia: San Pedro de los Milagros, Yarumal, Entrerrios, Santa Rosa de Osos y La Unión con el objetivo de muestrear forrajes y dietas para ser incluidas en el estudio de la estimación del inventario de las emisiones de metano entérico producido por bovinos. Dentro de los municipios de la región norte de Antioquia se encuentran San Pedro de los Milagros el cual se halló a una altitud promedio de 2593 +/- 41,30 msnm y una temperatura promedio de 16°C, Yarumal con una altitud promedio de 2126 +/- 212,01 msnm y temperatura promedio de 15°C, Entrerrios con altitud y temperatura promedio de 2395 +/- 11,93 msnm y 16°C respectivamente y Santa Rosa de Osos, que está a una altitud promedio de 2585 +/- 46,38 msnm y una temperatura promedio de 13°C. En la región del Oriente Antioqueño se muestreó el municipio de La Unión el cual se encuentra a una altura promedio de 2495 +/-28,11 msnm y una temperatura de 13°C (<http://www.municipios.com.co/antioquia>), además en cada finca la altitud fue tomada mediante un sistema de posicionamiento global (GPS). El trabajo experimental se realizó en el laboratorio de Biotecnología Ruminal –BIORUM–, perteneciente al Departamento de Producción Animal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín el cual se encuentra a una altura de 1.538 msnm y temperatura promedio de 24°C

### 2.3.2 Sustratos

De cada municipio se seleccionaron cuatro fincas al azar (20 fincas total), en las cuales se tomó información general del hato, datos promedios de producción y se tomaron muestras de pasto y del suplemento concentrado ofrecido a los animales, para un total de 20 muestras de pasto, 19 de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y 1 muestra de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) utilizando la técnica "Hand Pluck" (Euclides, Macedo and Oliveira 1992), para garantizar una muestra representativa de lo que las vacas en pastoreo seleccionan y consumen. Los suplementos concentrados muestreados fueron diferenciados por marca comercial y nivel de suministro del mismo a los animales, igualmente para efectos de la investigación se conformaron dietas constituidas por los forrajes y suplementos concentrados muestreados en una relación 70:30 respectivamente.

El municipio de Yarumal, uno de los principales municipios de la cuenca lechera del norte antioqueño, registra las mayores variaciones altitudinales, y por ende de biodiversidad, por lo que es probable encontrar en su parte baja el pasto estrella como uno de los pastos predominantes de la zona, razón por la cual fue incluido en el presente estudio.

**Tabla 2-1** Identificación de sustratos (pastos y dietas) provenientes de diferentes fincas y municipios de Antioquia.

Municipio	Finca	#Finca	Altitud (m.s.n.m)	Pasto/Dieta
San Pedro de los Milagros	La florida	1	2549	100% P. clandestinum
	La Llanuba	2	2568	
	La montaña	3	2614	
	Casaloma	4	2639	
	La florida	1	2549	70% P. clandestinum + 30% concentrado comercial
	La Llanuba	2	2568	
	La montaña	3	2614	
	Casaloma	4	2639	
Yarumal	La portada	5	2220	100% P.clandestinum
	El asilo	6	2315	
	Villa Reina	7	2143	
	La primavera	8*	1826	
	La portada	5	2220	70% P. clandestinum + 30% concentrado comercial
	El asilo	6	2315	
	Villa Reina	7	2143	
	La primavera	8*	1826	
La Unión	Mi predio	9	2453	100% P. clandestinum
	La María	10	2512	
	Villa Alicia	11	2509	
	Yerba buena	12	2506	
	Mi predio	9	2453	70% P. clandestinum + 30% concentrado comercial
	La María	10	2512	
	Villa Alicia	11	2509	
	Yerba buena	12	2506	
Santa Rosa de osos	La Daniela	13	2533	100% P. clandestinum
	Villa flor	14	2559	
	Rancho el mirador	15	2620	
	Betania- Solla	16	2628	
	La Daniela	13	2533	70% P. clandestinum + 30% concentrado comercial
	Villa flor	14	2559	
	Rancho el mirador	15	2620	
	Betania- Solla	16	2628	
Entrerriós	La Siberia	17	2379	100% P. clandestinum
	La Natalia	18	2392	
	El salado	19	2404	
	Macondo	20	2404	
	La Siberia	17	2379	70% P. clandestinum + 30% concentrado comercial
	La Natalia	18	2392	
	El salado	19	2404	
	Macondo	20	2404	

\* En la finca #8 la base forrajera esta basada en pasto *Cynodon nlemfluensis*

### 2.3.3 Caracterización química

Pasturas y dietas fueron secados por 48 horas en estufa de aire forzado a 60° C hasta alcanzar un peso constante y luego molidos en un molino Fritsch (Idar Oberstein®- Germany), luego pasaron por una criba porosa, con un diámetro de 1 µm. Posteriormente, tanto a pasturas como a dietas se les determinó el contenido de nitrógeno mediante el método Kjeldhal (AOAC 1999) en un equipo VELP Scientifica®. El contenido de proteína cruda (%PC) se obtuvo al multiplicar el contenido de nitrógeno por el factor de conversión de 6,25. Los contenidos de Fibra en Detergente Neutro (%FDN), Fibra en Detergente Ácido (%FDA) y Lignina (%LIG) de pastos y dietas fueron determinados por la técnica secuencial descrita por (Van Soest, Robertson and Lewis 1991); para las muestras ricas en almidón se utilizó amilasa termoestable. Este procedimiento se realizó en un analizador de fibras ANKON 200® (Ankom Technology, 2004).

La determinación de cenizas (CEN) se obtuvo por incineración directa a 500°C por dos horas, usando una mufla, según el método descrito por (Van Soest and Robertson 1985). La materia orgánica (MO) fué calculada por la diferencia entre los valores de la materia seca (MS) y CEN. Simultáneamente se determinó el extracto etéreo (EE) de los pastos y las dietas evaluadas con un analizador de grasa ANKOM XT15 mediante el método Soxhlet en el cual se utiliza éter de petróleo como solvente extractor de grasa a una temperatura de 90°C por una hora (AOAC 1999). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de cada uno de las pasturas y dietas se determinó a las 48 horas, utilizando un incubador Daisy II® de la marca ANKOM (Ankom technology, 2004), siguiendo la metodología descrita por (Goering and Van Soest 1970).

### 2.3.4 Pruebas de fermentación ruminal *in vitro*

Los parámetros de fermentación ruminal de pastos y dietas incluidos en el presente estudio fueron evaluados mediante la técnica de producción de gas *in vitro* descrita por Theodorou *et al.*, (1994), para lo cual se diseñaron 10 experimentos o incubaciones *in vitro* independientes, uno por cada municipio (San Pedro de los Milagros, Yarumal, La Unión, Santa Rosa de Osos y Entrerrios) y tiempo de incubación. Cada experimento estuvo conformado por 36 botellas distribuidas en 8 sustrato (4 pastos y 4 dietas) x 4 líquidos ruminales (provenientes de 4 vacas Holstein que hacen las veces de repeticiones) x 1 tiempo de incubación (24 horas) + 4 blancos (1 por animal). Del mismo modo se diseñaron los experimentos de las 48 horas. Los blancos que contenían medio de cultivo e inculo pero no sustrato, fueron utilizados para corregir la presión generada por el gaseado con CO<sub>2</sub> y la presión producida por la fermentación producto de los microorganismos ruminales presentes en el líquido ruminal incubado (López *et al.* 1998; Theodorou *et al.* 1994).



En cada experimento se utilizaron botellas de vidrio con capacidad para 110 ml, en cada una de las cuales se adicionó 0,5 gr de cada sustrato. Posteriormente se recolectó líquido ruminal en la horas de la mañana proveniente de cuatro vacas canuladas al rumen las cuales consumieron una dieta compuesta por una mezcla de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y suplemento concentrado, ubicadas en la Estación Agraria Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia. El líquido ruminal se obtuvo mediante el filtrado del contenido ruminal extraído a través de la cánula en un lienzo con un tamaño de poro de 0,45 mm, para ser luego depositado en un termo precalentado a una temperatura de 39°C y trasladado inmediatamente al laboratorio de Biotecnología Ruminal -BIORUM-. Una vez en el laboratorio, el líquido fue filtrado nuevamente usando una bolsa de nylon con un tamaño de poro de 53 µm, con el fin de retirar los sedimentos y residuos de pasto. Se gaseó permanentemente con CO<sub>2</sub> y se mantuvo a una temperatura constante de 39°C. Posteriormente, a cada frasco con sustrato le fue agregado medio de cultivo (40ml) e inoculado con 10 ml de líquido ruminal, gaseando continuamente con CO<sub>2</sub>. El medio de cultivo usado es el descrito por Goering y Van Soest, (1970), que contenía CaCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O; MnCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O; CoCl<sub>3</sub>•6H<sub>2</sub>O; FeCl<sub>3</sub>•6H<sub>2</sub>O; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; MgSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O; NaHCO<sub>3</sub>; (NH<sub>4</sub>) HCO<sub>3</sub>; Resarzurina; Na<sub>2</sub>S; L-Cisteína HCl, sin tripticasa y líquido ruminal para una relación 4:1. Luego las botellas fueron selladas herméticamente con tapones de caucho y agrafes de aluminio, agitadas suavemente y trasladadas a una incubadora que se mantuvo a una temperatura constante de 39°C.

Una vez transcurridas las 24 y 48 horas de incubación, se midió el volumen de gas producido utilizando un transductor de presión al cual se le adaptó una válvula de tres salidas. La primera salida conectada a una aguja (0.8 mm), la segunda conectada al transductor de presión y la tercera a una jeringa plástica de 100 ml utilizada para tomar la muestra del gas producido durante la fermentación y a partir de la cual se determinó la concentración de metano mediante cromatografía de gases. El volumen de los gases producto de la fermentación se calculó con un modelo de regresión validado en el Laboratorio de Biotecnología Ruminal -BIORUM-. Seguidamente, se abrieron las botellas para medir el pH y tomar muestras para analizar las concentraciones de nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) y ácidos grasos volátiles (AGV) siguiendo el procedimiento de (Giraldo, Gutiérrez and Rúa 2007), además se tomaron muestras del gas producto de la fermentación para posteriormente determinar la producción de metano (CH<sub>4</sub>) en cada muestra. El contenido de cada botella se filtró a través de crisoles Pirex® con placa porosa (nº1), se secó en estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas y posteriormente se pesó para determinar la degradabilidad de la materia seca (DMS).

Para determinar la degradabilidad de la pared celular, la materia seca residual de todas las botellas se depositó en bolsas filtrantes Ankom F57 (ANKOM Technology Corp Fairport NY) y posteriormente se sometió a una extracción con detergente neutro y ácido a 100 °C siguiendo el método propuesto por (Goering and Van Soest 1970) usando para ello un analizador de fibra ANKOM 200

(ANKOM Technology Corp Fairport NY) y así obtener finalmente la Degradabilidad de la Fibra en Detergente Neutro (DFDN) y la Degradabilidad de la Fibra en Detergente Ácido (DFDA).

### **2.3.5 Medición de pH**

Al finalizar cada uno de los procedimientos el pH en los efluentes producto de la fermentación ruminal *in vitro*, se cuantificó mediante un pH-metro (Schoot Instruments® Modelo 2006).

### **2.3.6 Concentración de Nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) en el líquido ruminal**

Después de finalizar el proceso fermentativo, se tomó una alícuota de 5 ml del efluente (medio de cultivo, líquido ruminal y sustrato) para llevarla a un tubo Falcon® que contenía ácido clorhídrico al 0,5 N (dilución 1:1). Posteriormente, estas muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm durante 4 minutos a 4°C en una centrífuga marca Biofuge Primo R Heraeus®. Seguidamente, se tomó el sobrenadante que fue depositado en frascos Falcon® refrigerados a 4 °C. Se determinó la concentración del nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) en las muestras de forraje y dietas siguiendo el procedimiento descrito por la (AOAC 1999), utilizando un electrodo selectivo de amonio ISE-NH<sub>3</sub>-N. Para determinar la concentración de NH<sub>3</sub>-N en las muestras se realizó una curva de calibración utilizando soluciones con concentración conocida de amonio y posteriormente se determinó la concentración en ppm.

### **2.3.7 Determinación de ácidos grasos volátiles (AGV)**

Una vez interrumpida la fermentación de cada técnica de producción de gases se tomaron muestras del efluente de cada botella y se depositaron en viales eppendorf® de 2 ml en los cuales se agregó una solución desproteinizante y acidificante (10% ácido metafosfórico y 0.06% ácido crotónico, p/v en HCl 0.5 N). Posteriormente se centrifugaron las muestras a 13.000 rpm por 12 minutos a 4°C y se tomó el sobrenadante en un vial para cromatografía los cuales fueron almacenados a 4°C hasta su análisis.

Para la determinación de la concentración de AGV's (acético, propiónico, butírico, isobutírico y valérico) se usó un cromatógrafo de gases Shimadzu modelo GC-2014 (Shimadzu Corporation, Japón) equipado con una columna capilar de polietilenglicol Agilent HP-FFAP de 25m de longitud x 0.32 mm diámetro interno x 0.5 µm grosor de película (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, EUA). Las condiciones empleadas en el proceso de separación fueron las siguientes: Temperaturas, 260°C para el puerto de inyección Split; temperatura de detección, 280°C detector FID; gas de arrastre helio a velocidad constante (42 cm/segundo). El volumen inyectado fue 1µL para las muestras y los estándares. El

procedimiento de cuantificación se basa en un proceso en el que las muestras de calibración (estándares) y las muestras problemas se analizan bajo las mismas condiciones. Finalmente, el resultado de la muestra evaluada se compara con el de la muestra estándar.

### 2.3.8 Determinación de metano (CH<sub>4</sub>)

Las muestras de metano se tomaron del gas producido en cada botella incubada en la técnica de gases y se depositaron en tubos vacutainers al vacío de 6 ml (Venoject®) a partir de los cuales se determinó la concentración de metano utilizando un cromatógrafo de gases (GC-2014, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón) equipado con detector de ionización de llama (FID), una columna capilar Agilent HP-PLOT Molesieve 5Å 30 m × 0.32 mm D.I y 12 µm grosor de película (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, EUA. Se utilizó helio UAP grado 5.0 como gas de arrastre a una velocidad lineal de 35.4 cm/seg. Se utilizó un software (GC Solution, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón) tanto para controlar el funcionamiento del equipo como para procesar las señales generadas por el detector. La inyección de metano se efectuó manualmente y el gas patrón utilizado para determinar las concentraciones de CH<sub>4</sub> en el gas producto de la fermentación fue una mezcla especial de metano (CH<sub>4</sub>) en nitrógeno (N) con un contenido de CH<sub>4</sub> del 10%. Los cálculos finales de metano se realizaron según la metodología descrita por López y Newbold, (2007).

## 2.4 Análisis estadístico

Los resultados de los principales parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* de pastos y dietas, a las 24 y a las 48 horas, fueron comparados entre municipios, con base en el análisis de varianza correspondiente a un diseño de una vía, con muestreo aleatorio simple, para lo cual se usó el procedimiento GLM del programa estadístico SAS, acorde con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + M_i + \varepsilon_{ij},$$

Donde:

$Y_{ij}$  : j-ésima muestra del i-ésimo municipio

$\mu$  : Media general de los municipios

$M_i$  : Diferencia entre la media del i-ésimo municipio y la media general

$\varepsilon_{ij}$  : Variación aleatoria

Cuando, mediante el Anava, se detectó un efecto significativo ( $P < 0.05$ ), se efectuó la comparación de medias, utilizando el procedimiento Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* evaluados fueron analizados mediante estadística descriptiva (promedios, desviación estandar y coeficientes de variación). Posteriormente se hizo una representación Biplot del análisis de componentes principales, donde se integraron todos los parámetros fermentativos de las 24 horas del pasto kikuyo y dietas 70:30, kikuyo:suplemento concentrado, respectivamente.

Finalmente, para cada combinación tiempo-sustrato, se estimaron las correlaciones de Pearson entre cada par variables y parámetros de fermentación ruminal *in vitro* (Ver Anexos). En la tabla 2-9 se detallan las correlaciones con la producción de metano ( $CH_4$ ). Asimismo, se ajustó un modelo de regresión para estimar la producción de  $CH_4$  (ml), en función de los parámetros de la fermentación ruminal *in vitro*, utilizando el procedimiento REG de SAS.

## 2.5 Resultados

### 2.5.1 Composición química

En la Tabla 2-2 se muestran los resultados de la composición química y de la digestibilidad de pasturas y dietas evaluadas, en diferentes municipios de clima frío de Antioquia.

En el caso de las pasturas el porcentaje de proteína cruda varió entre 9.95 y 24.23. Los contenidos de cenizas y materia orgánica como porcentaje de la materia seca oscilaron entre 8.31 y 12; 88 y 91.69 respectivamente. En cuanto a los componentes de la pared celular se encontró que los contenidos de FDN, FDA y Lignina como porcentaje de la materia seca oscilaron entre 53.87 y 70.49, 23.28 y 32.13, 1,66 y 4.94 respectivamente, observándose mayores contenidos a mayor edad o estado de desarrollo. Con respecto al los resultados hallados de extracto etéreo se encontraron valores mínimos y máximos de 2.20 de 4.21 respectivamente. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) para los pastos oscilo entre 66.52% y 80.34%.

Para las dietas evaluadas se encontraron contenidos de proteína cruda como porcentaje de la materia seca que oscilaron entre 12.18 y 23.66. Los porcentajes de cenizas y materia orgánica como oscilaron 7.66 y 11.42; 88.58 y 92.34 respectivamente. Los contenidos de FDN, FDA y Lignina como porcentaje de la materia seca de las dietas oscilaron entre 43.21 y 61.74; 17.91 y 25.47; 1.69 y

3.30 respectivamente. Los porcentajes extracto etéreo variaron entre 3.03 y 5.60. La DIVMS para las dietas oscilo entre 67.17 y 81.62.

**Tabla 2-2** Composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de las pasturas y dietas evaluadas, en diferentes municipios de clima frío de Antioquia.

Municipio	PD	#Finca	Tto	PC	Cen	M.O	FDN	FDA	Lig	E.E	DIVMS
% M.S											
San Pedro de los Milagros	42	1	T1	20,84	11,59	88,41	60,43	25,09	2,82	3,69	77,75
	42	2	T2	21,33	11,42	88,58	59,15	25,43	1,66	3,56	81,90
	60	3	T3	21,83	12,00	88,00	60,74	26,46	2,77	3,22	75,60
	42	4	T4	21,83	11,85	88,15	61,53	26,41	1,99	3,42	79,05
	-	1	T5	18,62	9,59	90,41	50,71	21,08	1,96	5,01	77,30
	-	2	T6	20,15	9,94	90,06	47,76	19,81	1,69	4,24	81,07
	-	3	T7	20,12	10,74	89,26	51,22	20,55	2,17	4,49	77,83
	-	4	T8	20,18	9,61	90,39	49,82	21,58	2,31	5,60	78,45
Yarumal	22	5	T9	15,77	8,53	91,47	66,52	28,77	4,91	2,20	72,92
	28	6	T10	18,60	8,40	91,60	63,24	26,48	3,89	3,35	79,69
	35	7	T11	18,62	10,68	89,32	62,81	27,02	2,04	3,16	75,57
	35	8*	T12	17,74	8,31	91,69	67,89	30,32	3,23	2,22	77,30
	-	5	T13	15,15	8,96	91,04	54,62	23,87	2,31	3,32	73,96
	-	6	T14	16,91	8,78	91,22	53,43	22,46	2,18	4,39	78,97
	-	7	T15	16,69	10,10	89,90	53,94	24,22	2,67	3,80	76,16
	-	8*	T16	17,88	9,10	90,90	61,74	24,53	2,32	3,03	67,74
La unión	40	9	T17	17,98	10,69	89,31	63,62	28,72	2,19	2,28	71,18
	30	10	T18	20,70	9,08	90,92	63,50	28,44	2,51	3,04	70,65
	60	11	T19	9,95	9,17	90,83	70,49	32,13	3,96	3,55	66,52
	60	12	T20	15,70	8,45	91,55	66,65	30,19	2,49	2,82	69,19
	-	9	T21	17,13	9,61	90,39	55,42	24,20	2,43	3,87	67,57
	-	10	T22	18,75	8,54	91,46	52,79	23,85	3,30	4,08	73,57
	-	11	T23	12,18	8,72	91,28	56,31	25,47	2,40	3,13	70,65
	-	12	T24	17,01	7,66	92,34	55,09	24,28	2,59	4,16	72,18

Composición química del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Dietas mezcladas en una relación 70:30 de pasto: suplemento concentrado. PD: Periodo de descanso del pasto, % PC: Porcentaje de proteína cruda, % Cen: Porcentaje de cenizas, % MO: porcentaje de Materia orgánica, %FDN: Porcentaje de FDN, %FDA: Porcentaje de FDA, % Lig: Porcentaje de lignina, % EE: Porcentaje de Extracto etéreo, %DIVMS: Porcentaje de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (Daisy II). \*Finca 8: base forrajera de Pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*).

**Continuación tabla 2-2** Composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de las pasturas y dietas evaluadas, en diferentes municipios de clima frío de Antioquia.

Municipio	PD	Finca	Tto	PC	Cen	MO	FDN	FDA	Lig	EE	DIVMS
% M.S											
Santa Rosa de Osos	45	13	T25	20,53	11,73	88,27	62,62	27,43	3,02	2,89	71,10
	50	14	T26	17,56	8,63	91,37	66,11	28,93	2,21	2,75	69,12
	43	15	T27	20,48	9,34	90,66	61,26	27,19	2,32	2,81	74,77
	42	16	T28	23,13	9,06	90,94	58,47	25,57	2,06	3,23	73,11
	-	13	T29	18,72	11,35	88,65	47,61	20,13	2,01	3,71	80,43
	-	14	T30	16,15	8,07	91,93	56,18	24,67	2,72	3,19	67,17
	-	15	T31	17,49	8,95	91,05	52,06	21,93	2,25	4,50	77,51
	-	16	T32	22,85	9,88	90,12	48,62	21,59	2,35	4,00	74,92
Entrerriós	50	17	T33	17,07	9,62	90,38	63,64	28,32	2,71	3,11	74,84
	40	18	T34	20,16	9,64	90,36	58,54	25,29	4,94	3,78	76,89
	28	19	T35	22,21	8,57	91,43	58,25	24,84	2,62	4,21	80,05
	15	20	T36	24,23	10,34	89,66	53,87	23,28	2,91	3,57	80,34
	-	17	T37	17,24	9,91	90,09	49,90	22,21	2,50	3,69	77,88
	-	18	T38	19,31	11,42	88,58	49,28	21,51	2,13	4,28	79,10
	-	19	T39	21,07	8,90	91,10	49,16	21,39	2,30	4,52	79,49
	-	20	T40	23,66	10,50	89,50	43,21	17,91	1,82	3,87	81,62

Composición química del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Dietas mezcladas en una relación 70:30 de pasto: suplemento concentrado. PD: Periodo de descanso del pasto, % PC: Porcentaje de proteína cruda, % Cen: Porcentaje de cenizas, % MO: porcentaje de Materia orgánica, %FDN: Porcentaje de FDN, %FDA: Porcentaje de FDA, % Lig: Porcentaje de lignina, % EE: Porcentaje de Extracto etéreo, %DIVMS: Porcentaje de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (Daisy II). \*Finca 8: base forrajera de Pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*).

### 2.5.2 Parámetros de la fermentación ruminal *in vitro*.

Los principales parámetros de fermentación ruminal *in vitro* producto de la incubación de pastos y dietas (70:30) provenientes de diferentes municipios de Antioquia, fueron comparados entre municipios y analizados por sustrato y tiempo de incubación y son mostrados en las tablas 2-3 y 2-4.

Los resultados hallados a partir de la fermentación a las 24 horas de los pastos provenientes de los cinco municipios evaluados presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en la producción de gas, la concentración de nitrógeno amoniacal, los valores de pH en el líquido ruminal, la producción de metano y los AGV's. No obstante, no se detectaron diferencias ( $P > 0.05$ ) en la degradación de la materia seca, la degradación de la fibra en detergente ácido y la proporción de acetato. A las 48 horas no se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) en la degradación de la fibra en detergente ácido y la proporción de isovalerato. Los demás parámetros difirieron ( $P < 0.05$ ) entre municipios, ver tabla 2-3.

Por su parte, los principales parámetros de fermentación ruminal *in vitro* producto de la incubación de las dietas (tabla 2-4) mostraron que ni la producción de gas ni la degradación de la fibra en detergente ácido difirieron ( $P > 0.05$ ) entre municipios en ningún tiempo de incubación (24 y 48 horas). De igual forma, no se hallaron diferencias en la degradación de la materia seca a las 24 horas ni en la proporción de isovalerato producida a las 48 horas. Para los demás parámetros evaluados, se detectaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre municipios.

**Tabla 2-3** Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* a 24 y 48 horas del pasto kikuyo proveniente de los cinco municipios de clima frío del departamento de Antioquia.

Municipio	San Pedro de los Milagros	Yarumal	Entrerrios	Santa Rosa de Osos	la Unión	Valor P
<b>Parámetro</b>	<b>24 Horas</b>					
Gas (ml)	99,98 ab	108,93 a	95,21 b	94,83 b	103,59 ab	0,0011
DMS (%)	57,06	58,46	51,68	54,04	55,35	0,0891
N-NH3 (ppm)	193,44 ab	254,89 a	158,97 b	136,47 b	135,97 b	0,0002
pH	6,52 b	6,55 ab	6,59 a	6,54 ab	6,56 ab	0,0170
DFDN (%)	55,03 a	55,40 a	51,09 ab	42,33 c	46,76 cb	0,0005
DFDA (%)	52,605	54,87	51,728	48,770	51,54	0,3010
CH4 ml /g MSi	30,80 c	72,76 a	46,12 b	40,39 b	48,72 b	<,0001
CH4 ml /g MSd	54,02 c	124,63 a	89,97 b	75,36 b	88,98 b	<,0001
AGV Total (mmol/L)	38,42 b	50,32 a	40,18 b	41,56 b	40,90 b	0,0002
Acetato (%)	63,20	64,43	70,27	63,10	63,31	0,3798
Propionato (%)	28,83 a	25,83 a	30,01 a	27,57 a	26,41 a	0,0792
Butirato (%)	6,94	7,90	7,41	7,05	8,32	0,1690
Valerato (%)	0,27 c	0,37 cb	0,49 ab	0,53 a	0,48 ab	0,0004
Isovalerato (%)	0,33 b	0,94 a	0,64 ab	0,73 ab	0,60 ab	0,0252
Relación A:P	2,20 c	2,50 a	2,33 b	2,29 cb	2,41 ab	<,0001
<b>Parámetro</b>	<b>48 Horas</b>					
Gas (ml)	171,89 ab	174,91 a	157,92 b	158,27 b	168,58 ab	0,0088
DMS (%)	73,89 a	67,05 bc	61,57 c	62,44 cb	68,56 ab	0,0003
N-NH3 (ppm)	141,76 b	234,87 a	141,31 b	192,15 ab	187,78 ab	0,0235
pH	6,45 b	6,55 a	6,49 ab	6,49 ab	6,45 b	0,0012
DFDN (%)	75,05 a	68,36 a	71,17 a	59,71 b	68,14 a	0,0002
DFDA (%)	70,28	67,29	73,02	65,78	70,77	0,1617
CH4 ml /g MSi	86,14 b	136,48 a	79,90 bc	67,84 c	89,83 b	<,0001
CH4 ml /g MSd	117,34 b	206,09 a	130,17 b	109,66 b	131,44 b	<,0001
AGV Total (mmol/L)	58,92 c	62,46 c	77,97 a	72,86 ab	64,82 bc	0,0001
Acetato (%)	61,31 b	62,61 a	61,82 ab	61,35 b	61,06 b	0,0013
Propionato (%)	29,84 a	26,36 c	27,74 b	27,99 b	27,12 bc	<,0001
Butirato (%)	6,94 c	8,05 ab	7,79 b	7,63 b	8,44 a	0,0001
Valerato (%)	0,41 b	0,56 b	0,57 a	0,64 a	0,68 a	0,0003
Isovalerato (%)	0,38 a	1,23 a	0,64 a	0,74 a	0,61 a	0,2027
Relación A:P	2,06 c	2,38 a	2,23 b	2,19 b	2,25 b	<,0001

Medias con letras diferentes dentro de cada fila difieren significativamente ( $P < 0.05$ ). DMS: degradación de la materia seca, N-NH3: Nitrógeno amoniacal, DFDN: degradación de la fibra en detergente neutro, DFDA: degradación de la fibra en detergente ácido, CH<sub>4</sub>: metano, MSi: materia seca incubada, MSd: materia seca degradada.



**Tabla 2-4** Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* a 24 y 48 horas de las dietas 70:30 kikuyo:concentrado, respectivamente proveniente de cinco municipios de clima frío del departamento de Antioquia.

Municipio	San Pedro de los Milagros	Yarumal	Entrerrios	Santa Rosa de Osos	la Unión	Valor P
<b>Parámetro</b>		<b>24 Horas</b>				
Gas (ml)	112,85 a	118,71 a	112,20 a	109,71 a	115,33 a	0,0699
DMS (%)	63,11	64,72	61,41	63,44	64,25	0,7499
N-NH3 (ppm)	176,24 ab	214,83 a	155,04 b	104,40 c	132,07 bc	<,0001
pH	6,47 b	6,55 a	6,52 ab	6,47 b	6,51 ab	0,0059
DFDN (%)	53,20 ab	57,36 a	51,14 ab	46,80 b	49,25 b	0,0070
DFDA (%)	49,96	54,02	50,93	50,70	50,97	0,8468
CH4 ml /g MSi	43,58 b	86,60 a	57,61 b	44,73 b	56,27 b	<,0001
CH4 ml /g MSd	69,40 c	136,115 a	94,11 b	71,28 c	87,45 cb	<,0001
AGV Total (mmol/L)	43,82 c	53,13 a	50,53 ab	49,73 b	52,48 a	<,0001
Acetato (%)	59,95 b	62,21 a	60,15 b	59,74 b	59,96 b	0,0007
Propionato (%)	30,66 a	24,84 c	27,17 b	26,98 b	26,61 b	<,0001
Butirato (%)	8,51 b	10,85 a	10,64 a	10,98 a	11,02 a	<,0001
Valerato (%)	0,22 b	0,44 a	0,44 a	0,51 a	0,52 a	<,0001
Isovalerato (%)	0,31 b	1,05 a	0,64 ab	0,74 ab	0,61 ab	0,0508
Relación A:P	1,97 c	2,51 a	2,22 b	2,22 b	2,26 b	<,0001
<b>Parámetro</b>		<b>48 Horas</b>				
Gas (ml)	183,90 a	182,78 a	176,18 a	173,08 a	176,83 a	0,082
DMS (%)	76,69 a	75,04 ab	70,65 ab	68,99 b	74,42 ab	0,013
N-NH3 (ppm)	138,18 c	255,59 a	164,59 bc	248,81 a	197,48 b	<,0001
pH	6,42 b	6,58 a	6,45 b	6,44 b	6,44 b	0,0002
DFDN (%)	73,60 a	71,52 a	69,30 a	61,60 b	67,67 ab	0,0013
DFDA (%)	69,20	65,83	70,56	63,48	68,02	0,1412
CH4 ml /g MSi	109,82 b	168,74 a	83,05 c	78,68 c	110,60 b	<,0001
CH4 ml /g MSd	142,96 b	226,06 a	117,71 b	114,97 b	148,89 b	<,0001
AGV Total (mmol/L)	59,79 b	65,33 b	86,59 a	83,66 a	67,57 b	<,0001
Acetato (%)	59,40 ab	60,01 a	59,24 ab	59,37 ab	58,54 b	0,0494
Propionato (%)	29,85 a	25,39 b	26,86 b	26,39 b	26,76 b	<,0001
Butirato (%)	8,61 b	11,02 a	10,83 a	10,85 a	10,75 a	<,0001
Valerato (%)	0,44 c	0,66 b	0,61 b	0,67 ab	0,76 a	<,0001
Isovalerato (%)	0,39	1,33	0,64	0,74	0,60	0,2391
Relación A:P	2,01 c	2,37 a	2,21 b	2,25 ab	2,19 b	<,0001

Medias con letras diferentes dentro de cada fila difieren significativamente ( $P < 0.05$ ). DMS: degradación de la materia seca, N-NH<sub>3</sub>: Nitrógeno amoniacal, DFDN: degradación de la fibra en detergente neutro, DFDA: degradación de la fibra en detergente ácido, CH<sub>4</sub>: metano, MSi: materia seca incubada, MSd: materia seca degradada.

Los valores promedio de los principales parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo, pasto estrella y dietas conformadas en una relación 70:30 (pasto:suplemento concentrado) que fueron muestreados en cinco municipios de clima frío de Antioquia, serán presentados de las tablas 2-5 a la 2-8.

En términos generales y a partir de los resultados obtenidos de los principales parámetros de fermentación ruminal *in vitro* se puede ver una mayor producción de gas y mayor degradación de la materia seca (DMS) a las 48 horas en comparación con las 24 horas. Se observa también una mayor producción de gas y mayor DMS en las dietas que en los mismos pastos. La degradación de los componentes de la pared celular (DFDN - DFDA) también está asociada al tiempo de incubación y se observa una mayor degradación a las 48 horas tanto para pastos como para dietas. Los valores promedios de nitrógeno amoniacal hallados tienen un comportamiento errático, debido posiblemente al efecto de los diferentes esquemas de manejo y fertilización, lo cual se refleja en los altos coeficiente de variación tanto en pastos como en dietas. La producción de metano por su parte, también arrojó altos coeficiente de variación. Los valores promedio de acetato, propionato y butirato generados por la fermentación de los pastos y dietas se hallan dentro de los valores esperados. Con respecto a los ácidos grasos volátiles valerato e isovalerato se observa un alto coeficiente de variación, lo cual podría estar asociado a los contenidos de proteína cruda de cada sustrato. (Ver tabla 2-5). Por su parte, en el pasto estrella y las dietas incubadas se registró un comportamiento similar al descrito para el kikuyo y las dietas correspondientes (Ver tablas 2-6).

**Tabla 2-5** Valores promedio de los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y sus respectivas dietas 70:30, proveniente de 5 municipios de Antioquia.

Parámetro	Pasto Kikuyo		Dietas 70:30 Pasto kikuyo: Concentrado	
	Promedio	C.V (%)	Promedio	C.V (%)
	<b>24 horas</b>			
Producción de Gas (ml)	100,23 ± 7,88	7,86	113,84 ± 7,04	6,18
DMS (%)	55,27 ± 4,99	9,02	63,32 ± 3,95	6,24
NH3-N (ppm)	168,77 ± 47,25	28,00	151,74 ± 43,04	28,37
pH	6,55 ± 0,05	0,80	6,50 ± 0,05	0,82
DFDN (%)	50,06 ± 7,36	14,71	51,38 ± 5,52	10,74
DFDA (%)	51,91 ± 6,12	11,78	51,47 ± 6,43	12,50
CH4 ml /g MSi	46,72 ± 14,43	30,90	56,53 ± 17,77	31,43
CH4 ml /g MSd	84,30 ± 26,10	30,96	89,45 ± 27,51	30,75
AGV TOTAL (mmol/L)	42,55 ± 6,85	16,09	50,05 ± 5,39	10,77
Acetato (%)	63,11 ± 1,58	2,50	60,03 ± 1,81	3,01
Propionato (%)	27,15 ± 1,69	6,22	27,24 ± 2,39	8,77
Butirato (%)	7,95 ± 1,13	14,18	10,82 ± 1,61	14,88
Valerato (%)	1,36 ± 0,45	33,03	1,49 ± 0,54	35,91
Isovalerato (%)	0,42 ± 0,13	29,74	0,42 ± 0,13	29,78
Relación A:P	2,34 ± 0,18	7,59	2,22 ± 0,22	9,95
	<b>48 horas</b>			
Producción de Gas (ml)	166,00 ± 11,38	6,86	178,66 ± 10,30	5,76
DMS (%)	66,74 ± 6,68	10,00	73,29 ± 5,42	7,39
Nitrógeno Amoniacal (ppm)	175,18 ± 50,62	28,90	195,92 ± 47,84	24,42
pH	6,48 ± 0,06	0,99	6,46 ± 0,09	1,47
DFDN (%)	68,63 ± 7,12	10,37	68,61 ± 5,98	8,72
DFDA (%)	69,64 ± 7,90	11,35	67,77 ± 5,84	8,61
CH4 ml /g MSi	89,46 ± 25,93	28,98	106,84 ± 36,43	34,10
CH4 ml /g MSd	135,09 ± 41,93	31,04	145,07 ± 45,99	31,70
AGV TOTAL (mmol/L)	67,90 ± 11,21	16,52	73,34 ± 13,18	17,97
Acetato (%)	61,37 ± 1,25	2,03	59,09 ± 1,26	2,14
Propionato (%)	27,85 ± 1,63	5,84	27,08 ± 2,10	7,75
Butirato (%)	8,04 ± 0,86	10,75	10,66 ± 1,38	12,91
Valerato (%)	2,17 ± 0,52	23,92	2,55 ± 0,58	22,81
Isovalerato (%)	0,57 ± 0,12	21,32	0,62 ± 0,13	20,12
Relación A:P	2,21 ± 0,15	6,75	2,19 ± 0,17	7,90

DMS: degradación de la materia seca, DFDN: degradación de la fibra en detergente neutro, DFDA: degradación de la fibra en detergente ácido, CH<sub>4</sub>: metano, MSi: Materia seca incubada, MSd: materia seca degradada, AGV: ácidos grasos volátiles, Relación A:P: relación acetato:propionato, D.E: desviación estandar, C.V: coeficiente de variación, n=76.

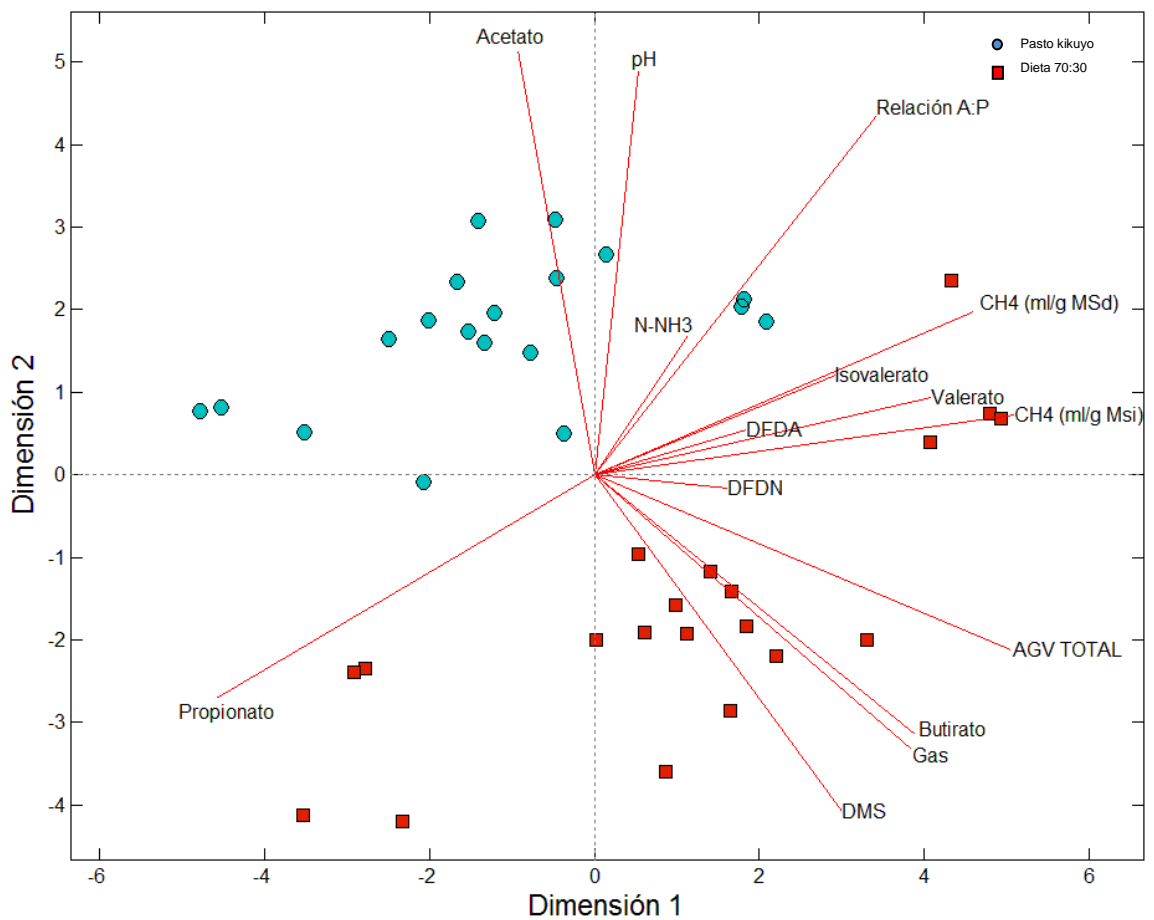
**Tabla 2-6** Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y sus respectivas dietas 70:30, proveniente del municipio de Yarumal, Antioquia.

Parámetro	Pasto Estrella		Dietas 70:30 Pasto Estrella: Concentrado	
	Promedio	C.V (%)	Promedio	C.V (%)
	<i>24 horas</i>			
Producción de Gas (ml)	100,23 ± 7,88	7,86	113,84 ± 7,04	6,18
DMS (%)	55,27 ± 4,99	9,02	63,32 ± 3,95	6,24
NH <sub>3</sub> -N (ppm)	168,77 ± 47,25	28,00	151,74 ± 43,04	28,37
pH	6,55 ± 0,05	0,80	6,50 ± 0,05	0,82
DFDN (%)	50,06 ± 7,36	14,71	51,38 ± 5,52	10,74
DFDA (%)	51,91 ± 6,12	11,78	51,47 ± 6,43	12,50
CH <sub>4</sub> ml /g MSi	46,72 ± 14,43	30,90	56,53 ± 17,77	31,43
CH <sub>4</sub> ml /g MSd	84,30 ± 26,10	30,96	89,45 ± 27,51	30,75
AGV TOTAL (mmol/L)	42,55 ± 6,85	16,09	50,05 ± 5,39	10,77
Acetato (%)	63,11 ± 1,58	2,50	60,03 ± 1,81	3,01
Propionato (%)	27,15 ± 1,69	6,22	27,24 ± 2,39	8,77
Butirato (%)	7,95 ± 1,13	14,18	10,82 ± 1,61	14,88
Valerato (%)	1,36 ± 0,45	33,03	1,49 ± 0,54	35,91
Isovalerato (%)	0,42 ± 0,13	29,74	0,42 ± 0,13	29,78
Relación A:P	2,34 ± 0,18	7,59	2,22 ± 0,22	9,95
	<i>48 horas</i>			
Producción de Gas (ml)	166,00 ± 11,38	6,86	178,66 ± 10,30	5,76
DMS (%)	66,74 ± 6,68	10,00	73,29 ± 5,42	7,39
Nitrógeno Amoniacal (ppm)	175,18 ± 50,62	28,90	195,92 ± 47,84	24,42
pH	6,48 ± 0,06	0,99	6,46 ± 0,09	1,47
DFDN (%)	68,63 ± 7,12	10,37	68,61 ± 5,98	8,72
DFDA (%)	69,64 ± 7,90	11,35	67,77 ± 5,84	8,61
CH <sub>4</sub> ml /g MSi	89,46 ± 25,93	28,98	106,84 ± 36,43	34,10
CH <sub>4</sub> ml /g MSd	135,09 ± 41,93	31,04	145,07 ± 45,99	31,70
AGV TOTAL (mmol/L)	67,90 ± 11,21	16,52	73,34 ± 13,18	17,97
Acetato (%)	61,37 ± 1,25	2,03	59,09 ± 1,26	2,14
Propionato (%)	27,85 ± 1,63	5,84	27,08 ± 2,10	7,75
Butirato (%)	8,04 ± 0,86	10,75	10,66 ± 1,38	12,91
Valerato (%)	2,17 ± 0,52	23,92	2,55 ± 0,58	22,81
Isovalerato (%)	0,57 ± 0,12	21,32	0,62 ± 0,13	20,12
Relación A:P	2,21 ± 0,15	6,75	2,19 ± 0,17	7,90

DMS: degradación de la materia seca, DFDN: degradación de la fibra en detergente neutro, DFDA: degradación de la fibra en detergente ácido, CH<sub>4</sub>: metano, MSi: Materia seca incubada, MSd: materia seca degradada, AGV: ácidos grasos volátiles, Relación A:P: relación acetato:propionato, D.E: desviación estandar, C.V: coeficiente de variación, n=4.

Para comparar los principales parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* entre pastos y dietas se realizó una representación biplot de los componentes principales, en la cual se integraron todos los parámetros fermentativos a las 24 horas del pasto kikuyo y sus respectivas dietas (70:30). Los resultados indican que las dietas (cuadros), en comparación con los pastos (círculos), generaron mayor volumen de gas, poseen mayores porcentajes de degradación de la materia seca (DMS), mayores proporciones de butirato y menores concentraciones de acetato. Se puede observar también como la producción de propionato parece tener una relación inversa con la producción de metano (Ver figura 2-1).

**Figura 2-1** Representación biplot de los parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* a las 24 horas del pasto kikuyo y las dietas (70:30).



Aunque la representación biplot genera información con respecto al comportamiento de los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* entre pastos y dietas se deben realizar correlaciones de Pearson para verificar el grado de asociación entre cada par de variables. (Ver Anexos).

### 2.5.3 Relaciones entre la composición química y los parámetros de la fermentación ruminal *in vitro*

En la Tabla 2-9 se presentan las correlaciones de Pearson entre la producción de metano con la composición química y los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo y las dietas (70:30) correspondientes.

**Tabla 2-7** Coeficientes de correlación de Pearson entre la producción de metano con la composición química y los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo y dietas (70:30) provenientes de diferentes municipios de Antioquia.

Parámetro	Pasto Kikuyo				Dietas 70:30			
	CH <sub>4</sub> (ml/g MSi)		CH <sub>4</sub> (ml/g MSd)		Pasto kikuyo: Concentrado			
	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
<b>Cen</b>	-0,54*	-0,18	-0,66*	-0,43	-0,04	0,04	-0,15	-0,05
<b>MO</b>	0,54*	0,18	0,66*	0,43	0,04	-0,04	0,15	0,05
<b>FDN</b>	0,25	0,10	0,39	0,30	0,32	0,04	0,42	0,14
<b>FDA</b>	0,15	-0,07	0,31	0,14	0,35	-0,03	0,45*	0,06
<b>Lig</b>	0,44	0,29	0,45*	0,38	0,15	-0,32	0,25	-0,26
<b>PC</b>	-0,35	-0,21	-0,50*	-0,40	-0,40	-0,17	-0,49*	-0,25
<b>EE</b>	-0,16	0,00	-0,20	-0,11	-0,41	0,03	-0,44	-0,04
<b>Gas</b>	0,65**	0,69**	0,51*	0,53*	0,65*	0,60**	0,58*	0,54*
<b>DMS</b>	0,26	0,26	0,01	-0,06	0,20	0,64**	0,04	0,52*
<b>N-NH<sub>3</sub></b>	0,43	0,43	0,28	0,41	0,56	0,18	0,54*	0,24
<b>pH</b>	-0,02	0,39	0,07	0,49*	0,65*	0,58**	0,62**	0,62**
<b>DFDN</b>	0,28	0,26	0,12	0,05	0,49	0,44	0,43	0,33
<b>DFDA</b>	0,42	-0,04	0,23	-0,16	0,34	0,06	0,25	-0,04
<b>AGV Total</b>	0,86***	-0,43	0,78***	-0,28	0,55	-0,57**	0,52	-0,51*
<b>Acetato</b>	0,55*	0,71***	0,44	0,74***	0,65*	0,48*	0,67***	0,51*
<b>Propionato</b>	-0,76**	-0,34	-0,82***	-0,47	-0,61*	-0,15	-0,62*	-0,23
<b>Butirato</b>	0,32	-0,16	0,47	0,00	0,18	-0,13	0,19	-0,06
<b>valerato</b>	0,37	0,09	0,47	0,14	0,32	0,13	0,28	0,18
<b>Isovalerato</b>	0,11	-0,11	0,19	-0,06	0,22	-0,02	0,19	0,02
<b>RelAP</b>	0,82***	0,46	0,83***	0,60**	0,74***	0,28	0,74***	0,36

CH<sub>4</sub>: metano, MSi: materia seca incubada, MSd: Materia seca degradada, 24h: 24 horas, 48h: 48 horas, Cen: % cenizas, MO: % materia orgánica, FDN: % Fibra en detergente neutro, FDA: % fibra en detergente ácido, Lig: % lignina, PC: % proteína cruda, EE: % extracto etéreo, Gas: producción de gas (ml), DMS: % degradación de la materia sca, N-NH<sub>3</sub>: nitrógeno amoniacal (ppm), DFDN: % degradabilidad de la fibra en detergente neutro, DFDA: % degradabilidad de la fibra en detergente ácido, AGV Total (mmol/l), Acetato (%), Propionato (%), Butirato (%), valerato (%), Isovalerato (%), RelAP. \*  $P < 0,005$ , \*\*  $P < 0,001$ , \*\*\*  $P < 0,0001$

Del análisis de correlaciones a partir de la fermentación del pasto kikuyo y de las dietas 70:30 con dicho pasto, en términos generales se puede resaltar la relación positiva existente entre la producción de metano (ml/g MSi y ml/g MSd) con la producción de gas, la producción total de AGV y relación acetato:propionato, además de la relación inversa existente entre el metano y la proporción de

propionato, tanto para pastos como para dietas. Por su parte a las 48 horas de fermentación del kikuyo se halló una alta y significativa correlación para la producción de metano con la producción de gas y de acetato.

Otras correlaciones significativas aunque menores, relacionan positivamente la producción de metano con la materia orgánica y negativamente con las cenizas para el pasto kikuyo en ambos tiempos de incubación. En cuanto a las dietas, se puede ver una correlación positiva entre el metano con la producción de gas en ambos tiempos de incubación. Para las dietas se halló una correlación significativa y positiva entre la producción de metano con la degradación de la materia seca (Tabla 2-9).

El análisis de regresión múltiple mostro una relación positiva entre la producción de gas y una relación negativa con la proporción de propionato (Tabla 2-10).

**Tabla 2-8** Predicción de la producción de metano (CH<sub>4</sub>), del pasto kikuyo mediante análisis de regresión lineal.

Ecuación de predicción	R <sup>2</sup>	Valor P
CH <sub>4</sub> (ml) = 51,11 + 0,50*Gas(ml) - 2,88*Propionato(%)	0,69	<0.0001

## 2.6 Discusión de resultados

### 2.6.1 Caracterización química de sustratos

En general, los resultados de composición química y digestibilidad hallados en el presente estudio para el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) son semejantes a los encontrados por otros autores. Correa *et al.*, (2008) en un estudio sobre el valor nutricional del pasto kikuyo en el departamento de Antioquia reportan una PC que varió entre un mínimo de 15,4% y un máximo de 27,1%, rango comparable con el nuestro (9,25 a 24,23% de PC) (Correa, Pabón y Carulla 2008). Los mayores niveles de PC como porcentaje de la MS observados en algunas pasturas suele atribuirse a los regímenes de fertilización nitrogenada a que se suele someter a esta pastura en los sistemas de lechería especializada (Carulla, 1999; Galvis *et al.*, 2010). Por su parte, Giraldo *et al.*, 2007, en la evaluación de muestras de kikuyo de 29 y 49 días obtuvieron concentraciones de PC de 18,7 y 13,3%, respectivamente, rango comparable con los tenores de proteína hallados en el presente estudio. Otros autores han reportado niveles similares de PC con muestras de kikuyo obtenidas en el Departamento de Antioquia (Arreaza *et al.*, 2005; Brand *et al.*, 1999; Carro *et al.*, 2005; Soto *et al.*, 2005; Tavendale *et al.*, 2005).

Con relación a los principales componentes de la pared celular determinados a través de las fracciones (FDN, FDA y lignina), se encontró que los valores de FDN (entre 53,87 y 70,49%) y FDA (entre 23,28 y 32,13%) hallados en el presente estudio son equiparables a los descritos por Correa *et al.*, (2008) quienes reportan valores entre 51,7% y 66,9% de FDN, y entre 28,3% y 32,8% de FDA. Similarmente, Giraldo *et al.*, (2007), comparando muestras de kikuyo de 29 y 49 días, registraron porcentajes de FDN de 63,0 y 69,6%, respectivamente y de FDA de 29,7 y 31,0%, respectivamente.

Los valores de lignina hallados en el presente estudio (entre 1,66% y 4,94%), fueron menores a los reportados por otros autores: entre 4,47% y 7,49% (Correa *et al.*, 2008); entre 5,0% y 7,4% (Soto *et al.*, 2005) y de 3,38% (Laredo y Mendoza, 1982). Sin embargo, también se han reportado valores promedio de lignina para pasto kikuyo de 2,9 % (Laredo y Minson, 1973).

En relación con el contenido de MO, algunos autores (Brand *et al.*, 1999) han registrado valores promedio más bajos (85%) que los encontrados en las muestras de kikuyo evaluadas en el presente trabajo (90,15%). No obstante Correa *et al.*, (2008) hallaron para el pasto kikuyo muestreado en diferentes lugares de Antioquia contenidos de MO muy semejantes (89,5%). Los contenidos de extracto etéreo promedio encontrados en el pasto kikuyo proveniente de los diferentes municipios de Antioquia evaluados se encuentran dentro de los valores para pastos tropicales (Van Soest 1994) y son similares a valores promedios (10.6%) encontrados por otros autores (Correa *et al.*, 2008).

El promedio de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del kikuyo obtenido fue de 74,66% el cual es menor a los valores reportados por Giraldo *et al.*, (2007) quienes obtuvieron porcentajes de 84,32% y 82,03% a partir de muestras de pasto kikuyo de 29 y 49 días, respectivamente. Por su parte Mojica *et al.* 2009, hallaron para este mismo pasto promedios de DIVMS de 64,8%, diferencia que puede ser atribuida a que la técnica usada por estos autores (Tilley y Terry 1963) y que fue diferente a la utilizada en los dos estudios antes citados. Por su parte Figueiredo *et al.* 2000, reportaron una DIVMS para el pasto kikuyo de 72,97%, usando la misma técnica que la usada en este trabajo.

En relación con las muestras de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) procedentes del municipio de Yarumal, los resultados del análisis químico arrojaron valores divergentes a los reportados en la literatura. En el presente estudio se obtuvieron valores de PC: 17,74%; FDN: 67,89%; FDA: 30,32%, lignina: 3,23% y cenizas: 8,31%. Arthington y Brown (2005), en la Universidad de La Florida hallaron en pastos de 4 y 10 semanas de rebrote contenidos de PC de 10% y 7,5%, respectivamente. Por su parte, los mismos autores registraron contenidos de FDN y FDA en promedio de 80,1% a la semana 4 y de 83,6% a la semana 10. La lignina registró un valor promedio de 6,2% y de 8,3% a las semanas 4 y 10, respectivamente. De otro lado, en un estudio sobre los indicadores de la composición química y digestibilidad *in vitro* de 14 forrajes



tropicales se reportaron valores de PC, FDA y cenizas para el pasto estrella de 7,7%; 32,7% y 9,5%, respectivamente (León *et al.*, 2012). Otros autores han reportado resultados de composición química similares a los encontrados en el presente estudio, indicando valores promedio de PC, FDN, FDA, lignina y extracto etéreo de 14,7%, 65,94%, 34,1%, 4,04% y 1,93%, respectivamente. (Estrada-Liévano *et al.*, 2009).

Los mayores valores de proteína registrados para las muestras de pasto estrella procedentes del municipio de Yarumal pueden ser debidas al tipo de manejo de que es objeto esta pastura en esos sistemas de producción intensivos (lechería especializada) en los cuales se utiliza una fertilización nitrogenada alta y frecuente y un periodo de descanso semejante al que se le da al pasto kikuyo. Dicho manejo se puede ver reflejado también en la DIVMS, la cual fue de 77,30%, similar a las registradas por las muestras de pasto kikuyo.

En cuanto a la dieta, los análisis de la composición química de la mezcla forraje-concentrado arroja resultados que serían de esperarse en virtud de la adición de un suplemento concentrado caracterizado por su mayor digestibilidad, mayor contenido de proteína y menores contenidos de fibra, principalmente (Mojica *et al.* 2009; Relling y Mattioli, 2003).

### **2.6.2 Parámetros de fermentación ruminal *in vitro***

Como era esperado, y en términos generales, las comparaciones de los principales parámetros de fermentación ruminal *in vitro* entre municipios fueron diferentes tanto en tiempos de incubación como en pastos y dietas de los diferentes municipios. Las diferencias aquí observadas juegan un rol importante al momento de realizar la estimación de las emisiones de metano por municipio dado que ayudan a explicar el comportamiento de los resultados obtenidos.

En relación con la técnica de gases, tal como fue establecido inicialmente por Theodorou *et al.* (1994), para todas las pasturas y dietas evaluadas en este estudio se observó una mayor producción de gas en función del tiempo de fermentación. En el presente estudio se hallaron diferencias ( $P < 0.05$ ) significativas en cuanto a la producción de gas a partir de la fermentación de pastos, entre municipios. Para las dietas, por su parte, no se registraron diferencias ( $P > 0.05$ ) en la producción de gas en ningún tiempo de incubación entre municipios y consecuentemente no hubo diferencias en la DMS a las 24h. Al respecto, está ampliamente referenciado la relación existente entre la producción de gas y la DMS (Williams, 2000). Como puede observarse en la Tabla 2-3, a mayores producciones de gas, mayores porcentajes de DMS.

La producción de gas registrada para todas las muestras de pasto kikuyo incluidas en el presente trabajo fue, en promedio, de 100,23 y de 166,00 ml/0,5g de MS, a las 24 y a las 48 horas, respectivamente. Estos resultados son comparables con los reportados en la literatura. En un estudio en donde se

trataba de determinar la proporción de metano en muestras de pasto Lucerna (*Medicago sativa*), kikuyo y seis leguminosas representadas por *Lotus spp.*, *Hedysarum coronarium* y *Dorycnium rectum*, sometidas a las técnicas *in vitro*, hallaron que las incubaciones de 0.5 g de MS produjeron entre 84 y 120 mL de gas a las 24 horas de incubación (Tavendale *et al.*, 2005)

Utilizando una técnica *in vitro* de producción de gases para examinar aditivos para forrajes, Carro *et al.*, (2005) realizaron una cinética de fermentación ruminal a 120 horas hallando que la producción asintótica de gas para el pasto kikuyo promedió los 140 y 143 ml/0.5g de MS, en pastos de 30 y 60 días, respectivamente.

La degradabilidad de la materia seca (DMS), en todas las pasturas y dietas, y como era de esperarse, fue menor a las 24 que a las 48 horas de incubación ( $P < 0.05$ ). Para kikuyo, los valores promedio de la DMS fueron de 55,27 y 66,74% a las 24 y 48 horas, respectivamente. Por su parte, las dietas con kikuyo promediaron una DMS de 63,32 y 73,29%, a las 24 y 48 horas, respectivamente (Tabla 2-5 y 2-6). Sánchez *et al.* (2005), en un estudio sobre la digestibilidad de pastos tropicales hallaron que para el pasto kikuyo de 56 días, la digestibilidad *in vitro* a 48 horas usando la técnica de gases fue de 52,10%. La menor edad promedio de rebrote a la cual fueron aprovechadas las pasturas en el presente trabajo (15 días) puede explicar su mayor degradabilidad (Sánchez *et al.*, 2005). Valores similares han sido hallados por otros investigadores, quien a partir de muestras de pasto kikuyo procedentes de la región norte de Antioquia, con edad de rebrote promedio de 42 días, hallaron que la DMS determinada mediante la técnica de gases fue de 62,16% y 76,66% a las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente (Giraldo *et al.*, 2013. datos no publicados). En otro estudio en donde se evaluaron mediante la técnica de producción de gases *in vitro* a las 24 y 48 horas de pasto kikuyo de alta, media y baja calidad, se encontraron valores de DMS para el kikuyo de alta calidad de 55,4% y de 72,7% a las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente; para el kikuyo de media calidad de 46,0% y de 64,6% a las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente y de 40,3% y 56,5% para el kikuyo de mala calidad, a las 24 y 48 de incubación, respectivamente (García *et al.*, 2013; datos no publicados).

En los rumiantes, una proporción significativa del nitrógeno dietario es transformado en nitrógeno amoniacal ( $N-NH_3$ ) en el rumen y como tal es absorbido por las paredes ruminales e intestinales por el sistema portal, representando un porcentaje de entre el 30 y el 80% del N consumido (Huntington, 1986; Reynolds, 1992). En el presente trabajo las concentraciones de  $N-NH_3$  en las pasturas difirieron de manera significativa entre municipios ( $P < 0.05$ ) para pastos y dietas y en los dos tiempos de incubación, lo cual puede ser debido a los diferentes esquemas de manejo (régimen de fertilización, periodo de descanso, riego, control de malezas, control de plagas, etc.) a que son sometidas las mismas. Los niveles promedio observados de  $N-NH_3$  para el kikuyo fueron de 168,77 y 175,18 ppm a las 24 y 48 horas de incubación,

respectivamente, los cuales son comparables con los valores de 145 a 181 ppm reportados por Mojica *et al.* (2009) en el licor ruminal de vacas pastoreando en tres niveles de oferta de pasto kikuyo. No obstante, esta variable presenta una alta desviación estándar y altos coeficientes de variación lo que estaría explicado, posiblemente, por los diversos esquemas agronómicos a que son sometidas las pasturas. De otro lado es conocido que las bacterias fermentadores de carbohidratos estructurales emplean el N-NH<sub>3</sub> como fuente de N para síntesis proteica (Ribeiro *et al.*, 2001). Los municipios que registraron las mayores concentraciones de N-NH<sub>3</sub> fueron San Pedro de los Milagros y Yarumal, altos contenidos que pueden estar asociados a los esquemas de fertilización a que son sometidas estas pasturas.

El pH, por su parte, en general no se vio afectado durante el proceso de fermentación ruminal *in vitro*, manteniéndose, por el contrario, dentro de los rangos fisiológicos (Janssen, 2010) asociados con una adecuada fermentación, debido tal vez a la baja inclusión de suplemento concentrado, no se identificaron cambios significativos en las dietas evaluadas.

Es ampliamente aceptado que la disminución del pH, como sucede ante un elevado suministro de carbohidratos por ejemplo, puede afectar la digestión de la fibra (El-Sbazy *et al.*, 1961). Se ha demostrado en modelos *in vitro* que si bien la adición de almidón afecta la cinética de la digestión de la fibra retrasándola (lag time) no afecta la tasa de digestión, cuando el pH es mantenido en 6.8 (Mertens y Loften, 1980). El potencial efecto negativo del bajo pH sobre la cinética de digestión de la fibra se registra en vacas de muy alta producción en las cuales los requerimientos de energía para la producción de leche normalmente son cubiertos con dietas compuestas por entre el 50 al 60% de concentrado (Grant y Mertens, 1992). En vacas (norteamericanas) alimentadas con dietas compuestas hasta de 24 Kg/día de concentrado, conteniendo 32% de almidón, se registró un pH ruminal de 6.1 (Robinson *et al.*, 1986). Mediante un sistema de fermentación continua se ha demostrado que tanto altos (7.5) como bajos (5.5) pH's comprometen gravemente la digestión de la fibra de una dieta compuesta por concentrado en un 60% (Hoover *et al.*, 1984). Teóricamente, las bacterias celulolíticas ruminales pueden ser inhibidas ante un pH. Teniendo en cuenta que la vaca lechera típica (norteamericana) puede tener un pH ruminal por debajo de 6,2 para un gran parte del día, no se explica entonces cómo sucede en este periodo la digestión de la fibra (Grant y Mertens, 1992). Finalmente, se sugiere que los efectos de la dieta sobre la digestión de la fibra y/o la proporción de AGV's, puede ser un efecto del pH y de la fermentación del sustrato (Mould *et al.*, 1983).

Hasta el momento no hay certeza si los efectos sobre la digestión de la fibra se deben al tipo de dieta o al pH (Calsamiglia *et al.*, 2008). Al respecto, ha sido demostrado *in vitro* que el cambio en la relación acetato:propionato observado después del suministro de concentrados fue principalmente atribuido a la dieta (75%) y en menor extensión al pH (25%) (Russell, 1998). Queda entonces por

establecer si el pH es realmente una causa de la alteración de la digestión de la fibra o si por el contrario es otro efecto más.

Trabajos recientes con técnicas moleculares han demostrado que incluso las vacas con pH muy bajo pueden mantener poblaciones normales de bacterias celulolíticas (Palmonari *et al.*, 2010). Los cambios y las fluctuaciones en el pH son dinámicos durante los días y la alimentación cruzada con celodextrinas pueden ayudar a explicar estos hallazgos. Por otra parte, el efecto de la depresión de pH debido a la dieta de transición, la adaptación y la recuperación sobre la diversidad y densidad de bacterias es importante, ya que es representativa de cómo cambia el rumen de una manera beneficiosa para la estabilización del ambiente ruminal y la salud animal (Hook *et al.*, 2011).

La digestibilidad de la fibra en detergente neutro (DFDN) fue de 50,12% y 68,49% a las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente. Por su parte, la digestibilidad de la fibra en detergente ácido (DFDA) registró valores de 51,90% y 69,43% a las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente. Otros autores han reportado valores de 74,9% para la DFDN del pasto kikuyo mediante la técnica de producción de gases *in vitro* después de incubados por 48 horas (Arreaza *et al.*, 2005). Por su parte otros estudios donde evaluaron pasto kikuyo de alta calidad mediante la misma técnica, encontraron valores de DFDN de 47,0% y 70,0% a las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente y valores de DFDA de 41,8% y 65,3% a las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente; valores que resultan comparables a los reportados en el presente trabajo (García, 2013; datos no publicados). Al respecto, un número de investigadores han demostrado que la producción de CH<sub>4</sub> puede estar influenciada por la naturaleza de los carbohidratos digeridos tales como hemicelulosa y celulosa (Van Soest, 1991, Santoso *et al.*, 2007). Igualmente, se ha observado una estrecha relación positiva entre la digestibilidad de la fibra en detergente neutro y el metano (Hindrichsen *et al.*, 2005).

Las proporciones de AGV's halladas para el pasto kikuyo difirieron entre municipios no obstante encontrarse dentro de los valores reportados por otros autores para esta variable (Mojica *et al.*, 2009). Dietas de forrajes ricos en fibra ayudan al crecimiento de bacterias productoras de acetato con una proporción molar de acetato:propionato:butirato típicamente alrededor de 70:20:10 (France y Dijkstra, 2005).

Los promedios de la relación acético:propiónico para el pasto kikuyo a las 24 y 48 horas, se mantuvieron similares siendo de 2,34:1 y 2,21:1, respectivamente. Evaluando pastos kikuyo de alta calidad, García *et al.* encontraron concentraciones totales de AGV's comparables a las reportadas en el presente estudio, además de encontrar relaciones semejantes de acético:propiónico 2,35 y 2,38 tanto a las 24 como a las 48 horas de incubación, respetivamente (Garcia, 2013; datos no publicados). En otro estudio donde evaluaron las concentraciones de AGV's del pasto kikuyo encontraron una relación acético:propiónico de 3,4 +/-

0,4 (Mojica *et al.*, 2009a). Estas diferencias pueden deberse a que en los sistemas de fermentación *in vitro* no se produce absorción de los VFA generados durante los procesos fermentativos. Debido a esto, se pueden encontrar diferentes concentraciones *in vitro* comparativamente a las halladas *in vivo* (Mansfield *et al.*, 1995).

De acuerdo con Johnson y Johnson (1995), la relación acético:ácido propiónico es una variable de relevancia significativa en la metanogénesis. Si esta relación llega a 0.5, la pérdida energética puede ser de 0%. Pero si todos los carbohidratos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera propiónico las pérdidas energéticas podrían llegar a ser del 33%. La relación acético:ácido propiónico puede variar entre 0.9 a 4, por lo tanto las pérdidas por metano varían ampliamente. Estos mismos autores indican que los dos principales factores responsables de las variaciones en la producción de metano son: la cantidad de carbohidratos fermentados en el retículo-rumen, lo cual implica diversas interacciones dieta-animal, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos y la tasa de pasaje. El otro mecanismo es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, la cual regula la producción de hidrógeno y la subsecuente producción de metano.

Se observó una mayor producción de metano en las dietas que en las pasturas solas. Expresado el metano en términos de ml/g MSi, a periodos de incubación de 24 y 48 horas, el pasto kikuyo registró concentraciones de metano en promedio de 46,72 y 89,46, respectivamente, mientras que las dietas (70:30, kikuyo:concentrado) registraron valores de 56,53 y 106,84, a las 24 y 48 horas, respectivamente. Si dichos valores de metano son expresados en ml/g MSd, a periodos de incubación de 24 y 48 horas, el pasto kikuyo registró concentraciones promedio de metano de 84,30 y 135,09, respectivamente, mientras que las dietas por su parte registraron valores de 89,45 y 145,07, respectivamente. Aunque la técnica *in vitro* de producción de gas se ha utilizado ampliamente para estudiar la producción de CH<sub>4</sub> con una gran variedad de forrajes (Lovett *et al.*, 2006; Tavendale *et al.*, 2005), son escasos los reportes de la producción de CH<sub>4</sub> a partir de la fermentación *in vitro* del pasto kikuyo y de dietas en dichas relaciones, sin embargo es de esperarse que se registren valores altos de metano en pastos tropicales (C4) (McCrabb y Hunter, 1999). Las gramíneas C4 tienen una pared celular con mayor contenido de carbohidratos y menor digestibilidad comparadas con los pastos de clima templado (C3) en la misma etapa de crecimiento (Minson, 1981). Otros autores han hablado de la correlación existente entre la fibra del forraje y la producción de metano (Blaxter y Wainman, 1964). Como los forrajes tropicales son generalmente mas altos en fibra que los forrajes templados, muchos modelos asignan estimaciones más altas de producción de CH<sub>4</sub> a ellos. Sin embargo, este criterio no tiene en cuenta la gran variabilidad en el contenido de fibra que existen dentro de los grupos de forrajeras tropicales y templadas con amplias coincidencias entre estas clases forrajeras (Archimède *et al.*, 2011).

La mayor producción de metano a partir de la fermentación de pastos y dietas en los diferentes municipios evaluados se encontró en el municipio de Yarumal, asociado posiblemente a la inclusión del pasto estrella en el estudio y a la composición química del mismo caracterizada por mayores contenidos de pared celular, lo cual podría explicar su mayor producción de metano y consecuentemente, su mayor producción de acetato.

Los resultados de la fermentación ruminal *in vitro* de todas las dietas evaluadas registran en términos generales, en relación con los pastos, una mayor producción promedio de gas, mayor degradabilidad de la materia seca, menores concentraciones de N-NH<sub>3</sub>, valores de pH menores, mayores producciones de metano y una menor relación acético: propiónico. La producción total de gas es cada vez más utilizada como una medida del potencial de fermentación de los alimentos (Pell *et al.*, 1997). Debido a que la composición de los productos finales afecta la cantidad de gas producido, una estrecha relación entre las dos variables ha sido reportada por algunos autores (Menke y Steingass, 1988; Naga y Harmeyer, 1975; Taya *et al.*, 1980). Los menores contenidos de N-NH<sub>3</sub> en las dietas se pueden atribuir a que al suplementar pastos con fuentes ricas en almidones y/o azúcares altamente degradables como los suplementos concentrados por lo general se produce una disminución en el contenido de N-NH<sub>3</sub> debido a que las bacterias utilizan esa energía para un mejor aprovechamiento del amoníaco ruminal (Relling y Mattioli, 2003). De otro lado, las mayores producciones de metano a partir de las dietas podrían estar también asociadas con los menores contenidos de nitrógeno amoniacal, pues es conocido que los nitratos compiten con la producción de metano ya que actúan como receptores de hidrógenos a nivel ruminal (Leng, 2008).

El pH medido en las dietas presentó un comportamiento similar al de los pastos, razón por la cual se considera que tampoco variaron los perfiles de AGV's toda vez que resultados de estudios *in vitro* e *in vivo* indican que dicho perfil es afectado significativamente por el pH (Dijkstra *et al.*, 2012). También es posible que el tipo de grano de los suplementos concentrados utilizados para conformar las dietas del presente estudio tenga un efecto en la producción de metano (Johnson y Johnson, 1995a, Hristov *et al.*, 2013).

Las dietas a base de concentrado, ricas en almidón, favorecen el desarrollo de especies bacterianas productoras de propionato y están asociados con un aumento en la proporción de propionato a expensas del acetato, aunque el acetato es casi siempre el más abundante de los ácidos (France y Dijkstra, 2005).

Por su parte los resultados de metano encontrados en las dietas muestran mayores producciones en relación a los encontrados en los pastos, teniendo en cuenta el concepto de algunos autores, las mezclas de forraje y grano para rumiantes parecen producir la mayor cantidad de CH<sub>4</sub> que los alimentados con forraje solo, a menos que la proporción de grano constituya más de la mitad de la mezcla (Blaxter y Wainman, 1964; Boadi *et al.*, 2002a; Lovett *et al.*, 2003).

Otros autores, mediante estudios *in vivo* con SF<sub>6</sub>, han hallado pruebas de que la suplementación media con alimentos concentrados puede aumentar la producción de metano. En un estudio en donde la caña de azúcar fue suplementada con alimento concentrado, se registró un incremento tanto el consumo de materia seca como la emisión de metano (Primavesi *et al.*, 2003). Similares resultados fueron obtenidos en un experimento en donde se hicieron inclusiones de 0, 30 y 60% de concentrado a la dieta basada en una variedad híbrida de sorgo (Pedreira *et al.*, 2013).

Aunque es bien sabido que la composición de la dieta afecta a la contribución de los rumiantes a la producción de GEI, el grupo de expertos del IPCC, que se encarga de la elaboración de metodologías para la estimación de los inventarios de emisiones globales, sólo diferencia entre las dietas que contienen más del 90% de concentrado y otros. (Beauchemin *et al.*, 2008).

McGinn *et al.*, (2006) encontraron que el aumento de concentrado en la dieta aumentó la producción de CH<sub>4</sub> por unidad de materia seca consumida. La inclusión de concentrado generó una mayor cantidad de materia orgánica fermentable por unidad de alimento que con forrajes solos, lo que resulta en un aumento de la producción de metano. El efecto depende principalmente del nivel de inclusión, el efecto sobre digestibilidad de la fibra y el tipo de grano utilizado (Hristov *et al.*, 2013).

En una investigación donde evaluaron algunos parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* de pasto ryegrass y ensilados de ryegrass mediante la técnica *in vitro* de producción de gases para el ryegrass con un manejo común para ensilar un pasto, se encontró 26 ml de CH<sub>4</sub>/g MSi y 43,4 ml de CH<sub>4</sub>/g MSd. (Navarro-Villa *et al.*, 2013). Por otra parte en un estudio donde se evaluaron los efectos del secado por congelación frente a el secado térmico a 40°C, en muestras de ryegrass de diferentes edades sobre la composición química y la producción de CH<sub>4</sub>, se encontraron valores promedio en la producción de metano en pastos congelados y secados térmicamente de 31 ml CH<sub>4</sub>/g de materia seca incubada y 52 ml CH<sub>4</sub>/g de materia seca digerida y 33 ml de CH<sub>4</sub>/g MSi y 54 ml de CH<sub>4</sub>/g MSd respectivamente (Purcell *et al.*, 2011).

La calidad del pasto influye en la medida en que la suplementación de granos puede reducir la producción de CH<sub>4</sub> en animales en pastoreo. La respuesta a la suplementación de grano en animales de pastoreo como estrategia para la reducción de gases de efecto invernadero en la industria de la carne puede ser dependiente en la calidad y cantidad de pasto. En relación con los efectos de la suplementación sobre las emisiones de metano estos autores Boadi *et al.*, (2002), estudiaron el efecto del uso de grano suplementario como un medio para reducir las emisiones de metano entérico en un entorno de pradera de alfalfa-forraje. Los bovinos fueron alimentados con 2,4 y 4 kg de cebada sobre una base forrajera durante tres periodos de pastoreo y se halló que aunque la suplementación redujo

el consumo de materia seca del forraje en un promedio del 11%, aumentó la ingesta total de materia orgánica en un 14% y las emisiones diarias entéricas de metano (L/d) fueron similares en el grupo de bovinos suplementados y el grupo control. Además, no se registró diferencia entre los dos tratamientos en términos de pérdida de energía como metano. Estos datos sugieren que los beneficios de la suplementación con grano sobre la mitigación de las emisiones de metano son limitadas cuando se trata pastos de buena calidad, ya que la calidad de la pastura tiene un mayor impacto sobre la producción de metano de lo que lo hace la suplementación con grano (Boadi *et al.*, 2002a).

No existe mucha información acerca de los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* con *Cynodon nlemfuensis*, lo cual limita la discusión de los resultados obtenidos. Sin embargo, y en términos generales podemos decir que esta muestra específica de pasto estrella y sus respectivas dietas (70:30) mostraron un comportamiento similar al hallado para el pasto kikuyo. La producción de gas registrada en el presente trabajo para el pasto estrella fue de 105,80 ml y de 172,21ml para las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente. En el presente trabajo, se puede apreciar que tanto la producción de gas como la DMS tiene un efecto en función del tiempo de fermentación y, como se ha mencionado anteriormente, existe una importante relación entre la producción de gas y la DMS (Williams, 2000). Los niveles promedio observados de N-NH<sub>3</sub> para el pasto estrella fueron de 312,27 y 263,08 ppm a las 24 y 48 horas de incubación, respectivamente. Estas concentraciones pueden considerarse altas en comparación con las halladas para el mismo pasto por Marín *et al.*, (2009, datos sin publicar) quienes evaluaron parámetros de la fermentación ruminal de pasturas de trópico bajo y encontraron valores de N-NH<sub>3</sub> de hasta 240,29 ppm. No obstante, el alto nivel de amonio en esta pastura puede estar asociado a un alto nivel de fertilización nitrogenada específicamente en la región de Yarumal.

Por su parte la proporción de los principales AGV's, acético:propiónico:butírico, para el pasto estrella fue de 62,03:24,53:10,83 a las 24 horas, las cuales son propias de pasturas tropicales. France *et al.*, (2005) sugirieron que la proporción de estos tres AGV's puede estar alrededor de 70:20:10. En nuestro trabajo se halló una relación acetato:propionato de 2,62 a las 24 horas. Estrada *et al.*, (2009) concluyó que la fermentación del pasto estrella resultó en una alta proporción de acetato. Las producciones de metano a partir del pasto estrella fueron las mayores registradas en todo el experimento, las cuales en promedio alcanzaron los 73,44 ml/g MSi y de los 130,89 ml/g MSd. Con relación a este último parámetro no se hallaron referentes en la literatura con el cual compararlos. 2.5.3



### 2.6.3 Relaciones entre la composición química y los parámetros de la fermentación ruminal *in vitro*

La representación biplot de los componentes principales a partir de la integración de los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo y las dietas (70:30) respectivas, permiten observar algunas relaciones y diferencias existentes entre las variables evaluadas y los sustratos incubados. De dicha representación se concluye que las dietas en comparación con los pastos generaron mayor volumen de gas y mayores porcentajes de DMS. La técnica *in vitro* de producción de gases mide la cantidad de gas liberado directamente como un producto de la fermentación de los sustratos incubados y es ampliamente referenciada la relación existente entre la producción de gas y la DMS (Menke y Steingass., 1988, Naga y Harmeyer., 1975; Taya *et al.*, 1980, Theodorou *et al.*, 1994, Schofield *et al.*, 1994, Getachew *et al.* 1998 Williams, 2000). De la representación biplot también se resalta la menor proporción de acetato y mayor proporción de butirato a partir de la fermentación de las dietas. La proporción de AGV's es, en gran medida, influenciada por la dieta y el estado de la población metanogénica en el rumen (Ishler *et al.*, 1994). Los AGV's pueden cubrir hasta el 80% de las necesidades energéticas del animal. El ácido acético puede representar entre el 50 y el 60% del total de AGV's. Este ácido predomina en las dietas altas en forraje. Por su parte, el propionato puede constituir el 18-20% del total de los AGV's totales. En general, a medida que la relación forraje concentrado disminuye, la relación acetato:propionato también decrece (Ishler *et al.*, 1994).

Los resultados encontrados a partir de representación biplot sugieren una relación fuerte y negativa entre la producción de metano y las proporciones de propionato. Según otras investigaciones, parece haber una relación inversa entre el metano y el propionato (Wolin., 1960, Moss *et al.*, 2000). En general el comportamiento observado en el análisis de componentes principales ha sido ratificado con los resultados de las correlaciones mostrados en la Tabla 2-9.

En el presente trabajo se halló que la producción de CH<sub>4</sub> estuvo altamente correlacionada con la relación acetato: propionato ( $r= 0,82$ ), relación que no es de sorprender, pues es bien conocido que uno de los factores que más influye en la producción de metano es la relación de los AGV's producidos (Johnson y Johnson, 1995a). También es conocido que, la generación de ácido acético predomina en la dietas ricas en forrajes (Ishler *et al.*, 1994).

La correlación entre la producción de metano con los AGV's, a partir de la fermentación de la dietas, tuvo la misma respuesta que con los pastos. Se esperaba que al incubar un sustrato rico en carbohidratos solubles la relación acético:propiónico fuera inversa. La relación inversa acetato:propionato y la cantidad de concentrado en la dieta han sido con frecuencia explicadas por la tendencia de las bacterias fermentadoras de la fibra para producir acetato y las bacterias fermentadoras de almidón, para producir propionato (Blaxter, 1962). Sin embargo, las mínimas diferencia halladas para los AGV's formados a partir de la

incubación de la dietas podrían deberse a la baja inclusión de concentrado en la dieta y/o a su bajo efecto al ser mezclado con un pasto de buena calidad, como lo es el pasto kikuyo.

En nuestro trabajo se halló una relación positiva entre la producción de CH<sub>4</sub> (ml/g MSi) y la producción total de AGV's ( $r= 0,86$ ). Una relación similar fue reportada por Tavendale *et al.* (2005), quienes encontraron una correlación positiva entre el metano y la producción de AGV's para cinco forrajes. La correlación inversa encontrada entre la producción de metano y la proporción de propionato, confirma una vez lo observado en la representación biplot y referenciado por varios autores (Wolin., 1960, Moss *et al.*, 2000). Por su parte Moss reporto una correlación negativa entre el metano y el propionato (Moss *et al.*, 2000).

De los diferentes modelos de regresión que fueron probados para establecer ecuaciones que permitieran predecir la producción de metano basándose en las variables de composición química, degradabilidad *in vitro* de la materia seca y parámetros de fermentación ruminal *in vitro*, se encontró un modelo significativo ( $P<0,0001$ ) con un coeficiente de determinación de 0,69 (Tabla 2-10). Este sugiere que la producción de metano se relaciona positivamente con la producción de gas y negativamente con la proporción de propionato. Los otros modelos evaluados no fueron significativos o en algunos casos se detectó multicolinealidad entre las variables. La ecuación generada es consistente con las correlaciones encontradas y anteriormente discutidas.

El modelo de regresión obtenido en el presente trabajo no incluyó la variable consumo de materia seca, lo cual posiblemente mejoraría la predicción de las emisiones de metano. En estudios en que se han utilizado ecuaciones para predecir la producción de metano (L/d), a partir de datos de consumo de materia seca, digestibilidad de la materia orgánica, concentraciones en la dieta de FDN, carbohidratos no fibrosos y extracto etéreo, se concluyó que el consumo fué el principal predictor de la producción total de metano, además que la producción de metano se relaciona positivamente con la digestibilidad de la dieta y negativamente con la concentración de grasa de la dieta, mientras que la composición de carbohidratos de la dieta solo tuvo efectos menores. Finalmente los autores indican que las ecuaciones que predicen la producción de metano por unidad de alimento son biológicamente mas validas y recomiendan que la producción de metano sea hecha con base en el consumo (Ramin y Huhtanen., 2013).

## 2.7 Conclusiones

Se encontró que el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) posee altos contenidos de proteína cruda y alta digestibilidad de la materia seca, que lo califican como un forraje de buena calidad.

El análisis conjunto de los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* permite sugerir que las dietas en comparación con los pastos de todos los municipios generaron mayor volumen de gas, mayores porcentajes de DMS, mayores proporciones de butirato y menores proporciones de acetato.

Se evidencia que las emisiones de metano, producto de la fermentación ruminal *in vitro*, están asociadas a la calidad nutritiva de la pastura y a la proporción de suplemento concentrado incluido en la dieta.

La fermentación de las dietas produjo mayor metano por unidad de sustrato incubado y degradado que los pastos.

La producción de metano se relaciona positivamente con la producción total de ácidos grasos volátiles y con la relación acetato:propionato.

La producción de metano se relaciono positivamente con la producción de gas y negativamente con la proporción de propionato.

## 2.8 Bibliografía

- AOAC. 1999. "Official Methods of Analysis, 16th ed., 5th rev. Assoc. Off. Anal. Chem., Gaithersburg, MD."
- Arreaza, LC, DE Sánchez, and B Abadía. 2005. "Degradabilidad ruminal de fracciones de carbohidratos en forrajes tropicales determinada por métodos *in vitro* e *in situ*." *Revista Corpoica* 6(1):52-57.
- Archimède, H., Eugène, M., Marie Magdeleine, C., Boval, M., Martin, C., Morgavi, D. P., & Doreau, M. (2011). Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 59-64.
- Arthington, J. D., and W. F. Brown. 2005. "Estimation of feeding value of four tropical forage species at two stages of maturity." *Journal of Animal Science* 83(7):1726-31.
- Beauchemin, K.A., M. Kreuzer, F. O'Mara, and T.A. McAllister. 2008. "Nutritional management for enteric methane abatement: a review." *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48(2):21-27.
- Beuvink, J. M. W., and S. F. Spoelstra. 1992. "Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*." *Applied Microbiology and Biotechnology* 37(4):505-09.
- Blaxter, K. L., 1962. *The Energy Metabolism of Ruminants*. Charles C Thomas, Springfield, IL.
- Blaxter, K.L. , and F.W. Wainman. 1964. "The utilization of the energy of different rations by sheep and cattle for fattening." *Journal of Agricultural Science* 63:113-28.

- Blummel, M., and E.R. Ørskov. 1993. "Comparison of gas production and nylon bag degradability of roughages in predicting feed intake in cattle." *Anim. Feed Sci. Technol* 40:109-19.
- Boadi, D. A., K. M. Wittenberg, and W. McCaughey. 2002a. "Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF6) tracer gas technique." *Canadian Journal of Animal Science* 82(2):151-57.
- Brand, TS, F Franck, and J Coetzee. 1999. "Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture for sheep. 1. Pasture quality and nutrient intake of ewes." *New Zealand Journal of Agricultural Research* 42:459-65.
- Calsamiglia S., Cardozo P.W., Ferret, A. and Bach, A. Changes in rumen microbial fermentation are due to a combined effect of type of diet and pH. *J. Anim. Sci.* 2008. 86:702–711.
- Carro, M. D., M. J. Ranilla, and M. L. Tejido. 2005. "Using an *in vitro* gas production technique to examine feed additives: Effects of correcting values for different blanks." *Animal Feed Science and Technology* 123:173-84.
- Carulla, JE. 1999. "Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la proteína del forraje." *En: Simposio Internacional sobre la Proteína en la Leche, Medellín.* 7 p.
- Correa, CHJ , RML Pabón, and FJE. Carulla. 2008. "Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal." *Livestock Research for Rural Development* 20(Article #59. Retrieved March 30, 2013, from <http://www.lrrd.org/lrrd20/4/corra20059.htm>).
- Dijkstra, J., Ellis, J. L., Kebreab, E., Strathe, A. B., López, S., France, J., & Bannink, A. 2012. Ruminal pH regulation and nutritional consequences of low pH. *Animal Feed Science and Technology*, 172:22-33.
- El-Sbazly, Dehority, K.B.A. and Johnson, R.R. 1961. Effect of starch on the digestion of cellulose *in vitro* and *in vivo* by rumen microorganisms. *J. Anim. Sci.* 20:268.
- Estrada-Liévano, J.M., Sandoval-Castro, C.A., Ramírez-Avilés, L., Capetillo-Leal, C.M. 2009. *In vitro* fermentation efficiency of mixtures of cynodon nlemfuensis, leucaena leucocephala and two energy sources (maize or sugar cane molasses). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10:497-503.
- Euclides, V.P.B., M.C.M. Macedo, and M.P. Oliveira. 1992. "Avaliação de diferentes métodos de amostragem (para se estimar o valor nutritivo de forragens) sob pastejo." *Revista Brasileira de Zootecnia* 21:691-702.
- France, J., & Dijkstra, J. 2005. Volatile fatty acid production. *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*, 2nd edn. CAB International, Wallingford, UK, 157-175.
- Figueiredo, A.M. , A. Mbhele, J. Zondi, and W. Majola. 2000. "A comparative study between the determination of dry matter digestibility *in vitro* and *in vivo*." *South African Journal of Animal Science* 30 47-48.

- Galvis, R, DM. Valencia, HJ Correa, NF Ramírez, and J Torres. 2010. "Efecto de niveles crecientes de nitrógeno no protéico dietario sobre la concentración de precursores gluconeogénicos en hígado bovino." *Rev.Fac.Nal.Agr* 63(1):5363-72.
- Garcia, A.W. 2013. "Potencial de la suplementación con biomasa obtenida a partir de la producción de bioetanol en ganaderías de clima frío dedicadas a la producción de leche." *Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia -Sede Medellin.*
- Getachew, G, M Blümmel, HPS Makkar, and K Becker. 1998. "In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review." *Animal Feed Science and Technology* 72(3):261-81.
- Giraldo, L.A., L.A. Gutiérrez, and C. Rúa. 2007. "Comparación de dos técnicas *in vitro e in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales." *Rev Colom Cienc Pecua* 20(3):269-79.
- Giraldo, P.A. 2013. "Efecto de varios aditivos nutricionales en las emisiones de metano y los parámetros de la fermentación ruminal." *Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia -Sede Medellin.*
- Goering, H. K. , and P. J. Van Soest. 1970. "Forage fiber analysis. Agriculture Handbook No. 379." *Agricultural Research Service-USDA, Washington, D.C.*
- Grant, R.J. and Mertens, D.R. 1992. Development of buffer systems for pH control and evaluation of pH effects on fiber digestion *in vitro*. *Journal of Dairy Science.* 75: 1581-1587.
- Hindrichsen, I. K., H. R. Wettstein, A. Machmüller, B. Jörg, and M. Kreuzer. 2005. "Effect of the Carbohydrate Composition of feed Concentratates on Methane Emission from dairy Cows and Their Slurry." *Environmental Monitoring and Assessment* 107(1-3):329-50.
- Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO2 emissions. In: Gerber, P.J., Henderson, B. & Makkar, H.P.S. (eds). *FAO Animal Production and Health Paper No. 177.* FAO, Rome, Italy.
- Hook, S.E., Steele, M.A., Northwood, K.S., Dijkstra, J., France, J., Wright, A.-D.G., McBride, B.W., 2011. Impact of subacute ruminal acidosis (SARA) adaptation and recovery on the density and diversity of bacteria in the rumen of dairy cows. *FEMS Microbiol. Ecol.* 78, 275–284.
- Hoover, W.H., Kincaid, C.R. Varga, G.A., Thayne, W.H., and Lunkins, Jr. L.L. 1984. Effects of solids and liquid flows on fermentation in continuous culture. IV. pH and dilution rate. *J. Anim Sci.* 58:692.
- Huntington, GB. 1986. "Uptake and transport of nonprotein nitrogen by the ruminant gut." *Fed Proc* 45(8):2272-76.
- Ishler, V., Heinrichs, J. and Varga, G. From Feed to Milk: Understanding Rumen Function; Extension Circular No. 422, Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences: pages 5. Disponible en: <http://pubs.cas.psu.edu/FreePubs/pdfs/ec422.pdf>.

- Janssen, P.H. 2010. "Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics." *Animal Feed Science and Technology* 160(1-2):1-22.
- Johnson, K. A., and D. E. Johnson. 1995. "Methane emissions from cattle." *Journal of Animal Science* 73(8):2483-92.
- Laredo, MA, and PE Mendoza. 1982. "Valor nutritivo de pastos de zonas frías. I pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst). Anual y estacional." *Revista ICA* 17:157-67.
- Laredo, MA, and DJ Minson. 1973. "The voluntary intake, digestibility and retention time by sheep of leaf and stem fractions of five grasses." *Aust. J. Agric. Res* 24:875.
- Leng, RA. 2008., The potential of feeding nitrate to reduce enteric methane production in ruminants. A Report. The Department of Climate Change. Commonwealth Government of Australia. Canberra, Australia.
- León, G.M., S.S. Martínez, O.R. Pedraza, and González PC. 2012. "Indicadores de la composición química y digestibilidad *in vitro* de 14 forrajes tropicales." *Rev. Prod. Anim.* 24(1):1-5.
- López, S. , M.D. Carro, J.S. Gonzales, and F.J. Ovejero. 1998. "Comparison of different *in vitro* and *in situ* methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen." *Animal Feed Science and Technology* 73:99-113.
- Lovett, D. K., D. McGilloway, A. Bortolozzo, M. Hawkins, J. Callan, B. Flynn, and F. P. O'Mara. 2006. "*In vitro* fermentation patterns and methane production as influenced by cultivar and season of harvest of *Lolium perenne* L." *Grass and Forage Science* 61(1):9-21.
- Lovett, D., S. Lovell, L. Stack, J. Callan, M. Finlay, J. Conolly, and F. P. O'Mara. 2003. "Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers." *Livestock Production Science* 84(2):135-46.
- Mansfield, H. R., M. I. Endres, and M. D. Stern. 1995. "Comparison of microbial fermentation in the rumen of dairy cows and dual flow continuous culture." *Animal Feed Science and Technology* 55(1-2):47-66.
- Martínez, P.M.E. 2009. "Estudios de simulación del ecosistema ruminal en sistemas *in vitro*: aspectos metodológicos. Universidad de León, Facultad de Veterinaria, Departamento de Producción Animal. Tesis Doctoral. León, España. 2009. p 339."
- McCraib, G. J.; , and R. A. Hunter. 1999. "Prediction of methane emissions from beef cattle in tropical production systems." *Australian Journal of Agricultural Research* 50:1335-39.
- McGinn, S.M., Beauchemin, K.A., Iwaasa, A.D. & McAllister, T.A. (2006). Assessment of the sulfur hexafluoride (SF6) tracer technique for measuring enteric methane emissions from cattle. *Journal of Environmental Quality* 35(5), 1686-1691
- Menke, K.H., and H Steingass. 1988. "Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid." *Anim. Res. Dev* 28:7-55.

- Mertens, D. R., and I. R. Loften. 1980. The effects of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. I. Dairy Sci. 63:1437.
- Minson, D.J. 1981. "Nutritional differences between tropical and temperate pastures. In: Morley, F. W. H. ed. Grazing animals. Amsterdam, Elsevier. Pp. 143-157."
- Mojica, J.E , E Castro, J León, E.A. Cárdenas, M.L Pabón, and J.E Carulla. 2009. "Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina." *Livestock Research for Rural Development* 21(1):Article #1. Retrieved March 1, 2013, from <http://www.lrrd.org/lrrd21/1/moji21001.htm>
- Mojica, JE, E Castro, JM León, EA Cárdenas, ML Pabón, and JE Carulla. 2009a. "Efecto de la oferta de pasto kikuyo y ensilaje de avena sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina." *Revista Corpoica* 10(1):81-90.
- Moss, Angela R., Jean-Pierre Jouany, and John Newbold. 2000. "Methane production by ruminants: its contribution to global warming." *Ann. Zootech.* 49(3):231-53.
- Mould, F.L., Ørskov, E.R. and Mann, S.O. 1983. Associative effects of mixed feeds. I. Effect of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis *in vivo* and dry matter digestion on various roughages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 10:15–30.
- Naga, MA, and JH Harmeyer. 1975. "Gas and volatile fatty acid production at different rates of rumen microbial protein synthesis *in vitro*." *J ANIM SCI* 40:374-79.
- Navarro-Villa, A., M. O'Brien, S. López, T. M. Boland, and P. O'Kiely. 2013. "*In vitro* rumen methane output of grasses and grass silages differing in fermentation characteristics using the gas-production technique (GPT)." *Grass and Forage Science* 68(2):228-44.
- Ominski, K.H., and K.M. Wittenberg. 2004. "Strategies for reducing enteric methane emissions in forage-based beef production systems." *Presented at "The Science of Changing Climates- Impact on Agriculture, Forestry and Wetlands" July 20- 23 2004 University of Alberta, Edmonton, Alberta Canadian Society of Agronomy, Animal Science, and Soil Science.*
- Palmonari, A., Stevenson, D.M., Mertens, D.R., Cruywagen, C.W., Weimer, P.J., 2010. pH dynamics and bacterial community composition in the rumen of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93, 279–287.
- Pedreira, M.S., *et al.* 2013. Methane emissions and estimates of ruminal fermentation parameters in beef cattle fed different dietary concentrate levels. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42:592-598.
- Pell, A. N. , P. H. Doane, and P. Schofield. 1997. "*In vitro* digestibility and gas production. In: Simpósio sobre Tópicos Especiais em Zootecnia, Lavras, MG, p.109 - 132."
- Primavesi, O.; Frighetto, R.T.S.; Pedreira, M. S.; Lima, M. A. De; Berchielli, T.T.; Rodrigues, A. A. Low-fiber sugarcane to improve meat production with less methane emission in tropical dry season Separata de: International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference, 3., 2003, Beijing.

- Proceedings... Beijing: China Coal Information Institute, 2003. p. 185-189.  
Disponible en:  
<http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/agriculture/AG066.pdf>.
- Purcell, P. J., M. O'Brien, T. M. Boland, and P. O'Kiely. 2011. "In vitro rumen methane output of perennial ryegrass samples prepared by freeze drying or thermal drying (40°C)." *Animal Feed Science and Technology* 166–167(0):175-82.
- Ramin, M., and P. Huhtanen. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *J. Dairy Sci.* 96:2476-2493.
- Relling, A.E., and G.A. Mattioli. 2003. *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*: Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de La Plata.
- Reynolds, Christopher K. 1992. "Metabolism of Nitrogenous Compounds by Ruminant Liver." *The Journal of Nutrition* 122(3 Suppl):850-54.
- Ribeiro, K. G., Garcia, R.; Pereira, O. G., Valadares Filho, S. C., Cecon, P. R. 2001. Eficiência microbiana, fluxo de compostos nitrogenados no abomaso, amônia e pH ruminais, em bovinos recebendo dietas contendo feno de Capim- Tifton 85 de diferentes idades. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(2): 581-588
- Robinson, P.H., Tamminga, S., and Van Vuuren, A.M. 1986. Influence of declining level of feed intake and varying the proportion of starch in the concentrate on rumen fermentation in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 15:173.
- Russell, J. B. 1998. The importance of pH in the regulation of ruminal acetate to propionate ratio and methane production *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 81:3222–3230.
- Russell, J.B., Sharp, W.M. and Baldwin, R.L. 1979. The effect of pH on maximum bacterial growth rate and its possible role as a determinant of bacterial competition in the rumen. *J. Anim. Sci.* 48:251-255.
- Sanchez, DL, TL Arreaza, and B Abadia. 2005. "Ruminal degradability of carbohydrate fractions from tropical forages using *in vitro* and *in situ* methods." Disponible en <http://200.75.42.2:8081/files/RevCorpoica/46816>.
- Santoso, B, B Mwenya, C Sar, and J Takahashi. 2007. "Methane production and energy partition in sheep fed timothy silage-or hay-based diets." *JITV* 12(1):27-33.
- Schofield, P, Pitt R E and Pell A N. 1994. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. *Journal of Animal Science.* 72: 2980-2991.
- Soto, C, A Valencia, RD Galvis, and HJ Correa. 2005. "Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)." *Rev Col Cienc Pec* 18(1):17-26.
- Tavendale, MH, LP Meagher, NG Park, GC Waghorn, and GT Attwood. 2005. "Methane production from *in vitro* incubation of kikuyu grass, lucerne and forages containing condensed tannins." *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 67:147-53.



- Taya, M., K. Ohmiya, T Kobayashi, and S Shimizu. 1980. "Monitoring and control of a cellulolytic anaerobe culture by using gas evolved as an indicator." *J. Ferment. Technol* 5:463–69.
- Theodorou, M.K. , B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan, and France J. 1994. "A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds " *Animal Feed Science and Technology* 48:185-97.
- Tilley, J. M. , and R. A. Terry. 1963. "A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops." *Journal of British Grassland Society* 18(18):104-11.
- Van Soest, PJ. 1994. "Nutritional ecology of the ruminant; Cornell University Press, Cornell University, Ithaca, New York. 476 p."
- Van Soest, PJ, JB Robertson, and BA Lewis. 1991. "Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition." *J. Dairy Sci.* 74:3583-97.
- Williams, B.A. 2000. Cumulative gas-production techniques for forages evaluation. En: Forage evaluation in ruminant nutrition. Edición D.I. Givens, E. Owen, R.F.E. Axford and H.M. Omed. CAB International 2000. p. 189-211.
- Wolin, Meyer J. 1960. "A Theoretical Rumen Fermentation Balance." *Journal of Dairy Science* 43(10):1452-59.



# 3. Capítulo 3 Estimación de las emisiones de metano entérico de ganado bovino lechero en cinco municipios de clima frío del departamento de Antioquia.

Marín A<sup>1</sup>, Giraldo L.A<sup>2</sup> y Correa G<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo BIORUM. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [amaring@unal.edu.co](mailto:amaring@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Profesor Titular. Departamento de producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [lagirald@unal.edu.co](mailto:lagirald@unal.edu.co)

<sup>3</sup> Profesor asociado. Departamento de Ciencias Agrarias Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. [gcorrea@unal.edu.co](mailto:gcorrea@unal.edu.co)

## 3.1 Resumen

El objetivo del presente trabajo fue estimar la producción de metano mediante la incubación *in vitro* a partir de muestras de los pastos y las dietas de mayor utilización en los sistemas de lechería especializada ubicadas en el trópico alto (clima frío) del departamento de Antioquia. Se incluyeron cuatro fincas por municipio (San Pedro de los Milagros, Yarumal, La Unión, Santa Rosa de Osos y Entreríos) y en cada una de ellas se tomaron muestras de pastos (19 muestras de pasto kikuyo y una de pasto estrella) y de dietas (conformadas a partir de una relación 70:30 pasto:concentrado). Los sustratos (20 de pastos y 20 de dietas) provenientes de las fincas fueron incubados durante 24 horas mediante la técnica de producción de gases *in vitro*. Adicionalmente, se realizaron pruebas de consumo de forraje voluntario de los animales en pastoreo mediante el método directo agronómico. La estimación del inventario de las emisiones de metano por municipio se realizó a partir de la información obtenida de las pruebas de fermentación ruminal *in vitro*, los resultados de consumo de materia seca y el inventario ganadero por región. Se calcularon además los factores de emisión para cada municipio. Finalmente, los datos obtenidos fueron usados para calcular las emisiones de metano para el departamento de Antioquia. Para la prueba de consumo se realizó un análisis de escalamiento multidimensional y los demás parámetros fueron analizados mediante estadística descriptiva (promedios, desviaciones y coeficiente de variación). Se encontró un consumo promedio de 14,71 y 17,78 Kg MS/vaca/día para el pasto y el consumo total de materia seca, respectivamente. Las producciones de metano en promedio se estimaron en 92,03 y 134,61 g/100 Kg PV/día para pastos y dietas respectivamente; que expresado en litros equivale a 139,02 y 204,12 L de CH<sub>4</sub>/100 Kg PV/día, respectivamente. Finalmente se estimó el inventario de las emisiones de metano para la población de los municipios evaluados en 31,82 Gg/año a partir de la

fermentación de los pastos y de 46,08 Gg/año a partir de la fermentación de las dietas. Estas estimaciones extrapoladas al total de la población lechera mayor de 1 año del departamento de Antioquia (329.710 cabezas) ascenderían a 53,38 Gg/año con pastos o de 78,08 Gg/año con las dietas.

**Palabras clave:** metano, *in vitro*, inventario, ganado de leche

## 3.2 Introducción

El metano (CH<sub>4</sub>) es un gas de efecto invernadero (GEI), cuya concentración en la atmósfera ha aumentado dramáticamente en los últimos 250 años. El metano liberado a la atmósfera por los rumiantes domésticos se considera una de las tres fuentes más importantes de GEI a nivel mundial (Johnson *et al.* 2007). Se calcula que a nivel mundial la cantidad de metano antropogénico emitido a la atmósfera alcanza los 320 millones de toneladas/año (Van Aardenne *et al.* 2001) del cual un 27% (86 millones de toneladas), serían producto de la fermentación entérica (FAO 2009).

Un inventario de emisiones que identifique y cuantifique las principales fuentes antropogénicas de un país y los sumideros de gases de efecto invernadero es esencial para hacer frente al cambio climático (EPA 2010). La estimación de las emisiones de GEI es un compromiso adquirido en el marco de las Naciones Unidas que debe reflejarse en los Inventarios Nacionales de Emisiones a la Atmósfera de cada país para lo cual el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés *Intergovernmental Panel on Climate Change*) dictó los lineamientos a tener en cuenta para efectos de estimar dichas emisiones mediante la aplicación de un “factor de emisión” de metano basado en los inventarios nacionales y tipo de ganado de cada país (IPCC 2006).

Del último informe IDEAM sobre emisiones de metano en Colombia se concluye que el módulo “Agricultura” registra la mayor proporción en las emisiones totales de GEI con una participación de 38,1% (68.566 Gg CO<sub>2</sub> eq) siendo del 18,5% la proporción en que la fermentación entérica participa en el total de los GEI en Colombia en 2004 (IDEAM 2009). Se estima que mientras que en la década del noventa, las emisiones de metano procedentes de la actividad ganadera aportaron un promedio de 1.334,4 Gg, de las cuales la fermentación entérica fue la categoría que más influyó en este comportamiento con 82,61%, para los años 2000 y 2004, se registró un aumento de estas emisiones a 1.528,27 Gg; con un 93,19% correspondiente a dicha categoría. Por su parte, el aumento de la generación de GEI del inventario entre los años 2000 y 2004 se concentra en el hato no lechero que pasó de aportar 27.772 de Gg CO<sub>2</sub> eq (equivalente a 42% de las emisiones de esta categoría) a 30.266 de Gg CO<sub>2</sub> eq (equivalente a 44% de las emisiones de esta categoría) para estos años (IDEAM 2009).

En Colombia no se cuenta con la información detallada sobre las emisiones de GEI a nivel regional y sectorial como insumo para la identificación de acciones estratégicas, así como tampoco con una metodología concertada para su cálculo. Como iniciativa para superar esta dificultad se ha propuesto el diseño de Planes Climáticos Territoriales Integrados cuyo principal objetivo es la elaboración de una estrategia de mitigación y adaptación a nivel regional. Adicionalmente, la información disponible ha permitido aplicar la metodología de nivel 2 propuesta por el IPCC para la estimación de emisiones de metano procedente de la fermentación entérica y manejo de estiércol para la categoría de ganado vacuno no lechero (IDEAM 2009). No se han cuantificado aun oficialmente (IDEAM) las emisiones de metano por parte del ganado lechero, como sí se ha hecho para ganado no lechero y para el manejo del estiércol.

Para el caso de la agricultura antioqueña, al desconocerse el impacto ambiental y económico de la ganadería en las emisiones de metano, se justifica realizar su medición en explotaciones bovinas especializadas en producción de leche en el trópico alto del departamento dada su significativa participación en inventario bovino regional. Se propondrá un modelo de Inventario de Emisiones de Metano en ganadería de leche, basado en una aproximación metodológica internacionalmente aceptada para tal efecto como lo es la técnica de producción de gases (Theodorou *et al.* 1994) lo cual generaría la línea base precisa y confiable para el diseño e implementación futura en campo de alternativas tecnológicas para la mitigación de las emisiones de metano entérico por el ganado.

En ese orden de ideas, el presente trabajo tuvo como objetivo realizar un estimado del inventario de las emisiones de metano entérico producido por los bovinos en diferentes sistemas de producción de leche especializada en el trópico alto Antioqueño con el fin de proponer un modelo de inventario de emisiones de metano, con posibilidades de aplicación a nivel regional en diferentes lugares del país.

### **3.3 Materiales y métodos**

#### **3.3.1 Localización**

En el departamento de Antioquia y con base en el inventario ganadero y los volúmenes de leche producida se seleccionaron los siguientes municipios de Antioquia: San Pedro de los Milagros, Yarumal, Entrerrios, Santa Rosa de Osos y La Unión con el objetivo de muestrear forrajes y dietas para ser incluidas en el estudio de la estimación del inventario de las emisiones de metano entérico producido por bovinos. Dentro de los municipios de la región norte de Antioquia se encuentran San Pedro de los Milagros el cual se halla a una altitud promedio de 2475 msnm y una temperatura promedio de 16°C, Yarumal con una altitud promedio de 2475 msnm y temperatura promedio de 15°C, Entrerrios con altitud y temperatura promedio de 2300 msnm y 16°C respectivamente y Santa Rosa de

Osos, que está a una altitud promedio de 2587 msnm y una temperatura promedio de 13°C. En la región del Oriente Antioqueño se muestreó el municipio de La Unión el cual se encuentra a una altura promedio de 2443 msnm y una temperatura de 13°C (<http://www.municipios.com.co/antioquia>). El trabajo experimental se realizó en el laboratorio de Biotecnología Ruminal –BIORUM–, perteneciente al Departamento de Producción Animal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín el cual se encuentra a una altura de 1.538 msnm y temperatura promedio de 24°C.

### 3.3.2 Sustratos

De cada municipio se seleccionaron cuatro fincas al azar (20 fincas total), en las cuales se tomó información básica de manejo del hato, datos promedios de producción y se tomaron muestras de pasto y del suplemento concentrado ofrecido a los animales, para un total de 20 muestras de pasto, 19 de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y 1 muestra de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) utilizando la técnica “*Hand Pluck*” (Euclides, Macedo and Oliveira 1992), para garantizar una muestra representativa de lo que las vacas en pastoreo seleccionan y consumen. Los suplementos concentrados muestreados fueron diferenciados por marca comercial y nivel de suministro del mismo a los animales, igualmente para efectos de la investigación se conformaron dietas constituidas por los forrajes y suplementos concentrados muestreados en una relación 70:30 respectivamente.

### 3.3.3 Pruebas de fermentación ruminal *in vitro*

Los pastos y dietas muestreados en 5 municipios fueron evaluados mediante la técnica de producción de gas *in vitro* descrita por Theodorou *et al.*, (1994) y se diseñaron 5 experimentos o incubaciones *in vitro* independientes, uno por cada municipio (San Pedro de los Milagros, Yarumal, La Unión, Santa Rosa de Osos y Entrerrios) y tiempo de incubación. Cada experimento estuvo constituido por 36 botellas constituidas por 8 tratamientos (4 pastos y 4 dietas) x 4 líquidos ruminales (provenientes de 4 vacas Holstein que hacen las veces de repeticiones) x 1 tiempo de incubación (24 horas) + 4 blancos (1 por animal). Los blancos contenían medio de cultivo e inóculo pero no sustrato, los cuales son utilizados para corregir la presión generada por el gaseado con CO<sub>2</sub> y la presión producida por la fermentación producto de los microorganismos ruminales presentes en el líquido ruminal incubado (López *et al.* 1998; Theodorou *et al.* 1994).

En cada experimento se utilizaron botellas de vidrio con capacidad para 110ml, en cada una de las cuales se adicionó 0,5 gr de cada sustrato. Posteriormente se recolectó líquido ruminal en la horas de la mañana proveniente de cuatro vacas canuladas al rumen las cuales consumieron una dieta compuesta por una mezcla de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), falsa poa (*Holcus lanatus*) y oloroso (*Anthoxanthum odoratum*), ubicadas en la Estación Agraria Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia. El líquido ruminal se obtuvo mediante el

filtrado del contenido ruminal extraído a través de la cánula en un lienzo con un tamaño de poro de 0,45 mm, para ser luego depositado en un termo precalentado a una temperatura de 39°C y trasladado inmediatamente al laboratorio de Biotecnología Ruminal -BIORUM-. Una vez en el laboratorio, el líquido fue filtrado nuevamente usando una bolsa de nylon con un tamaño de poro de 53 µm, con el fin de retirar los sedimentos y residuos de pasto. Se gaseó permanentemente con CO<sub>2</sub> y se mantuvo a una temperatura constante de 39°C. Posteriormente, a cada frasco con sustrato le fue agregado medio de cultivo (40ml) e inoculado con 10 ml de líquido ruminal, gaseando continuamente con CO<sub>2</sub>. El medio de cultivo usado es el descrito por Goering y Van Soest, (1970), que contenía CaCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O; MnCl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O; CoCl<sub>3</sub>•6H<sub>2</sub>O; FeCl<sub>3</sub>•6H<sub>2</sub>O; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; MgSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O; NaHCO<sub>3</sub>; (NH<sub>4</sub>)HCO<sub>3</sub>; resarzurina; Na<sub>2</sub>S; L-Cisteína HCl, sin tripticasa y líquido ruminal para una relación 4:1. Luego las botellas fueron selladas herméticamente con tapones de caucho y agrafes de aluminio, agitadas suavemente y trasladadas a una incubadora que se mantuvo a una temperatura constante de 39°C.

Una vez transcurridas las 24 y 48 horas de incubación, se midió el volumen de gas producido utilizando un transductor de presión al cual se le adaptó una válvula de tres salidas. La primera salida conectada a una aguja (0.8 mm), la segunda conectada al transductor de presión y la tercera a una jeringa plástica de 100 ml utilizada para tomar la muestra del gas producido durante la fermentación y a partir de la cual se determinó la concentración de metano mediante cromatografía de gases. El volumen de los gases producto de la fermentación se calculó con un modelo de regresión validado en el Laboratorio de Biotecnología Ruminal –BIORUM –. Posteriormente se tomaron muestras del gas producto de la fermentación para posteriormente determinar la producción de metano (CH<sub>4</sub>) en cada muestra.

### **3.3.4 Determinación de metano (CH<sub>4</sub>)**

Las muestras de metano se tomaron del gas producido en cada botella incubada en la técnica de gases y se depositaron en tubos vacutainers al vacío de 6 ml (Venoject®) a partir de los cuales se determinó la concentración de metano utilizando un cromatógrafo de gases (GC-2014, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón) equipado con detector de ionización de llama (FID), una columna capilar Agilent HP-PLOT Molesieve 5Å 30 m x 0.32 mm D.I y 12 µm grosor de película (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, EUA. Se utilizó helio UAP grado 5.0 como gas de arrastre a una velocidad lineal de 35.4 cm/seg. Se utilizó un software (GC Solution, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón) tanto para controlar el funcionamiento del equipo como para procesar las señales generadas por el detector. La inyección de metano se efectuó manualmente y el gas patrón utilizado para determinar las concentraciones de CH<sub>4</sub> en el gas producto de la fermentación fue una mezcla especial de metano (CH<sub>4</sub>) en nitrógeno (N) con un contenido de CH<sub>4</sub> del 10%. Los cálculos finales de metano se realizaron según la metodología descrita por (Lopez y Newbold 2007).

### 3.3.5 Pruebas de consumo agronómico

Para determinar el consumo de forraje voluntario de los animales en pastoreo se realizó el método directo agronómico, siguiendo la metodología descrita por (Mendoza y Lascano, 1986), en el cual el consumo de forraje se calcula por diferencia entre la materia seca disponible antes y después del pastoreo. La disponibilidad del forraje se determinó por el método del doble muestreo descrita por (Haydock y Shaw, 1975), en el cual el forraje disponible se estima visualmente mediante 50 o más marcos por hectárea colocados de una forma aleatoria o siguiendo una división transversal al potrero o a la parcela ("transepto"); en ellos se da una calificación de 1 a 5, en donde 1 representa menos forraje y 5 más forraje. Se utilizan como referencia 5 puntos previamente seleccionados y debidamente identificados, los cuales representan la escala o rango (1 a 5) que contiene las variaciones de forraje disponible en la pastura. Una vez hechas las lecturas visuales, los puntos o marcos de referencia se cortan, se pesan y se secan. Con los valores de forraje disponible en los 5 marcos, se construye una regresión lineal ( $y = a + bx$ ) que sirve para estimar la disponibilidad del forraje ( $y$ ), partiendo de lecturas visuales ( $x$ ) (Giraldo, 2013, en Prensa).

Con base en el procedimiento de doble muestreo se determinó la oferta y el remanente de materia seca del forraje en los potreros de evaluación y por diferencia, se obtuvo la materia seca total consumida en el área total del potrero evaluado, finalmente ese dato se relacionó con el número total de animales en pastoreo obteniendo de esa forma el consumo promedio para un grupo de animales.

Con el fin de aprovechar la similitud existente entre algunas fincas y debido a los altos costos de las pruebas de consumo, se decidió muestrear 4 fincas con características contrastantes, para cuyo efecto se realizó un escalamiento multidimensional, método estadístico que asocia un conjunto de técnicas que persiguen como objetivo la representación de datos a través de una configuración de puntos cuando se conoce una determinada información sobre similitudes entre objetos. En este caso se relacionaron los datos obtenidos entre todas las fincas de altura sobre el nivel del mar y los parámetros de calidad composicional de todos los pastos evaluados: % CE, % MO, % FDN, % FDA, % Lignina, % proteína, % de extracto etéreo y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%DIVMS).

### 3.3.6 Estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> proveniente del ganado bovino lechero de Antioquia

La estimación del inventario de las emisiones de metano para los municipios del departamento de Antioquia incluidos en el presente estudio, se obtuvo a partir de: *i*) la información obtenida de las pruebas de fermentación ruminal *in vitro* (24 horas) usando la técnica de gases, *ii*) Los resultados de consumo de materia



seca y *iii*) las bases de datos del inventario ganadero proporcionado por FEDEGAN.

Las emisiones de metano se calcularon aplicando un factor de emisión regional al número de animales procedentes de cada región o municipio para obtener finalmente el total de la producción de metano por departamento.

### **3.4 Análisis estadístico**

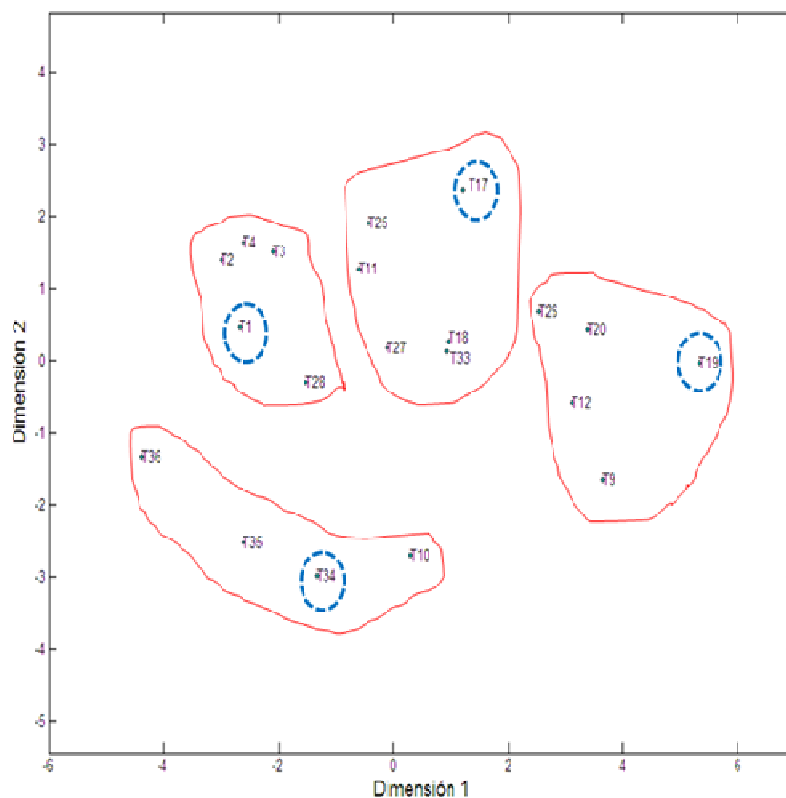
Con el fin de aprovechar la similitud existente entre algunas fincas y debido a los altos costos de las pruebas de consumo para efectos de evaluar este parámetro se aplicó la técnica del escalamiento multidimensional (Gower, 1966), para lo cual se muestrearon 4 fincas con características contrastantes, teniendo en cuenta la composición química de sus sustratos y su altitud. A partir del primer plano principal generado por la técnica, se eligieron fincas modelo para estimar el consumo y extrapolarlo a las fincas ubicadas más cerca de estas en el plano principal.

Se utilizó estadística descriptiva (promedios, desviaciones y coeficiente de variación) en los resultados hallados de consumo (pasto, concentrado y total) y en la producción promedio de las emisiones de metano estimadas a partir de pastos y dietas evaluados.

### **3.5 Resultados**

#### **3.5.1 Pruebas de consumo agronómico**

Para realizar las pruebas de consumo agronómico del pasto se tomaron los datos de altura sobre el nivel del mar en cada una de las finca muestreadas y los parámetros de calidad composicional de todos los pastos evaluados (identificados como T1, T2, T3, T4, T9, T10, T11, T12, T17, T18, T19, T20, T25, T26, T27, T28, T33, T34, T35, T36) y se analizaron mediante el procedimiento estadístico de escalamiento multidimensional (Figura.3-1). Tal análisis agrupó las fincas con mayores similitudes y a partir de estos resultados se seleccionaron los pastos identificados como T1, T19, T17 y T34 (círculos azules del Figura 3-1) correspondientes a las fincas 1, 11, 9 y 18 respectivamente (fincas modelo), donde se realizaron las pruebas de consumo y a partir de las cuales se conformaron cuatro grupos (1 al 4) en los que se clasificaron las demás fincas. Tabla 3-1.

**Figura 3-1** Escalamiento multidimensional de 20 fincas lecheras de Antioquia.**Tabla 3-1** Agrupamiento de fincas de acuerdo a la clasificación realizada con el análisis de escalamiento multidimensional.

Grupo	Identificación de pastos	Finca modelo	Fincas clasificadas
1	T1	1	1,2,3,4,16
2	T19	11	5,8,11,12,14
3	T17	9	7,9,10,13,15,17
4	T34	18	6,18,19,20

Los resultados obtenidos de las pruebas de consumo del pasto, consumo de concentrado y consumo total de la dieta de las fincas modelo fueron aplicados a las fincas de sus grupos correspondientes. En la tabla 3-2 se muestra que los resultados hallados de consumo de pasto, consumo de concentrado y consumo total de materia seca.

**Tabla 3-2** Valores promedio de consumo de materia seca de vacas lecheras.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Promedio	DE	C.V (%)
Consumo de Pasto (Kg M.S/vaca/día)	15,83	13,97	14,19	14,85	14,71	0,84	5,68
Consumo de Concentrado (Kg MS/vaca/día)	3,0	2,8	3,5	3,0	3,075	0,30	9,71
Consumo total (Kg M.S/vaca/día)	18,83	16,77	17,69	17,85	17,78	0,84	4,74

### 3.5.2 Estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> proveniente del ganado bovino lechero de Antioquia

La estimación del inventario de las emisiones de metano para los municipios del departamento de Antioquia incluidos en el presente estudio se obtuvo a partir de: *i*) la información obtenida de las pruebas de fermentación ruminal *in vitro* (24 horas) usando la técnica de gases, *ii*) Los resultados de consumo de materia seca agronómico y *iii*) las bases de datos del inventario ganadero proporcionado por FEDEGAN.

Como se mencionó anteriormente las emisiones de metano se calcularon aplicando un factor de emisión al número de animales por municipio, los cuales se obtuvieron de la siguiente forma:

Los valores de metano obtenidos a partir de la fermentación de pastos y dietas mediante cromatografía de gases fueron relacionados con el % de materia seca degradada, el consumo de materia seca por animal y asumiendo animales de pesos promedio de 500 kg. Posteriormente se obtuvo la materia seca fermentada y finalmente se calcularon las emisiones de metano y los factores de emisión por municipio en términos de gramos de metano producido por cada cien kilogramos de peso vivo por día (g/100Kg PV/día). Los factores de emisión por municipio se obtuvieron a partir del promedio de la producción de metano de las cuatro fincas del respectivo municipio y fueron expresados en litros de metano por cada cien kilogramos de peso vivo por día (L/100 Kg PV/día) y gramos de metano por cada cien kilogramos de peso vivo por día (g/100 Kg PV/día). Ver Tabla 3-3.

**Tabla 3-3** Producción promedio de metano y factores de emisión de metano, estimado a partir de pastos y dietas incubados en la técnica *in vitro* de producción de gases de varios municipios de Antioquia.

Finca	Pastos		Dietas		
	Producción de metano		Producción de metano		
	CH <sub>4</sub> L/ 100 Kg PV/día	CH <sub>4</sub> g/ 100 Kg PV/día	CH <sub>4</sub> L/ 100 Kg PV/día	CH <sub>4</sub> g/ 100 Kg PV/día	
San Pedro de Los Milagros	1	90,76	63,15	160,42	102,81
	2	122,82	78,59	175,32	111,28
	3	84,60	56,00	159,16	102,01
	4	91,86	59,73	161,72	104,23
Factor de emisión	97,51	64,37	164,16	105,08	
Yarumal	5	195,44	129,22	293,42	193,90
	6	228,41	151,11	307,05	203,40
	7	200,80	132,82	324,98	216,74
	8	205,18	136,02	271,95	180,19
Factor de emisión	207,46	137,29	299,35	198,56	
La Unión	9	124,25	82,10	224,92	149,19
	10	123,10	81,51	195,43	129,79
	11	129,69	85,91	197,36	130,82
	12	142,23	94,00	177,03	117,24
Factor de emisión	129,82	85,88	198,69	131,76	
Santa Rosa de Osos	13	130,25	86,24	204,55	135,25
	14	115,65	76,69	176,02	116,42
	15	108,80	72,27	114,23	75,59
	16	113,76	75,38	136,85	90,60
Factor de emisión	117,12	77,65	157,91	104,47	
Entrerrios	17	130,82	86,66	177,7	118,43
	18	139,75	92,60	211	139,98
	19	160,41	106,32	196,82	130,63
	20	141,76	94,31	216,49	143,64
Factor de emisión	143,19	94,97	200,50	133,17	

CH<sub>4</sub>: Metano, PV: Pesos vivo, CH<sub>4</sub> g/ 100 Kg PV/día: gramos de metano por cada 100 kg de pesos vivo, CH<sub>4</sub> L/ 100 Kg PV/día: Litros de metano por cada 100 kg de pesos vivo.

### 3.5.3 Inventario ganadero

La información sobre el inventario ganadero de los municipios en estudio (San Pedro de los Milagros, Yarumal, La Unión, Santa Rosa de Osos y Entrerrios) se obtuvo del censo final del segundo ciclo de vacunación del 2011 liderado por la Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegan) en la cual se discrimina la población bovina por predio, por municipio y por grupo etario. No obstante, la

estimación del inventario se calculó sólo con los animales mayores de un año y para fines de calcular la producción de metano para animales de diferentes peso, el inventario ganadero fue expresado en 100 Kg de peso vivo equivalente (100Kg.Equiv), para lo cual se tuvo en cuenta los pesos promedio de los bovinos Holstein de cada grupo etario (Tabla 3-4).

**Tabla 3-4** Inventario ganadero de hembras mayores de 1 año y su inventario equivalente a 100 kg de peso vivo, en cinco municipios de Antioquia.

Municipio	Cabezas						Total 100 Kg- eq.	Total animales > 1 año
	1-2 años	1-2 años 100Kg- eq.	2-3 años	2-3 años 100 Kg- eq.	> 3 años	> 3 años 100 Kg- eq.		
<b>San Pedro de los Milagros</b>	9932	28167,1	7672	35582,7	32553	179334,5	243084	50157
<b>Yarumal</b>	6838	19392,6	5627	26098	18198	100252,8	145743	30663
<b>La Unión</b>	4041	11460,3	2112	9795,5	13911	76635,7	97891	20064
<b>Santa Rosa de Osos</b>	16335	46326,1	13970	64792,9	42542	234363,9	345483	72847
<b>Entrerrios</b>	5900	16732,4	2798	12977,1	25699	141575,8	171285	34397
<b>Total</b>								<b>208.128</b>

100 Kg-eq.: equivalente a 100 kilogramos

La estimación del inventario de las emisiones de metano para los municipios se presentará en la Tabla 3-5.

**Tabla 3-5** Estimación del inventario de emisiones de metano entérico emitido por el ganado lechero en cinco municipios del departamento de Antioquia, Colombia

Municipio	Pastos			Diets (70:30)		
	Producción de metano			Producción de metano		
	g/ 100 Kg PV/día	Animal/g/d	Población Gg/año	g/ 100 Kg PV/día	Animal/g/d	Población Gg/año
<b>San Pedro</b>	64,37	310	5,68	105,08	506	9,27
<b>Yarumal</b>	137,29	661	7,41	198,56	957	10,71
<b>La Unión</b>	85,88	413	3,03	131,76	635	4,65
<b>Santa Rosa de Osos</b>	77,65	374	9,95	104,47	503	13,39
<b>Entrerrios</b>	94,97	457	5,75	133,17	641	8,06
<b>Promedio o total</b>	<b>92,03</b>	<b>443,59</b>	<b>31,82</b>	<b>134,61</b>	<b>648,80</b>	<b>46,08</b>

Gg: Gigagramos, g:gramos, CH<sub>4</sub> g/ 100 Kg PV/día: Metano por cada 100 kg de pesos vivo.

Según Fedegan, para el año 2009 el inventario bovino del departamento de Antioquia contabilizaba 2.587.993 cabezas. Excluyendo los animales menores de un año (9%), el inventario se reduciría a 2.355.073 cabezas. De esta población se estima que un 14% es ganado de leche (329.710 cabezas). La población de ganado lechero mayor de un año de los cinco municipios incluidos en el presente estudio, según datos de Fedegan de 2011, asciende a 208.128 cabezas, lo cual

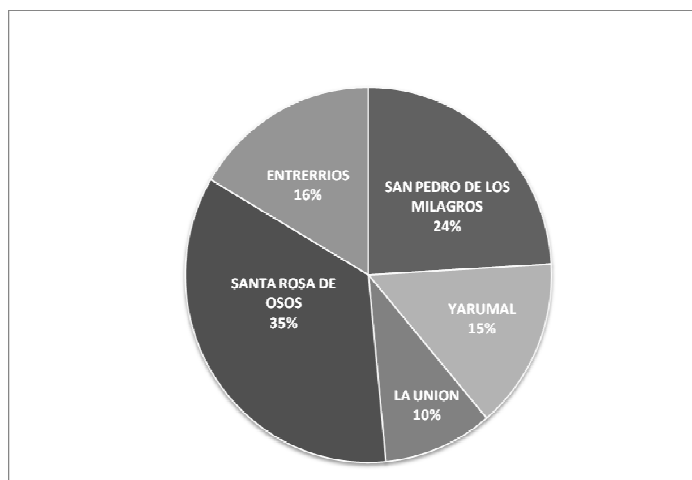
significa que en estos cinco municipios se encuentra el 63% del ganado de leche del departamento.

En el presente trabajo, para los cinco municipios estudiados, se registró una producción promedio diaria de 92,03 g de metano por cada 100 Kg de peso vivo para los pastos y de 134,61 g de metano por cada 100 Kg de peso vivo para las dietas. Teniendo en cuenta que el peso promedio estimado por animal fue de 482 Kg, se concluye que las emisiones de metano por animal/día ascienden a los 443,59 g por fermentación de pastos y 648,80 g por dietas (Tabla 3-5).

Para obtener el peso promedio por animal, se partió de bases de datos de pesajes de bovinos Holstein de todas las edades de la región, luego de lo cual los animales se clasificaron de acuerdo a su grupo etario con sus respectivos pesos promedios. El peso promedio obtenido para los animales entre 1 y 2 años (primer grupo etario) fue de 283,6 Kg, para los animales de 2 a 3 años (segundo grupo etario) fue de 463,8 kg y para los animales mayores de 3 años (tercer grupo etario) fue de 550,9 Kg. Dado que la participación de los tres grupos etarios en la población ganadera en estudio es de 20,68%; 15,45% y 63,86% para el primero, segundo y tercer grupo, respectivamente, se obtuvo un peso promedio ponderado por animal de 482 Kg.

Partiendo de la información obtenida, se estimó que las emisiones de metano entérico proveniente de la población bovina lechera estudiada (208.128), producto de la fermentación de pastos y dietas, ascienden en promedio a 31,82 Gg/año y 46,08 Gg/año, respectivamente (Tabla 3-5). A partir de estos cálculos y por extrapolación, se estimó el metano emitido por toda la población lechera mayor de 1 año del departamento de Antioquia (329.710 cabezas) alcanzó los 53,38 Gg/año a partir de los pastos y 78,08 Gg/año a partir de las dietas.

**Figura 3-2** Distribución porcentual del inventario de hembras bovinas mayores de 1 año en cinco municipios del departamento de Antioquia



## 3.6 Discusión de resultados

### 3.6.1 Estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> proveniente del ganado bovino lechero de Antioquia

El principal aporte del presente estudio fue el de cuantificar por primera vez el impacto de la ganadería lechera antioqueña sobre cambio climático. Hallazgos científicos han demostrado que existe una alta correlación entre la técnica de producción de gases *in vitro* y las pruebas de emisiones de metano *in vivo* (Bhatta, 2007), lo cual podría disminuir la incertidumbre frente a otros sistemas de medición como los basados en ecuaciones y modelos. Los factores de emisión utilizados para hacer los inventarios de metano según los lineamientos del IPCC son altamente inciertos, ya que en el caso de la metodología TIER 1 no se basan en la información específica del país y para la metodología TIER 2 la principal fuente de incertidumbre esta en las características del ganado (IPCC, 1996).

A partir de los resultados obtenidos mediante la técnica *in vitro* de los pastos incubados, y teniendo en cuenta los consumos promedios de materia seca por animal, se concluye que los bovinos en los municipios estudiados emiten en promedio 139,02 L/100 Kg de peso vivo/día o de 92,03 g/100 Kg de peso vivo/día lo cual equivale a 670 L o 443,59 g por día, valores que se encuentran levemente por encima de los valores obtenidos mediante pruebas *in vivo* y ostensiblemente superiores a los valores reportados a partir de estimaciones con ecuaciones predictivas (IDEAM, 2009).

Comparados con los volúmenes de 250 a 500 L CH<sub>4</sub>/animal /día reportados por estudios *in vivo* por (Johnson y Johnson 1995b), los volúmenes de emisión por animal/día hallados en el presente estudio resultan levemente mayores, no obstante otros autores han estimado que una vaca adulta puede producir alrededor de 300 a 600 L CH<sub>4</sub>/animal /día (Jouany, 1994). De otro lado, de acuerdo con los, el promedio histórico que una vaca lechera pastando ha eructado es de hasta 600 gramos de metano al día, sin embargo, debido a mejores prácticas de alimentación, mejoramiento genético, el aumento de la producción por vaca lechera y las mejoras de eficiencia adoptadas por la industria láctea australiana las vacas modernas australianas que en promedio pesan unos 600 kg y producen casi 6000 litros de leche al año, han reducido sus emisiones a aproximadamente 24 gramos de metano por litro de leche producido (460 g/día). Adicionalmente, estiman de manera general que las vacas producen aproximadamente 23 gramos de metano por cada kilogramo de materia seca consumida, tasa de producción que se puede aplicar a una amplia variedad de dietas independientemente de si son vacas en lactación temprana o tardía e incluso en ganado de carne (Moate, 2010).

Por su parte, los valores de emisiones de metano registradas a partir de las incubaciones de los pastos también son comparables a los 587 L/vaca/día

obtenidos para vacas norteamericanas en el año 2007, mediante el sistema de valoración proteica y energética desarrollado por la Universidad de Cornell, conocido como "Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)". Se estima inclusive, que las emisiones pueden alcanzar los 793 L/animal/día, en vacas de muy alta producción (Chase, 2007). Trabajos sobre las emisiones de metano de vacas lecheras y ovejas alimentadas con pastos subtropicales en Nueva Zelanda, registraron emisiones de 422 g/día (Ulyatt *et al.*, 2002).

Con respecto a los resultados obtenidos a partir de las dietas incubadas en la técnica *in vitro* de producción de gases se registró una mayor producción de metano para todos los municipios, en comparación con los pastos, posiblemente debido a que por un lado, la alta calidad del pasto no permitió mitigar las emisiones de CH<sub>4</sub> esperadas por la adición del suplemento concentrado y por otro, por la baja proporción de concentrado incluida en la dieta (30%). En concordancia con un gran número de autores la producción de metano depende principalmente de la cantidad y calidad del alimento consumido (Boadi *et al.*, 2002a; Ominski y Wittenberg 2004; Ulyatt *et al.*, 2002; Van Soest 1982). Por su parte, los resultados de metano encontrados en las dietas muestran mayores producciones en relación a los encontrados en los pastos, teniendo en cuenta el concepto de algunos autores, las mezclas de forraje y grano para rumiantes parecen producir la mayor cantidad de CH<sub>4</sub> que los alimentados con forraje solo, a menos que el grano componente constituye más de la mitad de la mezcla (Blaxter y Wainman 1964; Boadi *et al.*, 2002a; Lovett *et al.* 2003). En este mismo sentido, el grupo de expertos del IPCC, que se encarga de la elaboración de metodologías para la estimación de los inventarios de emisiones globales, sólo diferencia entre las dietas que contienen más del 90% de concentrado (Beauchemin *et al.*, 2008).

McGinn *et al.*, (2006) encontraron que el aumento de concentrado en la dieta aumentó la producción de CH<sub>4</sub> por unidad de materia seca consumida. La inclusión de concentrado generó una mayor cantidad de materia orgánica fermentable por unidad de alimento que con forrajes solos, lo que resulta en un aumento de la producción de metano. El efecto depende principalmente del nivel de inclusión, el efecto sobre digestibilidad de la fibra y el tipo de grano utilizado (Hristov *et al.*, 2013).

A partir de ecuaciones predictivas, el IDEAM, (2009) reportó que las emisiones de metano producto de la fermentación entérica alcanzaron en promedio los 156,17 g/animal/día con animales con un peso en pie promedio de 403,93 Kg, (peso obtenido para ganado no lechero ya que no se contaba con el peso promedio estimado de ganado lechero). En ese orden de ideas, las emisiones de metano por efecto de la fermentación entérica de la población bovina lechera del departamento de Antioquia sería de de 20,81 Gg/año (IDEAM 2009), cantidad aproximadamente de 2,57 veces menor a la estimada en el presente trabajo de 53,38 Gg/año a partir de la fermentación de los pastos y de 3,75 veces menor a partir de las dietas mezcladas que generaron en total 78,08 Gg/año.



Es de destacar que dadas las diferencias en las poblaciones bovinas incluidas en los estudios del IDEAM y en el presente estudio, las comparaciones no son del todo válidas. En primer lugar, El IDEAM no hizo los cálculos para ganado lechero sino para ganado no lechero, razón por la cual utilizó el “Factor de Emisión para Fermentación Entérica” recomendado por el IPCC (IPCC, 1997), que para este tipo de ganado y para esta región del planeta (América Latina) es de 57. Este factor de emisión está calculado para vacas con producción promedio de 800 Kg/año, (2,2 L/día), vacas muy diferentes a las vacas de las lecherías especializadas incluidas en este estudio que se aproximan a los 5500-6500 Kg/año (15-18 L/día) (IPCC, 1996).

Para este tipo de vaca propio de los municipios incluidos en el presente estudio debería aplicarse un factor de emisión no de 57 sino de 118 (propuesto por el IPCC para vacas con producciones promedio de 6.700 Kg/año) (IPCC, 1996). En ese orden de ideas, si llegásemos a ajustar los cálculos del IDEAM con este factor de emisión (118), el promedio diario por vaca de emisiones de metano producto de la fermentación ruminal se estaría acercando a los 323,29 g, volumen más real y más cercano al estimado (443,59 g) en este estudio a partir de la información de pasturas. Tomando como base el factor de emisión adecuado para este tipo de ganado, las emisiones diarias de metano para la población lechera de Antioquia mayor de 1 año (329.710 cabezas) serían de 0,1065 Gg/día o de 38,90 Gg/año.

De otro lado, según el DANE, las emisiones de metano producto de la fermentación entérica del ganado bovino en Colombia reportadas por el IDEAM están subestimadas, el DANE estima que dichas emisiones para 2008 por ejemplo, deberían ser 18,41% más altas. Las diferencias entre las cifras estimadas por estas dos instituciones, se deben a que las emisiones calculadas por el IDEAM tienen datos de actividad (stock del ganado bovino) de variadas fuentes de información como son el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN). En cambio, los datos sobre el stock de ganado bovino utilizado en el piloto de la cuenta de emisiones del DANE proviene de las cifras referidas al inventario de ganado vacuno en cabezas, por grupo etario, según propósito y sexo calculado por la Dirección de Síntesis y Cuentas Nacionales como parte de la actividad pecuaria; adicionalmente los datos utilizados del IDEAM para los años 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007 y 2008 no están reportados oficialmente a la CMNUCC por esta institución (Yepes 2012).

Si analizamos en conjunto la figura 3-2, en donde se muestra la distribución porcentual del inventario de hembras bovinas mayores de 1 año en los cinco municipios del departamento de Antioquia incluidos en el presente estudio y la Tabla 3-5, donde se pueden ver los resultados obtenidos de las emisiones de metano del ganado lechero por municipio (Tabla 3-5), se puede concluir que, en general, las poblaciones ganaderas participan en las emisiones de metano

regionales (los cinco municipios) de manera proporcional al tamaño de su inventario ganadero. Es así como Santa Rosa de Osos, municipio que registra la mayor proporción del inventario ganadero (35%), también registra la mayor participación en las emisiones de metano: 9,95 y 13,39 Gg/año a partir de pastos y dietas, respectivamente. Por su parte, La Unión, municipio con la menor proporción del inventario ganadero regional (10%), registra también la menor participación en las emisiones de metano: 3,03 y 4,65 Gg/año a partir de pastos y dietas, respectivamente. En Yarumal, municipio que contabiliza la cuarta mayor proporción (14%) del inventario ganadero entre los cinco municipios, tiene una participación proporcional en las emisiones de metano. No obstante, las emisiones de metano por animal en este municipio ascendieron a 661 g/día y, como se puede ver en la Tabla 3-5, son las más altas registradas en comparación con los demás municipios, lo cual puede ser debido a que dicho municipio registró una menor calidad nutritiva de los pastos (menor PC, mayor FDN, FDA y lignina) y consecuentemente, unos menores valores asociados a la DMS. Todo lo anterior podría ser un producto de la menor altitud a la cual estaban ubicadas las fincas muestreadas en el municipio de Yarumal y a un manejo menos tecnificado de las pasturas frente al observado en los otros municipios. Por el contrario, en el municipio de San Pedro de los Milagros, se registró la menor producción de metano por animal (310 g/d), debido, posiblemente, a la calidad de sus pasturas.

Finalmente, en función de alcanzar un mayor grado de confiabilidad y precisión en lo relacionado con mediciones y mitigación, a manera de metodología, se sugiere complementar metodologías como la presentada en este estudio con iniciativas como la propuesta recientemente por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) consistente en la implementación de políticas públicas que integren la mitigación de gases efecto invernadero al desarrollo territorial. De estas iniciativas que promueven los estudios a nivel regional o municipal en Colombia se identifican dos proyectos: los Nodos Regionales de Cambio Climático y el proyecto “Plan Regional Integrado de Cambio Climático Región Capital – PRICC” cuyo objetivo es la elaboración de una estrategia de mitigación y adaptación a nivel regional (Grupo de Inventarios PRICC Región Capital).

### **3.7 Conclusiones**

La producción de metano promedio producto de la fermentación *in vitro* de los pastos utilizados en sistemas de producción de lechería especializada de Antioquia fue de 92,03 g de metano por cada 100 Kg de peso vivo al día.

La producción de metano promedio producto de la fermentación *in vitro* de los dietas mezcladas (70:30) de lechería especializada de Antioquia fue de 134,61 g de metano por cada 100 Kg de peso vivo al día.

La producción de gas producto de la fermentación y la emisión de metano fue mayor en las dietas que en los pastos.

La estimación del inventario de las emisiones de metano producto de la fermentación ruminal *in vitro* de pastos provenientes de cinco municipios de Antioquia fue de 31,82 Gg/año.

La estimación del inventario de las emisiones de metano producto de la fermentación ruminal *in vitro* de dietas mezcladas (70:30) provenientes de cinco municipios de Antioquia fue de 46,08 Gg/año.

Por extrapolación, se estimó que las emisiones de metano entérico provenientes de la población bovina lechera mayor de 1 año de edad, en el departamento de Antioquia (329.710 cabezas) alcanzarían los 53,38 Gg/año a partir de los pastos y 78,08 Gg/año a partir de las dietas (70:30).

El municipio de Santa Rosa de Osos, registró la mayor proporción del inventario ganadero (35%), y en consecuencia también la mayor participación en las emisiones de metano.

El municipio de La Unión, presentó la menor participación en las emisiones de metano regionales (9%) en función a su menor proporción del inventario ganadero regional.

Las estimaciones de metano encontradas en el presente estudio son comparables con los resultados reportados con pruebas *in vivo* lo cual nos permite concluir que la técnica de gases tiene potencial en la estimación de las emisiones de metano.

Los resultados reportados en este estudio, son la base para el diseño de políticas a nivel regional (Antioquia), o a nivel municipal, para la implementación de estrategias más acordes con la realidad del trópico regional y nacional que ocupa la ganadería, para la cuantificación de la línea base, como requisito indispensable para la utilización de tecnologías que mitiguen las emisiones de metano entérico por la ganadería orientada a la disminución de las emisiones de gases efecto invernadero, con miras a diseñar en el futuro, unos sistemas de producción bovina sostenibles ambientalmente.

### 3.8 Bibliografía

- Beauchemin, K.A., M. Kreuzer, F. O'Mara, and T.A. McAllister. 2008. "Nutritional management for enteric methane abatement: a review." *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48(2):21-27.
- Blaxter, K.L. , and F.W. Wainman. 1964. "The utilization of the energy of different rations by sheep and cattle for fattening." *Journal of Agricultural Science* 63:113-28.

- Boadi, D. A., K. M. Wittenberg, and W. McCaughey. 2002a. "Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF<sub>6</sub>) tracer gas technique." *Canadian Journal of Animal Science* 82(2):151-57.
- Chase, L. 2007. "Methane emissions from dairy cattle." *As published in the proceedings of: Mitigating Air Emissions from Animal Feeding Operations Conference. Iowa State University Extension Iowa State University College of Agriculture and Life Sciences.*
- EPA. 2010. "Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources." Disponible en <http://www.epa.gov/methane/sources.html>.
- Euclides, V.P.B., M.C.M. Macedo, and M.P. Oliveira. 1992. "Avaliação de diferentes métodos de amostragem (para se estimar o valor nutritivo de forragens) sob pastejo." *Revista Brasileira de Zootecnia* 21:691-702.
- FAO. 2009. "La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. ." Pp. 86-139, edited by H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. de Haan. Roma: FAO.
- Giraldo L.A. 2013. Manejo y Utilización de Pasturas Tropicales. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín 281 p.
- Gower, J.C. 1966. "Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. ." *Biometrika* 53:325-38.
- Grupo de Inventarios PRICC Región Capital. "Inventario de emisiones de gases efecto invernadero para la región Cundinamarca – Bogotá. Plan Regional Integral de cambio Climático. Bogota, D.C. 2011. ." Disponible <http://pricc-co.wikidot.com/grupo-inventarios-gei>.
- Haydock, K.P., and N.H. Shaw. 1975. "The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture." *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15:663-70.
- Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO<sub>2</sub> emissions. In: Gerber, P.J., Henderson, B. & Makkar, H.P.S. (eds). FAO Animal Production and Health Paper No. 177. FAO, Rome, Italy.
- IDEAM. 2009. "Inventario nacional de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero 2000 – 2004. Bogotá D.C. 2009."
- IPCC. 1996. "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Revised 1996. IPCC. Bracknell (1997). "
- . 2006. "IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Agriculture, forestry and land use. IGES. ." Pp. 1-87. Kanagawa, Japón. .
- Johnson, K. A. , H. H. Westbeg, J. J. Michal, and M. W. Cossalman. 2007. "Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques." Pp. 33-67 in *Measuring Methane Production from Ruminants*, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.
- Johnson, KA, and DE Johnson. 1995. "Methane emissions from cattle." *J. Anim. Sci.* 73:2483 - 92.

- Jouany, J.P. 1994. Manipulation of microbial activity in the rumen. *Archives of Animal Nutrition* 46, 133-153.
- López, S. , M.D. Carro, J.S. Gonzales, and F.J. Ovejero. 1998. "Comparison of different *in vitro* and *in situ* methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen." *Animal Feed Science and Technology* 73:99-113.
- López, S. , and C. J. Newbold. 2007. "Measuring methane emission of ruminants by *in vitro* and *in vivo* techniques." Pp. 1-13 in *Measuring Methane Production from Ruminants*, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.
- Lovett, D., S. Lovell, L. Stack, J. Callan, M. Finlay, J. Conolly, and F. P. O'Mara. 2003. "Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers." *Livestock Production Science* 84(2):135-46.
- McGinn, S.M., Beauchemin, K.A., Iwaasa, A.D. & McAllister, T.A. (2006). Assessment of the sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) tracer technique for measuring enteric methane emissions from cattle. *Journal of Environmental Quality* 35(5), 1686-1691.
- Mendoza, P, and C Lascano. 1986. "Mediciones en la pastura de ensayos de pastoreo." *En: Lascano C. y Pizarro E. (eds). Evaluación de pasturas con animales: Alternativas metodológicas. Memorias en la reunión de trabajo celebrada en Perú, 1 a 5 de octubre de 1984. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. p. 143-165*
- Moate, P. 2010. "Reducing methane emissions from dairy cows." *Gippsland - How Now Gippy Now - September 2010 Edition* Disponible en <http://www.dpi.vic.gov.au/agriculture/about-agriculture/newsletters-and-updates/newsletters/how-now-gippy-cow/september/reducing-methane-emissions-from-dairy-cows>
- Ominski, K.H., and K.M. Wittenberg. 2004. "Strategies for reducing enteric methane emissions in forage-based beef production systems." *Presented at "The Science of Changing Climates- Impact on Agriculture, Forestry and Wetlands" July 20- 23 2004 University of Alberta, Edmonton, Alberta Canadian Society of Agronomy, Animal Science, and Soil Science.*
- Theodorou, M.K. , B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan, and France J. 1994. "A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds " *Animal Feed Science and Technology* 48:185-97.
- Ulyatt, M. J., K. R. Lassey, I. D. Shelton, and C. F. Walker. 2002. "Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand." *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45(4):227-34.
- Van Aardenne, J. A., F. J. Dentener, J. G. J. Olivier, C. G. M. Klein Goldewijk, and J. Lelieveld. 2001. "A High Resolution Dataset of Historical Anthropogenic Trace Gas Emissions for the Period 1890-1990." *Global Biogeochemical Cycles* 15(4):909-28.

Van Soest, P. J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. Corvallis, Oregon: O & B Books, Inc.

Yepes, L.D. 2012. "Cuenta de emisiones al aire: Estudio de caso emisión de metano por la fermentación entérica del ganado bovino. Bogotá, 2012. .Disponible en:  
[http://www.dane.gov.co/candane/images/DT\\_DANE/wp\\_cuentas\\_emisiones\\_del\\_aire.pdf](http://www.dane.gov.co/candane/images/DT_DANE/wp_cuentas_emisiones_del_aire.pdf).

## 4. Capítulo Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

Se encontró que el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) posee altos contenidos de proteína cruda y alta digestibilidad de la materia seca, que lo califican como un forraje de buena calidad.

El análisis conjunto de los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* permite sugerir que las dietas en comparación con los pastos de todos los municipios generaron mayor volumen de gas, mayores porcentajes de DMS, mayores proporciones de butirato y menores proporciones de acetato

Se evidencia que las emisiones de metano producto de la fermentación ruminal *in vitro*, están asociadas a la calidad nutritiva de la pastura y a la proporción de suplemento concentrado incluido en la dieta.

La fermentación de las dietas produjo mayor metano por unidad de sustrato incubado y degradado que los pastos.

La producción de metano se relaciona positivamente con la producción total de ácidos grasos volátiles y con la relación acetato:propionato.

La producción de metano se relaciono positivamente con la producción de gas y negativamente con la proporción de propionato.

La producción de metano promedio producto de la fermentación *in vitro* de los pastos utilizados en sistemas de producción de lechería especializada de Antioquia fue de 92,03 g de metano por cada 100 Kg de peso vivo al día.

La producción de metano promedio producto de la fermentación *in vitro* de los dietas mezcladas (70:30) de lechería especializada de Antioquia fue de 134,61 g de metano por cada 100 Kg de peso vivo al día.

La producción de gas producto de la fermentación y la emisión de metano fue mayor en las dietas que en los pastos.

La estimación del inventario de las emisiones de metano producto de la fermentación ruminal *in vitro* de pastos provenientes de cinco municipios de Antioquia fue de 31,82 Gg/año.

La estimación del inventario de las emisiones de metano producto de la fermentación ruminal *in vitro* de dietas mezcladas (70:30) provenientes de cinco municipios de Antioquia fue de 46,08 Gg/año.

Por extrapolación, se estimó que las emisiones de metano entérico provenientes de la población bovina lechera mayor de 1 año de edad, en el departamento de Antioquia (329.710 cabezas) alcanzarían los 53,38 Gg/año a partir de los pastos y 78,08 Gg/año a partir de las dietas (70:30).

El municipio de Santa Rosa de Osos, registró la mayor proporción del inventario ganadero (35%), y en consecuencia también la mayor participación en las emisiones de metano.

El municipio de La Unión, presentó la menor participación en las emisiones de metano regionales (9%) en función a su menor proporción del inventario ganadero regional.

Las estimaciones de metano encontradas en el presente estudio son comparables con los resultados reportados con pruebas *in vivo* lo cual nos permite concluir que la técnica de gases es una herramienta de laboratorio útil para realizar inventarios de metano.

Los resultados reportados en este estudio, son la base para el diseño de políticas a nivel regional (Antioquia), o a nivel municipal, para la implementación de estrategias más acordes con la realidad del trópico regional y nacional que ocupa la ganadería, para la cuantificación de la línea base, como requisito indispensable para la utilización de tecnologías que mitiguen las emisiones de metano entérico por la ganadería orientada a la disminución de las emisiones de gases efecto invernadero, con miras a diseñar en el futuro, unos sistemas de producción bovina sostenibles ambientalmente.

## 4.2 Recomendaciones

Realizar estudios con pastos de calidad contrastante a fin de probar la tesis que la calidad de los forrajes está altamente asociada con las emisiones de metano.

Evaluar el efecto de la incubación *in vitro* de dietas mezcladas contrastantes a fin de identificar cambios en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro*.

Evaluar el efecto de la incubación *in vitro* de dietas mezcladas contrastantes en la producción de AGV's y CH<sub>4</sub> y su incidencia sobre las poblaciones de microorganismos ruminales.

Se recomienda probar modelos de regresión múltiple para predecir la producción de metano que involucren la variable consumo de materia seca y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.



Dado que la calidad de los pastos afecta las emisiones de metano se sugiere enfocar los esfuerzos de mitigación en el manejo de las pasturas.

Dados los resultados de las emisiones de metano obtenidos por municipios, se enfatiza en la necesidad de realizar esquemas de inventarios regionales que permitan manejar de forma independiente los factores que específicamente pueden afectar dichas emisiones



# ANEXOS

## A. Anexo: Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo a las 24 horas.

	Cenizas	MO	FDN	FDA	Lignina	proteína	EE	Gas	DMS	Amonio	pH	DFDN	DFDA	Acet	Prop	Isov	But	valo	AGVTOT	R A:P	CH4MSi	CH4MSd
Cenizas	1.00	-1.00	-0.33849	-0.34735	-0.33570	0.39551	0.13328	-0.04319	0.39068	0.23546	-0.33523	0.34079	0.17175	-0.15332	0.75719	-0.33407	-0.60887	-0.58561	-0.24503	-0.68901	-0.53714	-0.66109
		<.0001	0.1563	0.1451	0.1600	0.0937	0.5865	0.8606	0.0982	0.3318	0.1606	0.1533	0.4820	0.5309	0.0002	0.1622	0.0057	0.0084	0.3120	0.0011	0.0177	0.0021
MO	-1.00	1.00	0.33849	0.34735	0.33570	-0.39551	-0.13328	0.04319	-0.39068	-0.23546	0.33523	-0.34079	-0.17175	0.15332	-0.75719	0.33407	0.60887	0.58561	0.24503	0.68901	0.53714	0.66109
	<.0001		0.1563	0.1451	0.1600	0.0937	0.5865	0.8606	0.0982	0.3318	0.1606	0.1533	0.4820	0.5309	0.0002	0.1622	0.0057	0.0084	0.3120	0.0011	0.0177	0.0021
FDN	-0.33849	0.33849	1.00	0.95906	0.21350	-0.91151	-0.51444	-0.15988	-0.50854	0.01487	0.10637	-0.00261	-0.26176	-0.14973	-0.11278	-0.13546	0.32459	0.06509	0.26962	0.02785	0.25347	0.38565
	0.1563	0.1563		<.0001	0.3802	<.0001	0.0242	0.5132	0.0262	0.9518	0.6647	0.9915	0.2790	0.5407	0.6457	0.5803	0.1751	0.7912	0.2643	0.9099	0.2951	0.1030
FDA	-0.34735	0.34735	0.95906	1.00	0.13700	-0.89300	-0.54916	-0.27551	-0.59514	-0.15798	0.29583	-0.10340	-0.29953	-0.24902	-0.14846	0.00927	0.39886	0.19361	0.18628	0.02439	0.15075	0.31115
	0.1451	0.1451	<.0001		0.5760	<.0001	0.0149	0.2536	0.0072	0.5183	0.2188	0.6736	0.2128	0.3039	0.5441	0.9699	0.0907	0.4271	0.4451	0.9210	0.5379	0.1947
Lignina	-0.33570	0.33570	0.21350	0.13700	1.00	-0.38711	0.01337	0.33731	-0.01665	-0.02697	-0.08737	0.09973	0.09930	0.30301	-0.38204	-0.06409	0.21297	0.06289	0.38977	0.42755	0.44222	0.45223
	0.1600	0.1600	0.3802	0.5760		0.1015	0.9567	0.1579	0.9461	0.9127	0.7221	0.6846	0.6859	0.2073	0.1065	0.7944	0.3814	0.7981	0.0990	0.0679	0.0580	0.0519
proteína	0.39551	-0.39551	-0.91151	-0.89300	-0.38711	1.00	0.34128	0.00616	0.53514	0.07973	-0.07947	0.03248	0.24879	0.01518	0.27798	0.11852	-0.39698	-0.11164	-0.33250	-0.21308	-0.34915	-0.50188
	0.0937	0.0937	<.0001	<.0001	0.1015		0.1527	0.9800	0.0182	0.7456	0.7464	0.8950	0.3044	0.9508	0.2492	0.6289	0.0924	0.6491	0.1643	0.3811	0.1429	0.0286
EE	0.13328	-0.13328	-0.51444	-0.54916	0.01337	0.34128	1.00	0.15302	0.13917	-0.06573	-0.09640	0.08683	0.12791	0.21612	0.13906	-0.30673	-0.23482	-0.32196	-0.36417	-0.03722	-0.16483	-0.19892
	0.5865	0.5865	0.0242	0.0149	0.9567	0.1527		0.5317	0.5699	0.7892	0.6946	0.7237	0.6018	0.3742	0.5702	0.2015	0.3332	0.1789	0.1253	0.8798	0.5001	0.4143
Gas	-0.04319	0.04319	-0.15988	-0.27551	0.33731	0.00616	0.15302	1.00	0.66931	0.53525	-0.39173	0.51288	0.61720	0.72009	-0.33152	-0.28366	-0.16456	-0.18242	0.61758	0.50900	0.65249	0.51254
	0.8606	0.8606	0.5132	0.2536	0.1579	0.9800	0.5317		0.0017	0.0182	0.0972	0.0247	0.0049	0.0005	0.1656	0.2392	0.5008	0.4548	0.0048	0.0260	0.0025	0.0248
DMS	0.39068	-0.39068	-0.50854	-0.59514	-0.01665	0.53514	0.13917	0.66931	1.00	0.60167	-0.33523	0.64662	0.81834	0.48739	0.06512	-0.22512	-0.47654	-0.25556	0.40705	0.09624	0.26461	0.00623
	0.0982	0.0982	0.0262	0.0072	0.9461	0.0182	0.5699	0.0017		0.0064	0.1606	0.0028	<.0001	0.0343	0.7911	0.3541	0.0391	0.2910	0.0837	0.6951	0.2736	0.9798
Amonio	0.23546	-0.23546	0.01487	-0.15798	-0.02697	0.07973	-0.06573	0.53525	0.60167	1.00	-0.35870	0.77740	0.61480	0.56716	0.08793	-0.45672	-0.51409	-0.35621	0.49599	0.09347	0.43098	0.28089
	0.3318	0.3318	0.9518	0.5183	0.9127	0.7456	0.7892	0.0182	0.0064		0.1315	<.0001	0.0051	0.0113	0.7204	0.0493	0.0243	0.1344	0.0308	0.7035	0.0654	0.2441
pH	-0.33523	0.33523	0.10637	0.29583	-0.08737	-0.07947	-0.09640	-0.39173	-0.33523	-0.35870	1.00	-0.12437	-0.03366	-0.04247	-0.25000	0.33641	0.16211	0.39092	-0.16502	0.19348	-0.01770	0.07216
	0.1606	0.1606	0.6647	0.2188	0.7221	0.7464	0.6946	0.0972	0.1606	0.1315		0.6120	0.8912	0.8630	0.3020	0.1591	0.5073	0.0979	0.4996	0.4274	0.9427	0.7691

Las tablas de los anexos muestran las correlaciones entre cada par de variables (primer número) con su respectivo valor P (segundo número). Los coeficientes de correlación (r) oscilan entre -1 y 1y miden la fuerza de relación entre las variables, H0:  $\rho=0$  (No existe correlación lineal entre las variables), Ha:  $\rho\neq 0$  (Si correlación lineal entre las variables), n=19

Continuación del anexo A. Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo a las 24 horas.

	Cenizas	MO	FDN	FDA	Lignina	proteína	EE	Gas	DMS	Amonio	pH	DFDN	DFDA	Acet	Prop	Isov	But	valo	AGVTOT	RelAP	CH4MSi	CH4MSd
DFDN	0.34079	-0.34079	-0.00261	-0.10340	0.09973	0.03248	0.08683	0.51288	0.64662	0.77740	-0.12437	1.00	0.83677	0.65397	0.18670	-0.65820	-0.63294	-0.53790	0.36260	0.03098	0.27960	0.11628
	0.1533	0.1533	0.9915	0.6736	0.6846	0.8950	0.7237	0.0247	0.0028	<.0001	0.6120		<.0001	0.0024	0.4441	0.0022	0.0036	0.0175	0.1271	0.8998	0.2463	0.6355
DFDA	0.17175	-0.17175	-0.26176	-0.29953	0.09930	0.24879	0.12791	0.61720	0.81834	0.61480	-0.03366	0.83677	1.00	0.60147	-0.12959	-0.26584	-0.36448	-0.14595	0.49980	0.28257	0.42078	0.22921
	0.4820	0.4820	0.2790	0.2128	0.6859	0.3044	0.6018	0.0049	<.0001	0.0051	0.8912			<.0001	0.0064	0.5970	0.2713	0.1250	0.5510	0.0293	0.2411	0.0728
Acet	-0.15332	0.15332	-0.14973	-0.24902	0.30301	0.01518	0.21612	0.72009	0.48739	0.56716	-0.04247	0.65397	0.60147	1.00	-0.31886	-0.49190	-0.42821	-0.26006	0.45867	0.58852	0.54779	0.44137
	0.5309	0.5309	0.5407	0.3039	0.2073	0.9508	0.3742	0.0005	0.0343	0.0113	0.8630	0.0024	0.0064		0.1833	0.0324	0.0674	0.2823	0.0482	0.0080	0.0152	0.0585
Prop	0.75719	-0.75719	-0.11278	-0.14846	-0.38204	0.27798	0.13906	-0.33152	0.06512	0.08793	-0.25000	0.18670	-0.12959	-0.31886	1.00	-0.50235	-0.67738	-0.75178	-0.58400	-0.95227	-0.76009	-0.82078
	0.0002	0.0002	0.6457	0.5441	0.1065	0.2492	0.5702	0.1656	0.7911	0.7204	0.3020	0.4441	0.5970	0.1833		0.0284	0.0014	0.0002	0.0087	<.0001	0.0002	<.0001
Isov	-0.33407	0.33407	-0.13546	0.00927	-0.06409	0.11852	-0.30673	-0.28366	-0.22512	-0.45672	0.33641	-0.65820	-0.26584	-0.49190	-0.50235	1.00	0.68459	0.89028	0.07860	0.27847	0.11491	0.19324
	0.1622	0.1622	0.5803	0.9699	0.7944	0.6289	0.2015	0.2392	0.3541	0.0493	0.1591	0.0022	0.2713	0.0324	0.0284		0.0012	<.0001	0.7491	0.2483	0.6395	0.4280
But	-0.60887	0.60887	0.32459	0.39886	0.21297	-0.39698	-0.23482	-0.16456	-0.47654	-0.51409	0.16211	-0.63294	-0.36448	-0.42821	-0.67738	0.68459	1.00	0.75819	0.17408	0.44134	0.31812	0.46681
	0.0057	0.0057	0.1751	0.0907	0.3814	0.0924	0.3332	0.5008	0.0391	0.0243	0.5073	0.0036	0.1250	0.0674	0.0014	0.0012		0.0002	0.4760	0.0585	0.1844	0.0439
valo	-0.58561	0.58561	0.06509	0.19361	0.06289	-0.11164	-0.32196	-0.18242	-0.25556	-0.35621	0.39092	-0.53790	-0.14595	-0.26006	-0.75178	0.89028	0.75819	1.00	0.34008	0.55489	0.37392	0.46948
	0.0084	0.0084	0.7912	0.4271	0.7981	0.6491	0.1789	0.4548	0.2910	0.1344	0.0979	0.0175	0.5510	0.2823	0.0002	<.0001	0.0002		0.1543	0.0137	0.1148	0.0426
AGVTOT	-0.24503	0.24503	0.26962	0.18628	0.38977	-0.33250	-0.36417	0.61758	0.40705	0.49599	-0.16502	0.36260	0.49980	0.45867	-0.58400	0.07860	0.17408	0.34008	1.00	0.62534	0.85637	0.77839
	0.3120	0.3120	0.2643	0.4451	0.0990	0.1643	0.1253	0.0048	0.0837	0.0308	0.4996	0.1271	0.0293	0.0482	0.0087	0.7491	0.4760	0.1543		0.0042	<.0001	<.0001
RelAP	-0.68901	0.68901	0.02785	0.02439	0.42755	-0.21308	-0.03722	0.50900	0.09624	0.09347	0.19348	0.03098	0.28257	0.58852	-0.95227	0.27847	0.44134	0.55489	0.62534	1.00	0.81528	0.83296
	0.0011	0.0011	0.9099	0.9210	0.0679	0.3811	0.8798	0.0260	0.6951	0.7035	0.4274	0.8998	0.2411	0.0080	<.0001	0.2483	0.0585	0.0137	0.0042		<.0001	<.0001
CH4MSi	-0.53714	0.53714	0.25347	0.15075	0.44222	-0.34915	-0.16483	0.65249	0.26461	0.43098	-0.01770	0.27960	0.42078	0.54779	-0.76009	0.11491	0.31812	0.37392	0.85637	0.81528	1.00	0.96382
	0.0177	0.0177	0.2951	0.5379	0.0580	0.1429	0.5001	0.0025	0.2736	0.0654	0.9427	0.2463	0.0728	0.0152	0.0002	0.6395	0.1844	0.1148	<.0001	<.0001		<.0001
CH4MSd	-0.66109	0.66109	0.38565	0.31115	0.45223	-0.50188	-0.19892	0.51254	0.00623	0.28089	0.07216	0.11628	0.22921	0.44137	-0.82078	0.19324	0.46681	0.46948	0.77839	0.83296	0.96382	1.00
	0.0021	0.0021	0.1030	0.1947	0.0519	0.0286	0.4143	0.0248	0.9798	0.2441	0.7691	0.6355	0.3452	0.0585	<.0001	0.4280	0.0439	0.0426	<.0001	<.0001	<.0001	

Las tablas de los anexos muestran las correlaciones entre cada par de variables (primer número) con su respectivo valor  $P$  (segundo número). Los coeficientes de correlación ( $r$ ) oscilan entre -1 y 1 y miden la fuerza de relación entre las variables,  $\text{Prob} > |r|$  suponiendo  $H_0: \text{Rho}=0$ ,  $n=19$ .

**B. Anexo:** Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo a las 48 horas

	Cen	MO	FDN	FDA	Lig	proteína	EE	Gas	DMS	Amoni o	pH	DFDN	DFDA	Acet	Prop	Isov	But	valo	AGVT OT	RelAP	CH4MS i	CH4MS d
<b>Cen</b>	1.00	-1.00	-0.33849	-0.34735	-0.33570	0.39551	0.13328	0.19364	0.73293	-0.29421	-0.30560	0.49598	0.22721	-0.34861	0.68276	-0.37820	-0.51819	-0.44253	-0.29880	-0.67992	-0.18430	-0.42778
		<.0001	0.1563	0.1451	0.1600	0.0937	0.5865	0.4270	0.0004	0.2215	0.2032	0.0308	0.3496	0.1435	0.0013	0.1217	0.0230	0.0659	0.2140	0.0014	0.4500	0.0677
<b>MO</b>	-1.00	1.00	0.33849	0.34735	0.33570	-0.39551	-0.13328	-0.19364	-0.73293	0.29421	0.30560	-0.49598	-0.22721	0.34861	-0.68276	0.37820	0.51819	0.44253	0.29880	0.67992	0.18430	0.42778
	<.0001		0.1563	0.1451	0.1600	0.0937	0.5865	0.4270	0.0004	0.2215	0.2032	0.0308	0.3496	0.1435	0.0013	0.1217	0.0230	0.0659	0.2140	0.0014	0.4500	0.0677
<b>FDN</b>	-0.33849	0.33849	1.00	0.95906	0.21350	-0.91151	-0.51444	-0.19862	-0.63086	-0.43668	0.15638	-0.17210	-0.20541	0.32262	-0.06644	-0.33471	0.11364	-0.39011	0.21808	0.24685	0.09790	0.30106
	0.1563	0.1563		<.0001	0.3802	<.0001	0.0242	0.4150	0.0038	0.0616	0.5226	0.4811	0.3989	0.1779	0.7870	0.1746	0.6432	0.1095	0.3698	0.3083	0.6901	0.2104
<b>FDA</b>	-0.34735	0.34735	0.95906	1.00	0.13700	-0.89300	-0.54916	-0.33592	-0.70022	-0.44987	0.09813	-0.18648	-0.08837	0.17292	-0.11843	-0.19746	0.27365	-0.28530	0.38223	0.25898	-0.06704	0.14248
	0.1451	0.1451	<.0001		0.5760	<.0001	0.0149	0.1597	0.0008	0.0533	0.6894	0.4446	0.7190	0.4790	0.6292	0.4322	0.2569	0.2511	0.1063	0.2843	0.7851	0.5607
<b>Lig</b>	-0.33570	0.33570	0.21350	0.13700	1.00	-0.38711	0.01337	0.08642	-0.18104	-0.00224	0.20113	-0.07457	0.06907	0.45092	-0.41731	0.11659	0.18581	0.18669	-0.09036	0.55090	0.29412	0.38455
	0.1600	0.1600	0.3802	0.5760		0.1015	0.9567	0.7250	0.4583	0.9927	0.4090	0.7616	0.7787	0.0527	0.0755	0.6450	0.4463	0.4582	0.7130	0.0145	0.2216	0.1040
<b>proteína</b>	0.39551	-0.39551	-0.91151	-0.89300	-0.38711	1.00	0.34128	0.08238	0.58658	0.32046	-0.11315	0.13785	0.07638	-0.34839	0.23045	0.20540	-0.24853	0.22110	-0.22007	-0.43612	-0.21193	-0.39751
	0.0937	0.0937	<.0001	<.0001	0.1015		0.1527	0.7374	0.0083	0.1810	0.6446	0.5736	0.7560	0.1438	0.3425	0.4136	0.3049	0.3779	0.3653	0.0619	0.3838	0.0919
<b>EE</b>	0.13328	-0.13328	-0.51444	-0.54916	0.01337	0.34128	1.00	0.22643	0.40586	-0.00738	-0.32275	0.25921	0.15355	-0.28324	0.21309	-0.13629	-0.10445	0.01173	-0.32051	-0.18718	0.00074	-0.10867
	0.5865	0.5865	0.0242	0.0149	0.9567	0.1527		0.3513	0.0847	0.9761	0.1777	0.2839	0.5302	0.2400	0.3811	0.5897	0.6704	0.9631	0.1809	0.4429	0.9976	0.6579
<b>Gas</b>	0.19364	-0.19364	-0.19862	-0.33592	0.08642	0.08238	0.22643	1.00	0.59667	0.20338	-0.24180	0.39901	-0.12296	0.44404	0.02777	-0.23115	-0.38159	-0.13019	-0.55155	0.07152	0.68699	0.52622
	0.4270	0.4270	0.4150	0.1597	0.7250	0.7374	0.3513		0.0070	0.4037	0.3186	0.0906	0.6160	0.0568	0.9102	0.3561	0.1069	0.6066	0.0144	0.7711	0.0012	0.0206
<b>DMS</b>	0.73293	-0.73293	-0.63086	-0.70022	-0.18104	0.58658	0.40586	0.59667	1.00	0.06912	-0.25655	0.67157	0.27475	0.02030	0.44656	-0.28591	-0.62077	-0.22899	-0.58765	-0.42678	0.25785	-0.05925
	0.0004	0.0004	0.0038	0.0008	0.4583	0.0083	0.0847	0.0070		0.7786	0.2890	0.0016	0.2550	0.9342	0.0553	0.2501	0.0046	0.3607	0.0081	0.0684	0.2865	0.8096
<b>Amoni o</b>	-0.29421	0.29421	-0.43668	-0.44987	-0.00224	0.32046	-0.00738	0.20338	0.06912	1.00	0.52952	-0.26520	-0.10361	0.31736	-0.60558	0.47654	0.24425	0.63454	0.07958	0.52118	0.42602	0.40568
	0.2215	0.2215	0.0616	0.0533	0.9927	0.1810	0.9761	0.4037	0.7786		0.0197	0.2725	0.6730	0.1855	0.0060	0.0456	0.3136	0.0047	0.7460	0.0221	0.0690	0.0848
<b>pH</b>	-0.30560	0.30560	0.15638	0.09813	0.20113	-0.11315	-0.32275	-0.24180	-0.25655	0.52952	1.00	-0.08628	0.14728	0.43689	-0.46415	0.16297	0.17282	0.27810	0.28305	0.49562	0.39253	0.49000
	0.2032	0.2032	0.5226	0.6894	0.4090	0.6446	0.1777	0.3186	0.2890	0.0197		0.7254	0.5474	0.0614	0.0453	0.5182	0.4792	0.2638	0.2403	0.0309	0.0964	0.0332

Las tablas de los anexos muestran las correlaciones entre cada par de variables (primer número) con su respectivo valor P (segundo número). Los coeficientes de correlación (r) oscilan entre -1 y 1y miden la fuerza de relación entre las variables, H0:  $\rho=0$  (No existe correlación lineal entre las variables), Ha:  $\rho \neq 0$  (Sí correlación lineal entre las variables), n=19

**Continuación del anexo B.** Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo a las 48 horas.

	Cen	MO	FDN	FDA	Lig	proteína	EE	Gas	DMS	Amoni o	pH	DFDN	DFDA	Acet	Prop	Isov	But	valo	AGVTO T	RelAP	CH4MS i	CH4MS d
DFDN	0.49598	-0.49598	-0.17210	-0.18648	-0.07457	0.13785	0.25921	0.39901	0.67157	-0.26520	-0.08628	1.00	0.65779	0.17074	0.34629	-0.42127	-0.45710	-0.39589	-0.23129	-0.23411	0.26165	0.05158
	0.0308	0.0308	0.4811	0.4446	0.7616	0.5736	0.2839	0.0906	0.0016	0.2725	0.7254		0.0022	0.4846	0.1464	0.0817	0.0491	0.1039	0.3407	0.3347	0.2792	0.8339
DFDA	0.22721	-0.22721	-0.20541	-0.08837	0.06907	0.07638	0.15355	-0.12296	0.27475	-0.10361	0.14728	0.65779	1.00	-0.13629	-0.00775	0.11290	0.08619	0.07889	0.24361	0.01476	-0.03563	-0.15816
	0.3496	0.3496	0.3989	0.7190	0.7787	0.7560	0.5302	0.6160	0.2550	0.6730	0.5474	0.0022		0.5780	0.9749	0.6556	0.7257	0.7557	0.3149	0.9522	0.8849	0.5178
Acet	-0.34861	0.34861	0.32262	0.17292	0.45092	-0.34839	-0.28324	0.44404	0.02030	0.31736	0.43689	0.17074	-0.13629	1.00	-0.34777	-0.40286	-0.25557	-0.19796	-0.18054	0.56913	0.71262	0.74478
	0.1435	0.1435	0.1779	0.4790	0.0527	0.1438	0.2400	0.0568	0.9342	0.1855	0.0614	0.4846	0.5780		0.1446	0.0974	0.2909	0.4310	0.4595	0.0110	0.0006	0.0003
Prop	0.68276	-0.68276	-0.06644	-0.11843	-0.41731	0.23045	0.21309	0.02777	0.44656	-0.60558	-0.46415	0.34629	-0.00775	-0.34777	1.00	-0.77731	-0.76573	-0.86131	-0.46227	-0.93155	-0.33993	-0.47202
	0.0013	0.0013	0.7870	0.6292	0.0755	0.3425	0.3811	0.9102	0.0553	0.0060	0.0453	0.1464	0.9749	0.1446		0.0001	0.0001	<.0001	0.0463	<.0001	0.1545	0.0413
Isov	-0.37820	0.37820	-0.33471	-0.19746	0.11659	0.20540	-0.13629	-0.23115	-0.28591	0.47654	0.16297	-0.42127	0.11290	-0.40286	-0.77731	1.00	0.76878	0.95961	0.47698	0.54727	-0.11421	-0.05596
	0.1217	0.1217	0.1746	0.4322	0.6450	0.4136	0.5897	0.3561	0.2501	0.0456	0.5182	0.0817	0.6556	0.0974	0.0001		0.0002	<.0001	0.0453	0.0187	0.6518	0.8254
But	-0.51819	0.51819	0.11364	0.27365	0.18581	-0.24853	-0.10445	-0.38159	-0.62077	0.24425	0.17282	-0.45710	0.08619	-0.25557	-0.76573	0.76878	1.00	0.75077	0.68870	0.61214	-0.15867	0.00455
	0.0230	0.0230	0.6432	0.2569	0.4463	0.3049	0.6704	0.1069	0.0046	0.3136	0.4792	0.0491	0.7257	0.2909	0.0001	0.0002		0.0003	0.0011	0.0053	0.5165	0.9852
valo	-0.44253	0.44253	-0.39011	-0.28530	0.18669	0.22110	0.01173	-0.13019	-0.22899	0.63454	0.27810	-0.39589	0.07889	-0.19796	-0.86131	0.95961	0.75077	1.00	0.36643	0.67046	0.08960	0.13976
	0.0659	0.0659	0.1095	0.2511	0.4582	0.3779	0.9631	0.6066	0.3607	0.0047	0.2638	0.1039	0.7557	0.4310	<.0001	<.0001	0.0003		0.1348	0.0023	0.7237	0.5802
AGVTO T	-0.29880	0.29880	0.21808	0.38223	-0.09036	-0.22007	-0.32051	-0.55155	-0.58765	0.07958	0.28305	-0.23129	0.24361	-0.18054	-0.46227	0.47698	0.68870	0.36643	1.00	0.38443	-0.42763	-0.27940
	0.2140	0.2140	0.3698	0.1063	0.7130	0.3653	0.1809	0.0144	0.0081	0.7460	0.2403	0.3407	0.3149	0.4595	0.0463	0.0453	0.0011	0.1348		0.1041	0.0678	0.2467
RelAP	-0.67992	0.67992	0.24685	0.25898	0.55090	-0.43612	-0.18718	0.07152	-0.42678	0.52118	0.49562	-0.23411	0.01476	0.56913	-0.93155	0.54727	0.61214	0.67046	0.38443	1.00	0.46265	0.60194
	0.0014	0.0014	0.3083	0.2843	0.0145	0.0619	0.4429	0.7711	0.0684	0.0221	0.0309	0.3347	0.9522	0.0110	<.0001	0.0187	0.0053	0.0023	0.1041		0.0461	0.0064
CH4MS i	-0.18430	0.18430	0.09790	-0.06704	0.29412	-0.21193	0.00074	0.68699	0.25785	0.42602	0.39253	0.26165	-0.03563	0.71262	-0.33993	-0.11421	-0.15867	0.08960	-0.42763	0.46265	1.00	0.94301
	0.4500	0.4500	0.6901	0.7851	0.2216	0.3838	0.9976	0.0012	0.2865	0.0690	0.0964	0.2792	0.8849	0.0006	0.1545	0.6518	0.5165	0.7237	0.0678	0.0461		<.0001
CH4MS d	-0.42778	0.42778	0.30106	0.14248	0.38455	-0.39751	-0.10867	0.52622	-0.05925	0.40568	0.49000	0.05158	-0.15816	0.74478	-0.47202	-0.05596	0.00455	0.13976	-0.27940	0.60194	0.94301	1.00
	0.0677	0.0677	0.2104	0.5607	0.1040	0.0919	0.6579	0.0206	0.8096	0.0848	0.0332	0.8339	0.5178	0.0003	0.0413	0.8254	0.9852	0.5802	0.2467	0.0064	<.0001	

Las tablas de los anexos muestran las correlaciones entre cada par de variables (primer número) con su respectivo valor  $P$  (segundo número). Los coeficientes de correlación ( $r$ ) oscilan entre  $-1$  y  $1$  y miden la fuerza de relación entre las variables,  $\text{Prob} > |r|$  suponiendo  $H_0: \rho=0$ ,  $n=19$ .

**C. Anexo: Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* de las dietas 70: 30, pasto kikuyo: suplemento concentrado respectivamente a las 24 horas**

	Cen	MO	FDN	FDA	Lig	proteína	EE	Gas	DMS	Amoni o	pH	DFDN	DFDA	Acet	Prop	Isov	But	valo	AGVTO T	RelAP	CH4MS i	CH4MS d
<b>Cen</b>	1.00	-1.00	-0.65568	-0.64926	-0.53396	0.45911	0.13258	0.17415	0.55795	0.01302	-0.05575	0.07242	0.20048	-0.16643	0.21329	0.02135	-0.16997	0.03742	-0.10302	-0.22619	-0.04374	-0.14827
	<.0001	0.0023	0.0026	0.0185	0.0480	0.5885	0.4758	0.0130	0.9578	0.8207	0.7683	0.4105	0.4959	0.3806	0.9309	0.4866	0.8791	0.6747	0.3518	0.8589	0.5447	
<b>MO</b>	-1.00	1.00	0.65568	0.64926	0.53396	-0.45911	-0.13258	-0.17415	-0.55795	-0.01302	0.05575	-0.07242	-0.20048	0.16643	-0.21329	-0.02135	0.16997	-0.03742	0.10302	0.22619	0.04374	0.14827
	<.0001		0.0023	0.0026	0.0185	0.0480	0.5885	0.4758	0.0130	0.9578	0.8207	0.7683	0.4105	0.4959	0.3806	0.9309	0.4866	0.8791	0.6747	0.3518	0.8589	0.5447
<b>FDN</b>	-0.65568	0.65568	1.00	0.94203	0.60444	-0.84452	-0.34067	-0.10991	-0.56031	0.16027	0.12223	-0.05157	-0.33136	0.29728	-0.32127	-0.11374	0.24242	-0.08046	0.15945	0.35756	0.32216	0.42389
	0.0023	0.0023		<.0001	0.0061	<.0001	0.1535	0.6542	0.0126	0.5122	0.6181	0.8339	0.1658	0.2164	0.1799	0.6429	0.3173	0.7433	0.5144	0.1329	0.1786	0.0705
<b>FDA</b>	-0.64926	0.64926	0.94203	1.00	0.74197	-0.81108	-0.43371	-0.12327	-0.57009	0.07776	0.16505	-0.10562	-0.25544	0.25587	-0.42553	0.05156	0.35781	0.09444	0.30177	0.43413	0.34643	0.45195
	0.0026	0.0026	<.0001		0.0003	<.0001	0.0636	0.6151	0.0108	0.7517	0.4995	0.6669	0.2912	0.2904	0.0693	0.8340	0.1326	0.7006	0.2093	0.0633	0.1462	0.0521
<b>Lig</b>	-0.53396	0.53396	0.60444	0.74197	1.00	-0.36533	-0.25741	-0.30343	-0.58206	-0.05811	0.25176	-0.11298	-0.10739	0.04773	-0.37156	0.22809	0.39766	0.22640	0.26999	0.31503	0.14612	0.24995
	0.0185	0.0185	0.0061	0.0003		0.1240	0.2874	0.2066	0.0089	0.8132	0.2985	0.6452	0.6617	0.8462	0.1173	0.3476	0.0918	0.3513	0.2636	0.1889	0.5506	0.3021
<b>proteína</b>	0.45911	-0.45911	-0.84452	-0.81108	-0.36533	1.00	0.48774	-0.08942	0.44335	-0.12398	-0.01912	0.10216	0.29616	-0.26475	0.34965	0.05532	-0.28537	-0.00735	-0.25071	-0.37566	-0.40495	-0.49037
	0.0480	0.0480	<.0001	<.0001	0.1240		0.0341	0.7158	0.0573	0.6131	0.9381	0.6773	0.2183	0.2734	0.1423	0.8220	0.2363	0.9762	0.3005	0.1130	0.0855	0.0330
<b>EE</b>	0.13258	-0.13258	-0.34067	-0.43371	-0.25741	0.48774	1.00	-0.15519	0.13642	0.08941	-0.29247	0.32311	0.23036	-0.04056	0.63176	-0.54583	-0.64294	-0.58910	-0.59705	-0.54894	-0.40682	-0.44391
	0.5885	0.5885	0.1535	0.0636	0.2874	0.0341		0.5258	0.5776	0.7159	0.2243	0.1772	0.3427	0.8691	0.0037	0.0156	0.0030	0.0080	0.0070	0.0149	0.0839	0.0569
<b>Gas</b>	0.17415	-0.17415	-0.10991	-0.12327	-0.30343	-0.08942	-0.15519	1.00	0.54361	0.56322	0.38741	0.64928	0.48888	0.44107	-0.25794	0.03176	-0.06647	0.14226	0.43692	0.39082	0.65167	0.57992
	0.4758	0.4758	0.6542	0.6151	0.2066	0.7158	0.5258		0.0161	0.0120	0.1013	0.0026	0.0337	0.0587	0.2863	0.8973	0.7869	0.5613	0.0614	0.0980	0.0025	0.0092
<b>DMS</b>	0.55795	-0.55795	-0.56031	-0.57009	-0.58206	0.44335	0.13642	0.54361	1.00	0.19694	0.20766	0.44935	0.59681	-0.07466	-0.06768	0.21426	0.05258	0.28411	0.28806	0.06338	0.20444	0.04179
	0.0130	0.0130	0.0126	0.0108	0.0089	0.0573	0.5776	0.0161		0.4190	0.3936	0.0536	0.0070	0.7613	0.7831	0.3784	0.8307	0.2385	0.2317	0.7966	0.4012	0.8651
<b>Amoni o</b>	0.01302	-0.01302	0.16027	0.07776	-0.05811	-0.12398	0.08941	0.56322	0.19694	1.00	0.30247	0.69000	0.26593	0.55496	0.06967	-0.43420	-0.44496	-0.34191	-0.02725	0.14208	0.55712	0.53702
	0.9578	0.9578	0.5122	0.7517	0.8132	0.6131	0.7159	0.0120	0.4190		0.2081	0.0011	0.2711	0.0137	0.7769	0.0632	0.0563	0.1519	0.9118	0.5618	0.0132	0.0177
<b>pH</b>	-0.05575	0.05575	0.12223	0.16505	0.25176	-0.01912	-0.29247	0.38741	0.20766	0.30247	1.00	0.42042	0.36247	0.45123	-0.58862	0.36617	0.26751	0.42262	0.57294	0.62389	0.64915	0.62248
	0.8207	0.8207	0.6181	0.4995	0.2985	0.9381	0.2243	0.1013	0.3936	0.2081		0.0731	0.1272	0.0525	0.0080	0.1231	0.2682	0.0714	0.0103	0.0043	0.0026	0.0044

Las tablas de los anexos muestran las correlaciones entre cada par de variables (primer número) con su respectivo valor P (segundo número). Los coeficientes de correlación (r) oscilan entre -1 y 1 y miden la fuerza de relación entre las variables, H0:  $\rho=0$  (No existe correlación lineal entre las variables), Ha:  $\rho\neq 0$  (Sí correlación lineal entre las variables), n=19

**Continuación del anexo C.** Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* de las dietas 70: 30, pasto kikuyo: suplemento concentrado respectivamente a las 24 horas

	Cen	MO	FDN	FDA	Lig	proteína	EE	Gas	DMS	Amoni o	pH	DFDN	DFDA	Acet	Prop	Isov	But	valo	AGVTO T	RelAP	CH4MS i	CH4MS d
DFDN	0.07242	-0.07242	-0.05157	-0.10562	-0.11298	0.10216	0.32311	0.64928	0.44935	0.69000	0.42042	1.00	0.79063	0.47734	0.00570	-0.29851	-0.33604	-0.23116	0.02929	0.17000	0.49418	0.43079
	0.7683	0.7683	0.8339	0.6669	0.6452	0.6773	0.1772	0.0026	0.0536	0.0011	0.0731		<.0001	0.0388	0.9815	0.2145	0.1595	0.3410	0.9053	0.4866	0.0315	0.0656
DFDA	0.20048	-0.20048	-0.33136	-0.25544	-0.10739	0.29616	0.23036	0.48888	0.59681	0.26593	0.36247	0.79063	1.00	0.18347	-0.19583	0.15480	0.03824	0.17723	0.24295	0.24200	0.33780	0.25118
	0.4105	0.4105	0.1658	0.2912	0.6617	0.2183	0.3427	0.0337	0.0070	0.2711	0.1272	<.0001		0.4521	0.4217	0.5269	0.8765	0.4679	0.3162	0.3182	0.1572	0.2996
Acet	-0.16643	0.16643	0.29728	0.25587	0.04773	-0.26475	-0.04056	0.44107	-0.07466	0.55496	0.45123	0.47734	0.18347	1.00	-0.37598	-0.22899	-0.28253	-0.13694	0.22209	0.63247	0.64968	0.67015
	0.4959	0.4959	0.2164	0.2904	0.8462	0.2734	0.8691	0.0587	0.7613	0.0137	0.0525	0.0388	0.4521		0.1126	0.3457	0.2412	0.5761	0.3608	0.0037	0.0026	0.0017
Prop	0.21329	-0.21329	-0.32127	-0.42553	-0.37156	0.34965	0.63176	-0.25794	-0.06768	0.06967	-0.58862	0.00570	-0.19583	-0.37598	1.00	-0.75839	-0.77165	-0.81303	-0.87266	-0.95327	-0.61303	-0.61845
	0.3806	0.3806	0.1799	0.0693	0.1173	0.1423	0.0037	0.2863	0.7831	0.7769	0.0080	0.9815	0.4217	0.1126		0.0002	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0053	0.0048
Isov	0.02135	-0.02135	-0.11374	0.05156	0.22809	0.05532	-0.54583	0.03176	0.21426	-0.43420	0.36617	-0.29851	0.15480	-0.22899	-0.75839	1.00	0.87929	0.97645	0.77164	0.55821	0.21578	0.19061
	0.9309	0.9309	0.6429	0.8340	0.3476	0.8220	0.0156	0.8973	0.3784	0.0632	0.1231	0.2145	0.5269	0.3457	0.0002		<.0001	<.0001	0.0001	0.0130	0.3750	0.4344
But	-0.16997	0.16997	0.24242	0.35781	0.39766	-0.28537	-0.64294	-0.06647	0.05258	-0.44496	0.26751	-0.33604	0.03824	-0.28253	-0.77165	0.87929	1.00	0.87577	0.71398	0.55179	0.18427	0.18764
	0.4866	0.4866	0.3173	0.1326	0.0918	0.2363	0.0030	0.7869	0.8307	0.0563	0.2682	0.1595	0.8765	0.2412	0.0001	<.0001		<.0001	0.0006	0.0143	0.4501	0.4418
valo	0.03742	-0.03742	-0.08046	0.09444	0.22640	-0.00735	-0.58910	0.14226	0.28411	-0.34191	0.42262	-0.23116	0.17723	-0.13694	-0.81303	0.97645	0.87577	1.00	0.84609	0.63869	0.31512	0.27962
	0.8791	0.8791	0.7433	0.7006	0.3513	0.9762	0.0080	0.5613	0.2385	0.1519	0.0714	0.3410	0.4679	0.5761	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	0.0032	0.1888	0.2463
AGVTO T	-0.10302	0.10302	0.15945	0.30177	0.26999	-0.25071	-0.59705	0.43692	0.28806	-0.02725	0.57294	0.02929	0.24295	0.22209	-0.87266	0.77164	0.71398	0.84609	1.00	0.80971	0.54913	0.51771
	0.6747	0.6747	0.5144	0.2093	0.2636	0.3005	0.0070	0.0614	0.2317	0.9118	0.0103	0.9053	0.3162	0.3608	<.0001	0.0001	0.0006	<.0001		<.0001	0.0149	0.0232
RelAP	-0.22619	0.22619	0.35756	0.43413	0.31503	-0.37566	-0.54894	0.39082	0.06338	0.14208	0.62389	0.17000	0.24200	0.63247	-0.95327	0.55821	0.55179	0.63869	0.80971	1.00	0.73760	0.74461
	0.3518	0.3518	0.1329	0.0633	0.1889	0.1130	0.0149	0.0980	0.7966	0.5618	0.0043	0.4866	0.3182	0.0037	<.0001	0.0130	0.0143	0.0032	<.0001		0.0003	0.0003
CH4MS i	-0.04374	0.04374	0.32216	0.34643	0.14612	-0.40495	-0.40682	0.65167	0.20444	0.55712	0.64915	0.49418	0.33780	0.64968	-0.61303	0.21578	0.18427	0.31512	0.54913	0.73760	1.00	0.98627
	0.8589	0.8589	0.1786	0.1462	0.5506	0.0855	0.0839	0.0025	0.4012	0.0132	0.0026	0.0315	0.1572	0.0026	0.0053	0.3750	0.4501	0.1888	0.0149	0.0003		<.0001
CH4MS d	-0.14827	0.14827	0.42389	0.45195	0.24995	-0.49037	-0.44391	0.57992	0.04179	0.53702	0.62248	0.43079	0.25118	0.67015	-0.61845	0.19061	0.18764	0.27962	0.51771	0.74461	0.98627	1.00
	0.5447	0.5447	0.0705	0.0521	0.3021	0.0330	0.0569	0.0092	0.8651	0.0177	0.0044	0.0656	0.2996	0.0017	0.0048	0.4344	0.4418	0.2463	0.0232	0.0003	<.0001	

Las tablas de los anexos muestran las correlaciones entre cada par de variables (primer número) con su respectivo valor  $P$  (segundo número). Los coeficientes de correlación ( $r$ ) oscilan entre -1 y 1 y miden la fuerza de relación entre las variables,  $\text{Prob} > |r|$  suponiendo  $H_0: \text{Rho}=0, n=19$ .



**D. Anexo:** Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* de las dietas 70: 30, pasto kikuyo: suplemento concentrado respectivamente a las 48 horas

	Cen	MO	FDN	FDA	Lig	proteína	EE	Gas	DMS	Amoni o	pH	DFDN	DFDA	Acet	Prop	Isov	But	valo	AGVTO T	RelAP	CH4MS i	CH4MS d
<b>Cen</b>	1.00	-1.00	-0.65568	-0.64926	-0.53396	0.45911	0.13258	0.17702	0.52390	0.01128	-0.07952	0.20787	0.13683	-0.18047	0.19856	0.05770	-0.19695	0.03069	-0.36020	-0.22364	0.03838	-0.04592
	<.0001	0.0023	0.0026	0.0185	0.0480	0.5885	0.4685	0.0213	0.9634	0.7462	0.3931	0.5765	0.4597	0.4151	0.8145	0.4190	0.9007	0.1298	0.3574	0.8760	0.8519	
<b>MO</b>	-1.00	1.00	0.65568	0.64926	0.53396	-0.45911	-0.13258	-0.17702	-0.52390	-0.01128	0.07952	-0.20787	-0.13683	0.18047	-0.19856	-0.05770	0.19695	-0.03069	0.36020	0.22364	-0.03838	0.04592
	<.0001		0.0023	0.0026	0.0185	0.0480	0.5885	0.4685	0.0213	0.9634	0.7462	0.3931	0.5765	0.4597	0.4151	0.8145	0.4190	0.9007	0.1298	0.3574	0.8760	0.8519
<b>FDN</b>	-0.65568	0.65568	1.00	0.94203	0.60444	-0.84452	-0.34067	-0.05150	-0.47363	-0.05521	0.37317	-0.20148	-0.14262	0.41805	-0.29849	-0.25279	0.29918	-0.20714	0.29684	0.37735	0.04491	0.13646
	0.0023	0.0023		<.0001	0.0061	<.0001	0.1535	0.8341	0.0405	0.8224	0.1156	0.4082	0.5603	0.0749	0.2145	0.2964	0.2134	0.3948	0.2172	0.1112	0.8552	0.5775
<b>FDA</b>	-0.64926	0.64926	0.94203	1.00	0.74197	-0.81108	-0.43371	-0.19038	-0.52579	0.01762	0.41745	-0.29128	-0.14548	0.24924	-0.36766	-0.09013	0.41289	-0.05589	0.37058	0.40155	-0.02854	0.06348
	0.0026	0.0026	<.0001		0.0003	<.0001	0.0636	0.4350	0.0208	0.9429	0.0754	0.2263	0.5523	0.3035	0.1215	0.7137	0.0789	0.8202	0.1183	0.0884	0.9077	0.7963
<b>Lig</b>	-0.53396	0.53396	0.60444	0.74197	1.00	-0.36533	-0.25741	-0.44000	-0.52916	0.07883	0.30645	-0.24687	-0.05099	-0.06032	-0.28959	0.11121	0.38841	0.11206	0.35707	0.25688	-0.31609	-0.26012
	0.0185	0.0185	0.0061	0.0003		0.1240	0.2874	0.0594	0.0198	0.7484	0.2019	0.3083	0.8358	0.8062	0.2291	0.6504	0.1003	0.6478	0.1334	0.2884	0.1874	0.2822
<b>proteína</b>	0.45911	-0.45911	-0.84452	-0.81108	-0.36533	1.00	0.48774	-0.07015	0.31743	0.04341	-0.32859	0.13928	0.05273	-0.36609	0.33749	0.20419	-0.35332	0.14955	-0.26714	-0.39877	-0.17087	-0.24815
	0.0480	0.0480	<.0001	<.0001	0.1240		0.0341	0.7754	0.1854	0.8599	0.1696	0.5696	0.8302	0.1232	0.1576	0.4017	0.1378	0.5412	0.2689	0.0908	0.4843	0.3057
<b>EE</b>	0.13258	-0.13258	-0.34067	-0.43371	-0.25741	0.48774	1.00	0.01194	0.37342	-0.41812	-0.34999	0.48436	0.31813	-0.05940	0.64042	-0.38376	-0.67161	-0.36618	-0.52998	-0.59420	0.02689	-0.03955
	0.5885	0.5885	0.1535	0.0636	0.2874	0.0341		0.9613	0.1153	0.0748	0.1418	0.0356	0.1844	0.8091	0.0031	0.1048	0.0016	0.1231	0.0196	0.0073	0.9130	0.8723
<b>Gas</b>	0.17702	-0.17702	-0.05150	-0.19038	-0.44000	-0.07015	0.01194	1.00	0.62877	-0.21597	0.16932	0.57478	0.30930	0.31300	0.26163	-0.42743	-0.35818	-0.34518	-0.38971	-0.16339	0.59810	0.54328
	0.4685	0.4685	0.8341	0.4350	0.0594	0.7754	0.9613		0.0039	0.3745	0.4883	0.0100	0.1976	0.1920	0.2793	0.0679	0.1321	0.1478	0.0991	0.5039	0.0068	0.0162
<b>DMS</b>	0.52390	-0.52390	-0.47363	-0.52579	-0.52916	0.31743	0.37342	0.62877	1.00	-0.19972	0.13663	0.80675	0.54144	0.08200	0.33184	-0.22982	-0.43501	-0.14525	-0.65420	-0.27614	0.63810	0.52127
	0.0213	0.0213	0.0405	0.0208	0.0198	0.1854	0.1153	0.0039		0.4123	0.5770	<.0001	0.0167	0.7386	0.1652	0.3439	0.0627	0.5530	0.0024	0.2525	0.0033	0.0221
<b>Amoni o</b>	0.01128	-0.01128	-0.05521	0.01762	0.07883	0.04341	-0.41812	-0.21597	-0.19972	1.00	0.43966	-0.49347	-0.44582	-0.01941	-0.71727	0.64900	0.65560	0.67780	0.31109	0.69719	0.18312	0.23715
	0.9634	0.9634	0.8224	0.9429	0.7484	0.8599	0.0748	0.3745	0.4123		0.0596	0.0318	0.0557	0.9371	0.0005	0.0026	0.0023	0.0014	0.1948	0.0009	0.4530	0.3283
<b>pH</b>	-0.07952	0.07952	0.37317	0.41745	0.30645	-0.32859	-0.34999	0.16932	0.13663	0.43966	1.00	0.09271	-0.08395	0.36603	-0.49106	0.20035	0.31117	0.32206	-0.12904	0.56947	0.58192	0.61619
	0.7462	0.7462	0.1156	0.0754	0.2019	0.1696	0.1418	0.4883	0.5770	0.0596		0.7058	0.7326	0.1233	0.0328	0.4108	0.1947	0.1787	0.5985	0.0109	0.0090	0.0050

Las tablas de los anexos muestran las correlaciones entre cada par de variables (primer número) con su respectivo valor *P* (segundo número). Los coeficientes de correlación (*r*) oscilan entre -1 y 1 y miden la fuerza de relación entre las variables, Prob > |*r*| suponiendo H0: Rho=0, n=19.

Continuación del anexo C. Correlaciones de Pearson entre cada par de variables evaluadas en los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* de las dietas 70: 30, pasto kikuyo: suplemento concentrado respectivamente a las 48 horas

	Cen	MO	FDN	FDA	Lig	proteína	EE	Gas	DMS	Amoni o	pH	DFDN	DFDA	Acet	Prop	Isov	But	valo	AGVTO T	RelAP	CH4MS i	CH4MS d
DFDN	0.20787	-0.20787	-0.20148	-0.29128	-0.24687	0.13928	0.48436	0.57478	0.80675	-0.49347	0.09271	1.00	0.82972	0.11608	0.42017	-0.43530	-0.46909	-0.34211	-0.47159	-0.36343	0.43924	0.33148
	0.3931	0.3931	0.4082	0.2263	0.3083	0.5696	0.0356	0.0100	<.0001	0.0318	0.7058		<.0001	0.6360	0.0733	0.0625	0.0428	0.1517	0.0415	0.1261	0.0599	0.1656
DFDA	0.13683	-0.13683	-0.14262	-0.14548	-0.05099	0.05273	0.31813	0.30930	0.54144	-0.44582	-0.08395	0.82972	1.00	-0.11298	0.24008	-0.27622	-0.13667	-0.24139	-0.01051	-0.26460	0.06297	-0.03710
	0.5765	0.5765	0.5603	0.5523	0.8358	0.8302	0.1844	0.1976	0.0167	0.0557	0.7326	<.0001		0.6451	0.3222	0.2523	0.5769	0.3195	0.9660	0.2736	0.7979	0.8801
Acet	-0.18047	0.18047	0.41805	0.24924	-0.06032	-0.36609	-0.05940	0.31300	0.08200	-0.01941	0.36603	0.11608	-0.11298	1.00	-0.17122	-0.35950	-0.18700	-0.28781	-0.29771	0.37924	0.47776	0.51103
	0.4597	0.4597	0.0749	0.3035	0.8062	0.1232	0.8091	0.1920	0.7386	0.9371	0.1233	0.6360	0.6451		0.4834	0.1306	0.4433	0.2321	0.2158	0.1093	0.0386	0.0253
Prop	0.19856	-0.19856	-0.29849	-0.36766	-0.28959	0.33749	0.64042	0.26163	0.33184	-0.71727	-0.49106	0.42017	0.24008	-0.17122	1.00	-0.73278	-0.89720	-0.76208	-0.50698	-0.97393	-0.15380	-0.23157
	0.4151	0.4151	0.2145	0.1215	0.2291	0.1576	0.0031	0.2793	0.1652	0.0005	0.0328	0.0733	0.3222	0.4834		0.0004	<.0001	0.0001	0.0267	<.0001	0.5296	0.3401
Isov	0.05770	-0.05770	-0.25279	-0.09013	0.11121	0.20419	-0.38376	-0.42743	-0.22982	0.64900	0.20035	-0.43530	-0.27622	-0.35950	-0.73278	1.00	0.70390	0.98346	0.33470	0.60310	-0.02393	0.02049
	0.8145	0.8145	0.2964	0.7137	0.6504	0.4017	0.1048	0.0679	0.3439	0.0026	0.4108	0.0625	0.2523	0.1306	0.0004		0.0008	<.0001	0.1613	0.0063	0.9225	0.9337
But	-0.19695	0.19695	0.29918	0.41289	0.38841	-0.35332	-0.67161	-0.35818	-0.43501	0.65560	0.31117	-0.46909	-0.13667	-0.18700	-0.89720	0.70390	1.00	0.69643	0.75210	0.79834	-0.12766	-0.06145
	0.4190	0.4190	0.2134	0.0789	0.1003	0.1378	0.0016	0.1321	0.0627	0.0023	0.1947	0.0428	0.5769	0.4433	<.0001	0.0008		0.0009	0.0002	<.0001	0.6025	0.8027
valo	0.03069	-0.03069	-0.20714	-0.05589	0.11206	0.14955	-0.36618	-0.34518	-0.14525	0.67780	0.32206	-0.34211	-0.24139	-0.28781	-0.76208	0.98346	0.69643	1.00	0.25668	0.65364	0.13118	0.17565
	0.9007	0.9007	0.3948	0.8202	0.6478	0.5412	0.1231	0.1478	0.5530	0.0014	0.1787	0.1517	0.3195	0.2321	0.0001	<.0001	0.0009		0.2888	0.0024	0.5924	0.4720
AGVTO T	-0.36020	0.36020	0.29684	0.37058	0.35707	-0.26714	-0.52998	-0.38971	-0.65420	0.31109	-0.12904	-0.47159	-0.01051	-0.29771	-0.50698	0.33470	0.75210	0.25668	1.00	0.38813	-0.56519	-0.50939
	0.1298	0.1298	0.2172	0.1183	0.1334	0.2689	0.0196	0.0991	0.0024	0.1948	0.5985	0.0415	0.9660	0.2158	0.0267	0.1613	0.0002	0.2888		0.1006	0.0117	0.0259
RelAP	-0.22364	0.22364	0.37735	0.40155	0.25688	-0.39877	-0.59420	-0.16339	-0.27614	0.69719	0.56947	-0.36343	-0.26460	0.37924	-0.97393	0.60310	0.79834	0.65364	0.38813	1.00	0.28173	0.36213
	0.3574	0.3574	0.1112	0.0884	0.2884	0.0908	0.0073	0.5039	0.2525	0.0009	0.0109	0.1261	0.2736	0.1093	<.0001	0.0063	<.0001	0.0024	0.1006		0.2426	0.1276
CH4MS i	0.03838	-0.03838	0.04491	-0.02854	-0.31609	-0.17087	0.02689	0.59810	0.63810	0.18312	0.58192	0.43924	0.06297	0.47776	-0.15380	-0.02393	-0.12766	0.13118	-0.56519	0.28173	1.00	0.98944
	0.8760	0.8760	0.8552	0.9077	0.1874	0.4843	0.9130	0.0068	0.0033	0.4530	0.0090	0.0599	0.7979	0.0386	0.5296	0.9225	0.6025	0.5924	0.0117	0.2426		<.0001
CH4MS d	-0.04592	0.04592	0.13646	0.06348	-0.26012	-0.24815	-0.03955	0.54328	0.52127	0.23715	0.61619	0.33148	-0.03710	0.51103	-0.23157	0.02049	-0.06145	0.17565	-0.50939	0.36213	0.98944	1.00
	0.8519	0.8519	0.5775	0.7963	0.2822	0.3057	0.8723	0.0162	0.0221	0.3283	0.0050	0.1656	0.8801	0.0253	0.3401	0.9337	0.8027	0.4720	0.0259	0.1276	<.0001	

Las tablas de los anexos muestran las correlaciones entre cada par de variables (primer número) con su respectivo valor *P* (segundo número). Los coeficientes de correlación (*r*) oscilan entre -1 y 1y miden la fuerza de relación entre las variables, Prob > |*r*| suponiendo H0: Rho=0, n=19.

