

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE ZOOTECNIA**



TESIS

**“EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO POR TORETES DE LA RAZA
BRAHMAN BAJO CONDICIONES DE PASTOREO CONTINUO DEL PASTO
ALEMÁN *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch, DURANTE ÉPOCA
SECA EN TULUMAYO – CIPTALD”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO ZOOTECNISTA

ELABORADO POR

FRANCISCA NOEMI PABLO MERINO

ASESOR

Ing. MSc. MEDARDO ANTONIO DÍAZ CÉSPEDES

TINGO MARÍA - PERÚ

2019



**T
ZOO**

Pablo Merino, Francisca Noemi

Emisión de metano entérico por toretes de la raza brahman bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch, durante época seca en Tulumayo – CIPTALD.

83 páginas; 4 cuadros; 7 figura; 60 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero Zootecnista) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Zootecnia. 2018

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| 1. COLECCIÓN DE GASES | 2. MATERIA SECA |
| 3. FIBRA DETERGENTE NEUTRO | 4. ENERGÍA BRUTA |
| 5. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL | |

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

I. DATOS GENERALES DE PREGRADO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Facultad : Zootecnia

Título de tesis : Emisión de metano entérico por toretes de la raza Brahman bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (kunth) hitch, durante época seca en Tulumayo – Ciptald

Autor : Francisca Noemi, Pablo Merino

Asesor de tesis : Medardo Antonio, Díaz Céspedes

Escuela Profesional : Zootecnia

Programa de Investigación : Producción Animal Sostenible

Línea de Investigación : Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería en la región selvática dentro del contexto del cambio climático

Lugar de ejecución : Universidad Nacional Agraria de la Selva
: Tingo María – Huánuco – Perú

Duración : 80 días

Fecha de inicio : 15/07/2017

Fecha de término : 15/12/2017

Financiamiento : **FEDU** :
: **Propio** :
: **Otros** : S/. 68,570.30



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

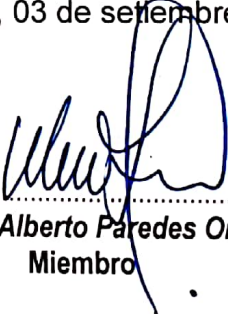
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, se reunieron a las 06:00 p.m. del 31 de agosto de 2018, para calificar la Tesis titulada "EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO POR TORETES DE LA RAZA BRAHMAN BAJO CONDICIONES DE PASTOREO CONTINUO EN PASTO ALEMÁN *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch DURANTE ÉPOCA SECA EN TULUMAYO - CIPTALD" presentada por la Bachiller en Ciencias Pecuarias FRANCISCA NOEMÍ PABLO MERINO.

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas, el Jurado declara **APROBADA LA TESIS** con el calificativo de "EXCELENTE".

En consecuencia, la sustentante queda capacitada para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA ZOOTECNISTA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, y tramitado ante el Consejo Universitario, para la otorgación del título, de conformidad con lo establecido en el Artículo 265°, inciso "b" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 03 de setiembre de 2018.


.....
Ing. M. Sc. Eber Cardenas Rivera
Presidente


.....
Ing. Walter Alberto Paredes Orellana
Miembro


.....
Dr. Jorge Rios Alvarado
Miembro


.....
Ing. M. Sc. Medardo Antonio Díaz Céspedes
Asesor

.....
Ing. M. Sc. José Eduard Hernández Guevara
Asesor Ausente

DEDICATORIA

A **DIOS**: por permitir que existiera y escribir mi propia historia en este mundo maravilloso, por la sabiduría para enfrentar todas las pruebas y circunstancias.

A mis padres: **MOISES PABLO ARRATEA y SEVERINA MERINO UBALDO**, por brindarme una educación de valores con ejemplos y apoyo incondicional

A mis sobrinos **ELMER GERALD URBINO PABLO, JAIR DAIRO PEREZ PABLO** y a mi sobrina **RUTH STEFANI LUNA PABLO** por ser de mis motivaciones.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a las instituciones y personas que han colaborado para la culminación del presente trabajo de investigación:

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Facultad de Zootecnia, mi Alma Mater, por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional.

- A todos los docentes de la Facultad de Zootecnia, por ser forjadores de mi formación profesional.

- A mis asesores: MSc. MEDARDO ANTONIO DÍAZ CÉSPEDES y JOSÉ EDUARD HERNANDEZ GUEVARA por su dedicación y consejos en la ejecución, redacción y sustentación de esta tesis.

- A mis hermanas: ESTER S. PABLO MERINO y MILKA R. PABLO MERINO que de alguna manera han sido participe en la culminación de esta investigación.

- A mis compañeras (os) amigas (os) Luz Maribel, Daylith, Darwuin y Roy.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Importancia del sector ganadero.....	4
2.2. Ganadería y contaminación ambiental.....	4
2.3. Emisión de metano entérico de rumiantes	6
2.4. Factores que afectan la producción de metano entérico	7
2.4.1. Fisiología digestiva de los rumiantes	9
2.4.2. Digestibilidad de vacunos con forrajes.....	11
2.4.3. Pasto alemán y composición química.....	13
2.5. Especies forrajeras y producción de metano entérico	14
2.6. Metodología para medir la emisión de metano entérico.....	15
2.6.1. Técnicas cerradas	15
2.6.2. Técnicas con trazadores.....	16
2.6.3. Ecuaciones de predicción.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Lugar y fecha de ejecución	19
3.2. Tipo de investigación	20
3.3. Animales experimentales.....	20
3.4. Instalaciones, equipos y materiales	21

3.5. Alimentación	21
3.6. Variable independiente	22
3.7. Análisis estadístico	22
3.8. Variable dependiente	22
3.9. Metodología.....	22
3.9.1. Estimación de emisiones de metano (CH ₄).....	22
3.9.2. Tubos de permisión	23
3.9.3. Líneas de flujo	25
3.9.4. Tanques de colección.....	25
3.9.5. Toma de muestra de gases.....	27
3.9.6. Toma de muestra del pasto	28
3.9.7. Análisis de Laboratorio	29
3.9.8. Ecuaciones de cálculo de emisión de metano	30
IV. RESULTADOS.....	33
4.1. Composición química de la pastura tropical.....	33
4.2. Emisión de metano (CH ₄) entérico por toretes.....	34
4.3. Rendimiento de metano por unidad de consumo	35
V. DISCUSIÓN	37
5.1. Composición química del pasto tropical.....	37
5.2. Emisión de metano (CH ₄) entérico de toretes	38
5.3. Rendimiento por unidad de consumo.....	42

VI. CONCLUSIONES	44
VII. RECOMENDACIONES	45
VIII. ABSTRACT	46
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
X. ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Composición química en base seca del pasto alemán Echinochloa polystachya (Kunth) Hitch bajo condiciones de pastoreo continuo con toretes de la raza Brahman durante la época seca.....	33
Cuadro 2. Peso, producción de heces, digestibilidad y consumo por toretes de raza Brahman bajo condiciones de pastoreo del pasto alemán Echinochloa polystachya (Kunth) Hitch durante la época seca.....	34
Cuadro 3. Emisión de metano entérico por animal bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán Echinochloa polystachya (Kunth) Hitch durante la época seca, en Tulumayo – CIPTALD (n =9, promedio \pm desviación estándar).....	35
Cuadro 4. Rendimiento de metano por unidad de consumo de materia seca (MS), materia Orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN) y porcentaje de energía bruta (EB) ingerida por toretes en condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán Echinochloa polystachya (Kunth) Hitch durante la época seca, en Tulumayo – CIPTALD (n=12, promedio \pm desviación estándar).....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Sistema para colección de gases.....	23
Figura 2. Calibración de tubos de permeación de hexafluoruro de azufre (SF ₆).	24
Figura 3. Calibración de líneas de flujo	25
Figura 4. Calibración de tanques de colección tipo yugo.	26
Figura 5. Presurización y limpieza de tanques con nitrógeno.....	26
Figura 6. Sistema de vacío para viales y colecta de gases.	27
Figura 7. Colección de muestra de la pastura.	29

RESUMEN

La investigación se realizó en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo La Divisoria (CIPTALD), de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Tingo María, departamento de Huánuco, con el objetivo de evaluar la emisión de metano entérico por toretes de la raza Brahman bajo condiciones de pastoreo continuo en época seca; donde, se utilizaron catorce toretes machos enteros de raza Brahman con peso vivo de 338 ± 57 kg, pastoreados en 1.5 hectáreas de pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch; el estudio comprendió una etapa pre-experimental de dos meses para la adaptación de los animales a los tanques, jáquimas, líneas de colección, colocación y monitoreo de los tubos de permeación y la etapa experimental de nueve días comprendió la colección de gases y pasto alemán. Los resultados indican que, la composición química y la energía del pasto alemán y pastura total del potrero experimental fue similar; asimismo, se reportó 340.6 kg de peso vivo de los animales, 3.1 kg/día de producción de heces en materia seca (MS), 2.4 kg/día de producción de heces en materia orgánica (MO), 69% de digestibilidad aparente de la MO, 10.1 kg/animal/día de consumo de MS, 7.1 kg/animal/día de consumo de FDN y 395.4 kcal/animal/día de consumo de energía bruta, también se reportó 301.9 g/animal/día de emisión de metano por un peso vivo de 338.1 kg, asimismo, se reportó 30.4 g de producción de metano/kg de MS, 40 g de metano/kg de MO y 43.5 g de metano/kg de FDN. Se concluye que, la composición química en base seca del pasto alemán fue de 87.7% de MS, 12.3% de proteína cruda, 10.8 % de MO, 68.0% de FDN, 36.2% de FDA y 3909.1 kcal/kg de energía bruta; también, la emisión de metano fue de 302 ± 50 g CH₄/día y el factor de conversión de

energía bruta (EB) a metano ($Y_m\%$) de $10.3 \pm 2.1\%$ y el rendimiento de metano por unidad de consumo de materia seca (MS) fue 30.4 ± 6.12 g $\text{CH}_4/\text{Kg MS}$, materia Orgánica (MO) 40.0 ± 7.98 g $\text{CH}_4/\text{Kg MO}$ y fibra detergente neutro (FDN) 43.5 ± 8.75 g $\text{CH}_4/\text{Kg FDN}$.

Palabras clave: Colección de gases, Composición nutricional, Fibra detergente neutro, Materia seca, Energía bruta.

I. INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera han llevado a un aumento de la temperatura atmosférica, acontecimiento conocido como calentamiento global; entre los GEI el metano (CH₄), es uno de los más importantes que se emiten a la atmósfera debido a actividades antropogénicas (GERBER *et al.*, 2013). IPCC (2007) menciona que los tres principales GEI que se emiten a causa de las actividades antropogénicas son CO₂, CH₄ y N₂O, el sector ganadero incide de manera importante en el cambio climático con emisiones estimadas en 7.1 gigatoneladas CO₂-eq por año, dentro de las mismas, el ganado bovino es el responsable de aproximadamente el 15% de su producción global (Mc CAUGHEY *et al.*, 1999 y MOSS *et al.*, 2000).

En el Perú, la información de GEI emitidos por los sistemas ganaderos son escasas y las estimaciones existentes son tomadas de regiones con diferentes realidades (suelo, clima y prácticas de manejo agropecuarios). La necesidad de garantizar la seguridad alimentaria a una población mundial creciente, lleva consigo en el rubro bovino, incrementar la productividad, ya sea para producir leche o carne, situación que conlleva al incremento de las emisiones de metano, siendo un imperativo conocer los factores que están involucrados en su emisión, así como establecer las estrategias de mitigación.

La medición de las emisiones de metano en rumiantes se ha hecho tradicionalmente con cámaras de respiración, las que son muy precisas y confiables. Sin embargo, sus resultados no pueden extrapolarse a animales en pastoreo. Como alternativa, se ha desarrollado la técnica del marcador hexafluoruro de azufre (SF₆) para determinar las emisiones de metano de los rumiantes bajo condiciones de pastoreo (JOHNSON y JOHNSON, 1995). En ese sentido, GRAINGER *et al.* (2007) determinaron emisiones de metano por los rumiantes utilizando cámaras de respiración y la técnica del gas trazador SF₆ de 331 y 322 g CH₄/día, respectivamente.

Los animales alimentados con forrajes tropicales producen más metano (>8%) por unidad de energía bruta consumida con relación a los forrajes de clima templado debido a una mayor proporción de carbohidratos estructurales (CLARK *et al.*, 2005). La emisión de metano entérico por novillos de la raza Nellore alimentados en una pastura de *Brachiaria brizanta* cv. Marandu en condiciones de pastoreo fue de 276 CH₄/día (ESTEVEZ *et al.*, 2010) y 311.0 g CH₄/día (CANESIN, 2009). Asimismo, HUNTER (2007) determinó emisiones de metano entérico por novillos Brahman de 372 g CH₄/día cuando recibieron una dieta de gramíneas tropicales como *Dichanthium aristatum* y *Chloris gayana*.

La presente investigación se plantea con el propósito de determinar ¿Cuánto será la emisión de metano entérico por toretes de raza Brahman bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época seca?, planteándose la hipótesis que la emisión de metano entérico por toretes de la raza Brahman será mayor a 250 g/animal/día y mayor al 8% por unidad de energía bruta consumida, debido a las condiciones

de pastoreo continuo, composición química y consumo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante época seca, en Tulumayo – CIPTALD, planteándose por objetivo lo siguiente:

Objetivo general

- Evaluar la emisión de metano entérico por toretes de la raza Brahman bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante época seca, en Tulumayo – CIPTALD.

Objetivos específicos

- Determinar la composición química y consumo de la materia seca del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch en la época seca, en Tulumayo – CIPTALD.
- Determinar la emisión de metano entérico por animal (g/torete/día) bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época seca, en Tulumayo – CIPTALD.
- Determinar el rendimiento de metano por unidad de consumo de materia seca (CMS), materia Orgánica (CMO), fibra detergente neutro (CFDN) y porcentaje de energía bruta consumido (CEB) por toretes bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante época seca, en Tulumayo – CIPTALD.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del sector ganadero

La producción ganadera suministra un tercio del consumo mundial de proteínas, para el año 2050 se estima una población de 9,100 millones de habitantes, cuya demanda de alimentos implicará un crecimiento del 70% en la producción de estos, para el caso de carne y leche se prevé un incremento de la producción mundial de 50% (FAO, 2013). El sector ganadero representa el 40% del producto interno bruto (PIB) a nivel mundial, genera empleo para mil trescientos millones de personas y medios de subsistencia para mil millones de pobres en todo el mundo (STEINFELD *et al.*, 2006).

2.2. Ganadería y contaminación ambiental

El sector ganadero mundial contribuye con una parte importante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) antropógenas (GERBER *et al.*, 2013; FORSTER *et al.*, 2007). IPCC (2007) menciona que los tres principales GEI que se emiten a causa de las actividades antropogénicas son CO₂, CH₄ y N₂O, el sector ganadero incide de manera importante en el cambio climático con emisiones estimadas en 7.1 gigatoneladas (GT) de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) por año. El metano (CH₄) es el GEI predominante en la actividad ganadera y su potencial de calentamiento global al equivalente en CO₂ es de 1 kg CH₄ = 21 kg CO₂ (IPCC, 2001; REID *et al.*, 2004).

VELLINGA (2008) indica que el ganado vacuno es el principal generador de emisiones del sector pecuario con alrededor de 4.6 gigatoneladas de CO₂-eq, que representan el 65% de las emisiones provenientes de las actividades antropogénicas; el ganado vacuno de carne y de leche genera cantidades similares de emisiones de GEI.

La carne de vacuno es el producto básico con los niveles más altos de emisiones totales y de intensidad de emisiones, contribuye con 2.9 gigatoneladas de CO₂-eq o el 41% de las emisiones totales del sector, mientras que la leche de vaca lo hace con 1.4 gigatoneladas de CO₂-eq o el 20% (GERBER *et al.*, 2013).

GRAINGER y BEAUCHEMIN (2011) mencionan que cuando las emisiones se expresan por unidad de proteínas producida, la carne de vacuno es el producto con la mayor intensidad de emisiones, con un promedio de más de 300 kilogramos de CO₂-eq por kilogramo de proteína; seguida por la carne y leche de los pequeños rumiantes, con promedios de 165 kilogramos y 112 kilogramos de CO₂-eq por kilogramo de proteína, respectivamente. La leche de vaca tiene una intensidad media total de emisiones menor, que se sitúa por debajo de 100 kilogramo de CO₂-eq por kilogramo de proteína comestible (GERBER *et al.*, 2013).

MODERNE *et al.* (2014) argumentan que, para mitigar el cambio climático hay que promover sistemas ganaderos sostenibles que promueva la conservación del suelo y agua, una reducción en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que favorezca la producción agropecuaria.

2.3. Emisión de metano entérico de rumiantes

Los rumiantes contribuyen con aproximadamente 18% a 20% del metano producido anualmente a nivel mundial y es una de las pocas fuentes de metano (CH₄) que pueden ser reducidas a través de apropiadas estrategias alimenticias (GIBBS *et al.*, 1989). McCAUGHEY *et al.* (1999) y MOSS *et al.* (2000) indican que los animales domésticos, principalmente el ganado bovino es responsable de aproximadamente el 15% de la producción de metano global.

FAO (2013) indica que la fermentación entérica es la fuente principal de emisiones provenientes del ganado vacuno y las emisiones de esta fuente ascienden a 1.1 gigatoneladas, que representa el 46% y el 43% del total de las emisiones en las cadenas de suministros de lácteos y carne de vacuno respectivamente. El 33% de las emisiones se producen por fermentación entérica y por el manejo del estiércol (BEAUCHEMIN *et al.*, 2011).

Se considera que en sistemas de producción de alta tecnificación la producción anual de metano en animales adultos está entre 164.38 y 345.20 CH₄ g/día (JOHNSON y JOHNSON, 1995). DE RAMUS *et al.* (2003), igualmente reportan en sus investigaciones, que las emisiones de metano por novillas de carne en pastoreo estuvieron entre 87.67 y 227.39 CH₄ g/día y entre 164.38 y 260.27 CH₄ g/día para vacas adultas, que pastoreaban diferentes tipos de praderas.

El dato más alto en cada tipo de animal corresponde a gramíneas de baja calidad nutricional, con sistemas de pastoreo continuo y baja disponibilidad forrajera, mientras que los datos más bajos corresponden a praderas mejoradas, a sistemas de pastoreo rotacional, fertilización y con alta disponibilidad de forraje.

ALGUERRE *et al.* (2011) trabajando con animales de la raza Holandesa confinados, recibiendo dieta formulada a base de silaje de maíz y sorgo, encontraron el valor de 586 CH₄ g/día, pudiendo estar relacionado al mayor contenido de FDN (72%) de la dieta, raza y categoría animal utilizados por ellos.

MOSCOSO *et al.* (2017) la emisión de metano en 14 vacas (Brown Swiss x criollo) en producción con una edad de 9 años y peso promedio de 460 ± 43 kg, con alimentación al pastoreo en pastizal natural suplementadas con ensilado fue de 421.70 CH₄ g/día, superior a las emisiones producidos por bovinos suplementados con taninos condensados (330.56 ± 66.65 g/día), este estudio se realizó en la época seca donde los pastos se encuentran en estado de senescencia con elevados niveles de fibra y con una disponibilidad forrajera de 3546 kg materia seca (MS)/ha.

Estudios realizados por ESTEVES *et al.* (2010), utilizando bovinos en pastoreo de la raza Nelore y cruzado Nelore x Angus, Nelore x Canchim y Canchim, cruzados (Nelore x Canchim y Angus), mostraron que la emisión de metano fue 276 g CH₄/día. En sistemas de pastoreo rotacional en *Bracharia decumbens*, obtuvieron 147 g CH₄/día de emisión de metano.

2.4. Factores que afectan la producción de metano entérico

La emisión de metano (CH₄) depende de factores intrínsecos del animal (fisiología digestiva, peso, edad, especie y estado fisiológico), así como extrínsecos relacionados con el alimento (composición e ingestión). Por estas razones, los rumiantes producen y emiten cantidades significativamente mayores de CH₄, por su parte, los animales más jóvenes presentan tasas de conversión

de CH₄ menores que los animales adultos, debido fundamentalmente al menor número y actividad de microorganismos ruminales encargados de la fermentación (MOSS *et al.*, 2000).

En cuanto a los factores relacionados con el alimento, la producción de metano (CH₄) depende de la cantidad y calidad del mismo, generalmente la cantidad de CH₄ liberada aumenta con la cantidad de alimento ingerido, existe una estrecha relación con la cantidad de alimento y la digestibilidad de la dieta, presentándose una mayor producción de CH₄ en dietas de baja digestibilidad a un nivel de consumo de mantenimiento, por el contrario dietas con alta digestibilidad y un consumo tres veces mayor al de mantenimiento disminuyó la producción de CH₄ (30%) (BLAXTER y CLAPPERTON, 1965).

HINDRICHSEN *et al.* (2006) manifiestan que la proporción de energía bruta (EB) que se pierde en forma de CH₄ está más afectada por la composición del alimento que por la cantidad. HARPER *et al.* (1999) observaron que los bovinos en pasturas tropicales emitieron mayor cantidad de metano en época seca siendo la conversión de 10.07% de energía bruta en CH₄ bajo condiciones de pastoreo.

El CH₄ es producto de la fermentación anaeróbica de los alimentos a nivel ruminal y puede representar una pérdida de 2% a 12% de la energía bruta consumida (JHONSON y JHONSON, 1995). La producción de metano en los bovinos, normalmente representa entre 5.5% a 6.5% del total de energía consumida en la dieta; sin embargo, valores entre 2% a 12% se reportan en condiciones de pastoreo en zonas tropicales. Pero cuando la alimentación es con

forrajes de baja calidad nutritiva, la producción de metano puede representar entre el 15% a 18% de la energía digestible (MONTENEGRO y ABARCA, 2000).

BRANINE y JOHNSON (1990) manifiestan que la producción de metano a partir de una dieta con alto concentrado de granos representa del 1.9% a 2.2% y del 8.2% en pastoreo, confirmando que el suministro de alimento concentrado para rumiantes mejora el aprovechamiento de nutrientes por la alta digestibilidad y rápida fermentación en el rumen, permitiendo eficiencia y menor producción de metano. La utilización de altos niveles de alimento concentrado, permite la reducción del 2% de la emisión de gases contribuyentes al efecto invernadero, principalmente por la reducción de la producción de metano entérico (BEAUCHEMIN, 2011).

2.4.1. Fisiología digestiva de los rumiantes

El aparato digestivo de los rumiantes tiene tres pre-estómagos que sirven para digerir la fibra y parte de la proteína del alimento, un verdadero estómago (abomaso o cuajar) donde se segrega el jugo gástrico. El 60% a 65% de la digestión de los nutrientes tiene lugar en el rumen, alrededor del 30% en el intestino delgado y el 5% a 10% en el intestino grueso, de la fermentación en el rumen los microorganismos obtienen la energía necesaria para sus funciones vitales y el animal accede a una parte del alimento (Ejemplo ácidos grasos volátiles, AGV - acetato, propionato y butirato) que de otra forma le resultaría indigestible (DE BLAS *et al.*, 2008).

Además, la generación de metano está relacionada con la proporción de propionato y acetato presente en el rumen, donde a mayor concentración de acetato mayor es la producción de metano e inversamente

(MOSS *et al.*, 2000). De esta forma, por cada molécula de glucosa (que tiene 6 C) se puede generar 2 acetatos o 2 propionatos o 1 butirato (CHURCH, 1990).

Esto implica que en la formación de acetato y butirato se liberan H₂ que promueven la producción de CH₄, mientras que la formación de propionato implica captura de H₂, por lo que puede ser considerada como una forma competitiva en el uso del H₂ (MOSS *et al.*, 2000). Entonces, la importancia de la metanogénesis radica en que, la formación de CH₄ es la principal vía para la remoción del H₂ generado durante la producción de ATP por los microorganismos anaeróbicos del rumen (MARTIN *et al.*, 2009).

MUÑOZ (1990) menciona que el rumen como medio de cultivo es una cámara de fermentación anaeróbica, con pH (5.5 a 7.0), temperatura de 39 a 40 °C y la atmosfera ruminal está compuesta de bióxido de carbono (60% a 70%), metano (30% a 40%), nitrógeno (7%), oxígeno (0.6%), hidrógeno (0.2%) y ácido sulfhídrico (0.01%). La producción de metano en el rumen ocurre a través de un proceso fermentativo, el cual es llevado a cabo por bacterias metanogénicas en condiciones anaeróbicas, pertenecientes al dominio *archaea* (*Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicicum* y *Methanomicrobium mobile*).

McCAUGHEY *et al.* (1999) reportan que el 87% de la producción de metano se da en el rumen y 13% en el tracto digestivo posterior. De este último, aproximadamente el 89% es absorbido hacia la sangre y expirado a través de los pulmones. Esto indica que cerca del 98% del total de metano producido por los rumiantes puede ser expirado a través de la boca y los orificios nasales.

2.4.2. Digestibilidad de vacunos con forrajes

Diversos estudios han mostrado que cuando los animales consumen forraje de alta digestibilidad producen menos metano (CH_4) por unidad de producto terminado (leche, carne, etc.) que animales consumiendo forrajes de baja digestibilidad (BLAXTER y CLAPPERTON, 1965). Esto es debido a que alimentos con tasas lentas de degradación producen más CH_4 que aquellos que se fermentan a tasas más rápidas (McCRABB, 2002).

La emisión de metano por vacas Brahman con dietas en base a Angleton (*Dicanthium aristatum*), Rhodes (*Chloris gayana*) y dieta alto en granos fueron de 257, 113 y 160 CH_4 g/día respectivamente y la tasa de conversión de CH_4 (Mj CH_4 producido por 100 Mj de ingesta de energía bruta) no fue significativamente diferente (KURIHARA *et al.*, 1998).

BUDDLE *et al.* (2011) reportan que el consumo de materia seca (MS) es el principal factor que influye sobre la producción de CH_4 entérico. El aumento en el consumo de MS se relaciona con una mayor tasa de paso y la disminución en la degradabilidad de la dieta, lo que resulta en una menor producción de metano (PINARES *et al.*, 2003). La mayoría de los rumiantes dependen del consumo de forraje que muchas veces es pobre en calidad limitando la disponibilidad de proteína microbial y energía e incrementado la emisión de metano (LENG, 1993).

La emisión de CH_4 por unidad de CMS fue 26% menor en la época lluvia para animales en confinamiento; asimismo, por consumo de FDN (CH_4/CFDN , 22.93 g/kg), consumo de energía bruta (CH_4/CEB 3.75%) DEMARCHI *et al.* (2003). Durante la evaluación en verano existe mayor emisión

de CH₄/CMS (46.7g/kg) en bovinos que en las demás estaciones, (35.3 g/kg CMO) y (39.7 g/kg CFDN), el autor atribuyó estas diferencias al menor contenido de FDN en la época lluvia y la alta digestibilidad de los componentes de la fibra en el verano.

PRIMAVESI *et al.* (2003) compararon las emisiones de metano provenientes de animales en pastoreo que recibieron suplementación de caña de azúcar con mayor y menor contenido de fibra detergente neutro, reportando un 30% menos metano por unidad de peso vivo en aquellas dietas más ricas en carbohidratos no estructurales. La alimentación de forrajes con mayor concentración de azúcares o proteína disminuye hasta en un 13% la producción de metano por unidad de producto (ELLIS *et al.*, 2012).

ALGUERRE *et al.* (2011) trabajando con vacas holandesas a las cuales se suministró diferentes proporciones de forraje y concentrado, observaron aumento en la emisión de CH₄ g/día y CH₄ g/kg de materia seca consumida, como consecuencia del aumento de FDN consumido. RAMÍREZ *et al.* (2015) estudiaron este factor con vacunos de amplias diferencias de edad (< 1año y > 6 años de edad) encontraron que la emisión de vaquillas y vacas es 24.5 ± 0.42 y 23.8 ± 0.43 g CH₄/ Kg CMS respectivamente concluyendo que la edad no afecta significativamente en la emisión de metano por unidad de consumo.

CLARK *et al.* (2005) sugieren que a pesar de que no se encuentren diferencias significativas en la producción de metano por unidad de MS consumida entre forrajes jóvenes y maduros, podría ser menor la producción de metano por unidad de producto animal en forrajes tiernos debido a un

aumento de la productividad animal. Mientras que MARTIN *et al.* (2009) indican que la menor producción de metano en forrajes más tiernos podría estar asociada a una mayor concentración de ácido linolénico, azúcares solubles y una mayor tasa de paso. Los forrajes maduros tienen una mayor concentración de carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa y pectinas) que componen las paredes celulares (SUN *et al.*, 2011) que ha sido relacionada directamente con una mayor producción de metano.

ARCHIMEDE *et al.* (2011) realizaron un análisis sobre producción de metano de bovinos consumiendo forrajes, poniendo en evidencia que la mayor parte de la variación en el rendimiento de metano expresado por unidad de consumo, puede ser atribuida a la digestibilidad de la dieta, el contenido de FDN del forraje y el nivel de consumo de los animales.

2.4.3. Pasto alemán y composición química

El pasto alemán, es originario del África (HARVARD, 1969), es una gramínea perenne decumbente, macolladora con estolones largos y de consistencia suave; hojas largas y angostas. El contenido nutricional del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch, al 100% en base seca, materia orgánica, ceniza, fibra cruda, proteína y la energía digestible para vacunos es 88.50%, 11.50%, 35.60%, 8.30% y 2320.00 kcal/kg respectivamente (Mc DOWELL, 1974).

CROWDER (1960) menciona que el contenido de proteína del pasto alemán a los 40 días es alrededor de 10% a 13%, disminuyendo a medida que avanza en edad. PAZ (2012) y MORALES *et al.* (2016) determinaron un 10% y 10.8 % de proteína cruda en base seca y 3778.12 kcal/kg, CANUDAS (2009)

en una investigación que realizó en época seca obtuvo un 13% de proteína cruda en el pasto alemán bajo un sistema de riego y fertilización.

MANRIQUE (1993) en estudios realizados en la evaluación del pasto alemán cultivado en suelo arcilloso bajo cuatro frecuencias de corte a los 21, 35, 49 y 63 días, presentan diferencias altamente significativas en materia seca (15.9%, 23.1%, 32.0% y 31.8%), proteína bruta (13.0%, 9.5%, 7.1% y 5.2%). VAN SOEST (1982) manifiesta que a medida que aumenta la edad en el pasto se incrementa el contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, componentes de la fibra detergente neutra.

2.5. Especies forrajeras y producción de metano entérico

MAYNARD (1981) sostiene que la maduración es más rápida en forrajes de climas tropicales, que tienden a ser de más baja calidad a diferencia de climas templados, siendo más alto en el contenido de lignina y sílice en las paredes celulares. MIERES *et al.* (2002) encontraron que el uso de pasturas nativas producía mayores cantidades de metano por unidad de MS consumida que una pastura mejorada o introducida. Otros autores sugieren que en animales alimentados con forrajes tropicales produce más metano (>8%) por unidad de energía bruta consumida que con aquéllos de zonas templadas (7%) debido a una mayor proporción de carbohidratos estructurales (CLARK *et al.*, 2005).

HUNTER (2007) determinó que la producción de metano en novillos Brahman que recibieron una dieta de gramíneas tropicales como *Dichanthium aristatum* y *Chloris gayana* suplementado con alfalfa (*Medicago sativa*) es de 372 y 364 g/día respectivamente. BELEOSOFF (2013) en la evaluación de producción de gases totales y metano en pasto Tanzania, observó que cuando

el pasto alcanza su mejor condición bromatológica, o sea, menor fibrosidad, esa emisión se vuelve menor.

CANESIN (2009) en novillos machos castrados de la raza Nelore con peso promedio de 338 kg alimentados con *Brachiaria brizanta* cv. Marandu y utilizando la técnica del gas trazador SF₆ como marcador encontró las siguientes emisiones de metano entérico 311.0 g CH₄/día, 36.3 g CH₄/Kg MSI, 38.2 g CH₄/Kg MOI, 42.9 g CH₄/Kg FDNI y 12.3 g CH₄/% EBI. GRAINGER *et al.* (2007) indican que la emisión de metano de vacas holandesas alimentadas con azevén, utilizando cámaras respirométricas y la técnica del gas trazador SF₆ fue de 331 y 322 g CH₄/día por vaca, respectivamente, no se observaron diferencias entre las técnicas.

2.6. Metodología para medir la emisión de metano entérico

2.6.1. Técnicas cerradas

Las técnicas calorimétricas de respiración, como las cámaras
Las técnicas calorimétricas de respiración, como las cámaras cerradas, cajas en la cabeza o capuchas ventiladas y máscaras faciales han sido usadas con efectividad para la determinación de emisiones de metano (DE RAMUS *et al.*, 2003), estas emisiones son determinadas por la medición del flujo total de aire por el sistema y la diferencia en la concentración entre el aire inspirado y espirado. En las cámaras, la mayor ventaja radica en las mediciones de metano tanto proveniente de la fermentación ruminal como de la fermentación del tracto posterior. La desventaja de esta técnica involucra los costos de construcción y de mantenimiento, restricción de movimiento de los animales y la alta mano de obra.

2.6.2. Técnicas con trazadores

Las técnicas con trazadores no isótopos también son útiles en la medición de producción de este gas. Un ejemplo de estas técnicas es el hexafluorosulfuroso (SF_6) un gas trazador inerte colocado en el rumen, que fue desarrollada por JOHNSON y JOHNSON (1995). Todas estas técnicas tienen la ventaja que no limita al animal en su comportamiento normal en pastoreo, respecto a esta técnica McCAUGHEY *et al.* (1999) y DE RAMUS *et al.* (2003), reportan que puede determinar del 93 a 98% del total de metano producido, comparado con las cámaras de respiración.

El desarrollo de esta técnica se fundamenta en el conocimiento de que el 99% de la producción total de CH_4 es exhalado por boca y nariz (83% por eructación y 16% por exhalación). Para ello, se introduce en el rumen del animal una cápsula conteniendo SF_6 , con una tasa de liberación conocida.

El trazador se acumula en el rumen, y es posteriormente liberado por eructos junto con el CH_4 . Si se conoce la cantidad total de trazador liberado en el lapso de recolección de la muestra, multiplicando esta cantidad por la razón de las concentraciones CH_4/SF_6 , se obtiene la emisión de CH_4 JOHNSON y JOHNSON (1995).

DE RAMUS *et al.* (2003) señalan que esta técnica es sencilla, en la cual muestras de gas eructado son continuamente obtenidas a través de un tubo capilar, conectado a un colector localizado en el cuello del animal. Luego de la recolección de las muestras el colector es presurizado con nitrógeno (N_2) y con cromatografía de gases se determina el metano y el SF_6 .

2.6.3. Ecuaciones de predicción

IPCC (2007) indica que las pérdidas se expresan normalmente como fracción de la EB y a este término se le conoce como Ym. Además, el valor de Ym depende de la calidad y la digestibilidad de las distintas dietas, dada la relación negativa que existe entre el Ym y la digestibilidad, se asume que a medida que aumenta la digestibilidad disminuye el Ym (Los valores de Ym que se encuentran en la bibliografía varían entre el 2% y el 12% de la energía ingerida para distintas dietas).

El IPCC (2006) propone unos valores de Ym para el ganado bovino que se encuentran entre el 2% y 7.5%, correspondientes a digestibilidades entre 45% y 85%, dependiendo del tipo de alimento, lo que se resuelve planteando distintos tramos de digestibilidad para los forrajes (45% a 55%) los pastos (55% a 75%) y los alimentos concentrados (75% a 85%). En tal sentido propone las siguientes ecuaciones de estimación de Ym.

Ecuación 1:

$$Ym = -0.0038 * DE^2 + 0.3501 * DE - 0.8111$$

Donde:

Ym = Factor de conversión de CH₄, expresado como la fracción de la EB del alimento que se transforma en CH₄.

DE = Digestibilidad de la energía (% EB).

Ecuación 2:

$$FE = \frac{EB \text{ Mj/d} * Ym * 365 \text{ días/año}}{55.65 \text{ Mj/KgCH}_4}$$

Donde:

FE : Factor de emision de CH₄ (Kg CH₄/ cabeza/ año).

EB : Energia bruta ingerida (Mj/cabeza)

Y_m : Factor de conversion de CH₄, expresado como la fraccion de la EB del alimento que se transforma en metano. El factor 55.65 (Mj/kg/CH₄) es el contenido de energía del metano (IPCC, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y fecha de ejecución

El estudio se realizó en el centro de investigación y producción Tulumayo anexo la divisoria (CIPTALD), ubicado a 26 km de la ciudad de Tingo María, en la margen derecha de la carretera marginal de selva, Tingo María – Aucayacu, caserío de santa lucia, distrito de José creso y castillo, provincia Leoncio Prado y departamento Huánuco.

La ubicación geográfica corresponde a: Latitud sur 09°17'08', Longitud Oeste 75°59'72'' con una altitud de 540 m.s.n.m., humedad relativa 83%, velocidad de viento en época seca 1076, temperatura promedio anual es de 23.8°C, siendo la mínima 18.6 °C y 30.9 °C la máxima, precipitación pluvial varía entre 2193 a 3760 mm anual, corresponde una zona de vida Bosque muy húmedo Pre-montano Tropical (bmh-PT) (SENAMHI, 2017).

El presente estudio comprendió una etapa pre-experimental de dos meses desde la elección y adaptación de los animales, colocación de tanques, jáquimas y líneas de colección, así como para la colocación y monitoreo de los tubos de permeación. La etapa experimental (9 días) comprendió la colección de gases y la colección del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch (10 días).

El análisis químico nutricional fue realizado en tres laboratorios. El contenido de materia seca (MS), proteína bruta (PB) y ceniza (Cz), fue realizado en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) situado en la ciudad de Tingo María, distrito Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

El análisis del contenido de Fibra Detergente Neutra (FDN), Fibra Detergente Acida (FDA) se analizó en el Laboratorio de Fibras y la energía bruta (EB), fue analizado en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) y la cuantificación de la concentración de CH₄ y SF₆ se llevó a cabo en Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM – LIMA).

El presente trabajo se desarrolló entre los meses de julio a diciembre del 2017.

3.2. Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación descriptivo.

3.3. Animales experimentales

Se utilizaron catorce (14) toretes machos enteros de raza Brahman, siendo 12 animales experimentales y dos animales para ambiente con peso de 338 ± 57 kg peso vivo, procedentes del Centro de Investigación y Producción Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS); estos recibieron condiciones de manejo homogéneo de adaptación, desparasitación y aplicación de vitaminas antes de los días experimentales. El pesaje de los animales se realizó con cinta bovinométrica.

3.4. Instalaciones, equipos y materiales

Se utilizó un área total de 1.5 hectárea destinada para pastoreo con sembrío predominante del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch y proporciones pequeñas de pasto natural con leguminosas, el potrero fue establecida hace 15 años aproximadamente cercado con postes de madera, alambres de púa y grapas de acero. Por otra parte, se utilizó un establo construido con tubos de fierros, columnas de concreto y techo de eternit, en el cual se contó con manga tipo embudo, guillotina hechas a base de madera, comedero y bebedero hechas de cemento, donde se realizaron las labores diarias de manejo.

Los materiales y equipos utilizados para colección de gases fueron: Arete, jáquima, lanza bolo, tuvo de permeación, tanques de colección de policloruro de vinilo (PVC) tipo yugo, línea de flujo, viales, jeringa, aguja, tijera, rafia, cinta aislante, pegamento silicona, cromatógrafo, tanque cargado de nitrógeno y marcadores.

Materiales y equipos utilizados para muestra de pasto: Marco de metro cuadrado, tijera podadora, plástico, costales, bolsas de papel, cuaderno de campo, lapiceros y cámara fotográfica.

3.5. Alimentación

Los toretes en evaluación fueron sometidos al pastoreo continuo en un sistema extensivo con predominancia del pasto *Echinochloa polystachya* y suplemento mineral durante 10 días en el potrero con una disponibilidad forrajera de 3908.27 kg materia seca (MS)/ha donde se llevó a cabo la investigación.

3.6. Variable independiente

- Pasto alemán *Echinochloa polystachya*
- Tasa de liberación de SF₆ de la cápsula

3.7. Análisis estadístico

Todas las mediciones realizadas en los toretes y pastura fueron analizadas e interpretadas utilizando estadística descriptiva, tales como: promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

3.8. Variable dependiente

- Producción de metano:
Emisión de metano por animal (g/torete/día)
- Rendimiento de metano:
Por unidad de MS Consumida (g/kg MS consumida).
Por unidad de MO Consumida (g/kg MO consumida).
Por unidad de FDN Consumida (g/kg FDN consumida).
Por porcentaje de energía bruta ingerida (Y_m).

3.9. Metodología

3.9.1. Estimación de emisiones de metano (CH₄)

Se utilizó un trazador para estimar las emisiones de CH₄ entérico de cada individuo. Para esto, se insertó vía oral una capsula calibrada de hexafluoruro de azufre (SF₆) dentro del retículo-rumen. Se registró por varios días las alícuotas de gases eructados y respirados por cada animal y posteriormente se hizo el análisis de las concentraciones de CH₄ y SF₆ en las

muestras colectadas para obtener un resultado a través de ecuaciones de cálculos. Para el muestreo de gases se utilizaron tanques de colección tipo yugo de policloruro de vinilo (PVC) de forma cilíndrica (2 L de capacidad) y reguladores de flujo de gas contruidos usando capilares previamente evaluados y calibrados para proveer un flujo inicial de 0.74 a 0.75 cc/min que fueron colocados al inicio del filtro de humedad. Los animales fueron provistos con jáquima; para albergar la línea de colección de muestra, así como para cargar los tanques de colección de gas (un tanque por animal) (Figura 1).



Figura 1. Sistema para colección de gases.

3.9.2. Tubos de permisión

Las cápsulas emisoras de SF₆ fueron elaboradas por la Universidad de Saskatchewan (Department of Animal and Poultry Science, Canadá). Las mismas consisten en una barra de bronce que posee una cavidad en la que contiene el SF₆ y está cerrada mediante una membrana de teflón (mecánicamente sostenida por una microgrilla de acero inoxidable) (Johnson *et al.*, 2003).

Para conocer la tasa de liberación se realizó una calibración con 8 semanas previas a la toma de muestra. La sensibilidad de la balanza fue de 0.0001g. Se elaboró una ecuación de regresión con un R^2 de 99.9% con las pérdidas de peso para estimar la tasa de liberación en los días de toma de muestra. Las capsulas de SF_6 fueron calibrados por 56 días mantenidos en una estufa de aire forzado a 39 °C, velocidad del aire circulante de 10 cc/min (Figura 2), realizándose el pesaje cada tres días a la misma hora y los valores obtenidos se ajustaron mediante regresión lineal (masa vs. tiempo).



Figura 2. Calibración de tubos de permeación de hexafluoruro de azufre (SF_6).

Una semana antes de comenzar el experimento y con efectos de procurar una estabilización de la concentración de SF_6 en el rumen, los tubos de SF_6 (calibrados) fueron colocados en el rumen de cada animal 7 días antes de iniciar los muestreos de acuerdo con JOHNSON y JOHNSON (1995) y DEIGHTON *et al.* (2014), con tasa de permeación previamente calibrada en mg/d (tasa de permeación máxima: 6.5948 mg/d, mínima: 5.1050 mg/d y $r^2= 0.9998$), utilizando una lanza bolo ruminal.

3.9.3. Líneas de flujo

La línea de muestreo de gases fue construida usando una manguera de nylon de 1/8" de diámetro, cuyo extremo inicial tenía un filtro de humedad (Swagelok) unido a un conector «Y» (inlet) de plástico que servía de entrada de los gases. En el otro extremo de la línea de colección se colocó un conector macho (Swagelok) para una conexión rápida al cilindro de colección. Durante el experimento la línea de muestreo estuvo protegida por cinta aislante para evitar condensación de la humedad en su interior y el efecto de la radiación solar (Figura 3). Luego de las evaluaciones previas al experimento el porcentaje de flujo de líneas fue no menor del 20% ni mayor de 50% (promedio 35.90%).



Figura 3. Calibración de líneas de flujo

3.9.4. Tanques de colección

La calibración de tanques de colección tipo yugo y de líneas de flujo se realizó 10 días antes de la etapa experimental y estas fueron evaluadas por 3 días consecutivos/24 h con un sistema de vacío y presurización para obtener la presión inicial y presión final, luego los valores obtenidos se ajustaron a un porcentaje de flujo de tanques menor a 3% (Figura 4).



Figura 4. Calibración de tanques de colección tipo yugo.

Durante el experimento, al final de la colección se evaluaron la presión de los tanques, descartándose aquellos tanques (muestras) que tenían presión anómala. Una vez realizado el análisis de gases, los tanques fueron limpiados con nitrógeno y llevados a presión negativa (932.26 mbar) 24 h antes de ser utilizados nuevamente (Figura 5).



Figura 5. Presurización y limpieza de tanques con nitrógeno.

3.9.5. Toma de muestra de gases

El muestreo fue continuo desde las 12:00 pm hasta el día siguiente, realizándose el retiro y remplazo de los tanques cada 24 h con un periodo efectivo de colección de 22 h. El periodo de muestreo de gases duró 9 días. Se registró la presión inicial y final de los tanques, los cuales fueron inmediatamente presurizados con nitrógeno (1010 mbar) por 3 h para asegurar una mezcla de gases, antes de coleccionar 2 muestras por tanque o canister en los viales que previamente se les ha generado vacío, para su envío y posterior análisis en el laboratorio (Figura 6). Entre muestra y muestra por cada canister se hizo la limpieza de la jeringa 2 veces con la eliminación del gas succionado desde el canister. En este mismo procedimiento fue realizado para los blancos (CH_4 ambiental).



Figura 6. Sistema de vacío para viales y colecta de gases.

La concentración de gases (SF_6 y CH_4) en el aire fueron colectados usando animales que no tenían fuente de SF_6 y las muestras se colectaron usando tanques de colección, pero con el «inlet» posicionado en el flanco izquierdo del animal.

3.9.6. Toma de muestra del pasto

Para la evaluación de la pastura con predominancia del pasto *Echinochloa polystachya* se utilizó el método de corte y separación manual por especies, partes y usando la técnica de zigzag y puntos de corte o núcleos (MELGAREJO, 2017), para lo cual se utilizó un cuadrante metálico de metro cuadrado (HARGREAVERS y KERR, 1992, MENDOZA y LASCANO, 1986).

Las muestras fueron cortadas pre-pastoreo, durante el pastoreo y post-pastoreo a 5 cm de la superficie del suelo, utilizando una tijera podadora de forraje a intervalos de 20 metros sobre los transeptos generados sistemáticamente con la técnica de zigzag, evitando la contaminación de las mismas con partículas de suelo, obteniendo de tal manera 10 muestras por hectárea.

Antes del corte se excluyeron del cuadrante los pastos que quedaron fuera y se metieron todas aquellas que su base estuvo dentro del cuadrante (todo fuera, todo dentro).

Posteriormente las 10 muestras por día fueron juntadas y mezcladas en una muestra compuesta, del cual se tomaron 2 sub-muestras de 1 kg, una de ellas fue separada de la maleza y la otra sub-muestra fue separada en pasto alemán (hoja, tallo y senescente), pasto natural y leguminosa, para luego ser pesados y colocados en una bolsa de papel, rotulados y secados en una estufa de aire circulante a 60 °C por 48 horas (Figura 7).



Figura 7. Colección de muestra de la pastura.

3.9.7. Análisis de laboratorio

La concentración de CH_4 (ppm) y SF_6 (ppt) de los viales fue determinada por cromatografía gaseosa, mediante la inyección manual de las muestras (0.6 ml) a un cromatógrafo de gases modelo 7890B, marca Agilent technologies. La temperatura del inyector fue de 200°C con una presión de 11.2 psi y un flujo de 8.12 ml/min. La temperatura del horno fue de 30°C con un tiempo de espera de 4.5 min. Se utilizó una única columna de sílice para hidrocarburos ligeros y gases azufrados, GS-GasPro marca Agilent technologies de 30 m y diámetro interno de 0.32 mm.

La medición de CH_4 se realizó con un detector de ionización de flama (FID) de la marca Agilent technologies, con una sensibilidad ≤ 1.4 pico gramos. La temperatura del detector fue de 250°C utilizándose helio como gas portador (10 ml/min), hidrógeno como gas combustible (40 ml/min) y aire como gas oxidante (350 ml/min). La medición de SF_6 se realizó con un micro detector de captura de electrones (ECD) de la marca Agilent technologies. La temperatura del detector fue de 200°C empleándose nitrógeno como gas portador (30 ml/min).

Asimismo, se realizó la calibración con un estándar (Scott-Marrin Inc.) de concentración conocida, 48.7 ppm de CH₄ y 237.9 ppt de SF₆. Las verificaciones de rutina se realizaron con el estándar al empezar y al finalizar las lecturas incluidas los blancos.

Las muestras de forraje fueron sometidas a los respectivos análisis en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia – Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), según la metodología de la AOAC (1990). La energía bruta fue analizada en el Laboratorio de evaluación nutricional de alimentos (LENA), de la Facultad de Zootecnia – UNALM, por la bomba de calorimetría adiabática (Parr Instrument Company 6300, Illinois, EE. UU).

Para el análisis de materia seca de los forrajes se usó el método gravimétrico, mediante secado en estufa (Binder FED-720) a 105 °C durante 24 h; la materia orgánica se determinó por calcinación en un mufla (Nabertherm B-150) a 600 °C durante 6 h; la determinación de energía bruta se realizó en una bomba calorimétrica (Parr, 6400); el análisis de nitrógeno se realizó en un analizador elemental (Perkin Elmer, 2400, serie II), siendo las condiciones de temperatura de combustión, reducción y del horno de 950, 640 y 82 °C, respectivamente (AOAC ,1990).

3.9.8. Ecuaciones de cálculo de emisión de metano

Las concentraciones de CH₄ y SF₆ se determinaron por cromatografía de gases. La tasa de emisión de CH₄ se calculó mediante la relación de CH₄ y SF₆ en la muestra multiplicado por la tasa de liberación de los

tubos de permeación (SF_6) todo corregido por los pesos moleculares según la siguiente formula:

Ecuación 1:

$$CH_4 \left(\frac{g}{d} \right) = TP SF_6 \left(\frac{g}{d} \right) * \frac{[CH_4]}{[SF_6]}$$

Dónde:

TP SF_6 : Tasa de liberación de SF_6 de la cápsula

[CH_4]: Concentración de metano en ppm por encima de las concentraciones atmosféricas.

[SF_6]: Concentración de hexafluoruro de azufre en ppt por encima de las concentraciones atmosféricas.

Además, se corrigieron las concentraciones de CH_4 y SF_6 con las presiones después de la toma de muestra y luego de presurizar con Nitrógeno (N_2) de acuerdo con las modificaciones a la metodología propuesta por DEIGHTON *et al.* (2014).

Ecuación 2:

$$[Gas\ c] = [Gas\ crom] \frac{P3}{P2 - P1}$$

Donde:

[*Gas c*]: Concentración de CH_4 y SF_6 corregida

[*Gas crom*]: Concentración de CH_4 y SF_6 proveniente del cromatógrafo

P1: Presión diferencial antes de la colección.

P2: Presión diferencial luego de la colección.

P3: Presión diferencial luego de presurizar con N_2 .

Para el rendimiento de metano por unidad de consumo:

Con la finalidad de expresar el metano por unidad de consumo (Anexo 2), se estimó el consumo de materia seca (CMS) y consumo materia orgánica (CMO) a partir de la producción de heces con el uso de dos marcadores: dióxido de titanio (TiO₂) y óxido crómico (Cr₂O₃), utilizando la misma metodología presentada por ATANACIO (2018).

La estimación de la digestibilidad de la materia orgánica partir de la concentración de N₂ fecal con el modelo no lineal propuesto por LUCAS *et al.* (2005) recomendada por (JUAREZ, 2018) concluyendo que es el modelo adecuado para nuestras condiciones de selva, quien presento mejor estimación de digestibilidad aparente de la materia orgánica del pasto alemán.

Para determinar el consumo de fibra detergente neutra (FDN) y energía bruta (EB), se realizó un cálculo a partir del consumo de materia seca por cada torete multiplicando por la composición química de la pastura (contenido de FDN y EB en la pastura en base seca).

- Materia seca consumida (g/kg MS consumida)

$$CH_4CMS = \frac{CH_4 \text{ g}}{\text{Kg CMS}}$$

- Materia orgánica consumida (g/kg MO consumida)

$$CH_4CMO = \frac{CH_4 \text{ g}}{\text{Kg CMO}}$$

- Fibra detergente neutra consumida (g/kg FDN consumida)

$$CH_4CFDN = \frac{CH_4 \text{ g}}{(\text{CMS} * \%FDN)/100}$$

- Energía bruta (EB) ingerida en porcentaje (%Ym)

$$CH_4 Ym(\%) = \frac{CH_4 \text{ g} * 55.56}{(\text{MSC} * (\text{EB} * 4.185))} * 100$$

IV. RESULTADOS

4.1. Composición química de la pastura tropical

Cuadro 1. Composición química en base seca del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch bajo condiciones de pastoreo continuo con toretes de la raza Brahman durante la época seca

Composición química		
Nutrientes y Energía	Pasto Alemán <i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitch	Pastura total (P. alemán + P. Natural + Leguminosa)
M.O. (%)	87.7 ± 0.36	87.9 ± 0.36
Cz (%)	12.3 ± 0.36	12.1 ± 0.36
P.C. (%)	10.8 ± 0.97	11.0 ± 1.13
F.D.N. (%)	68.0 ± 1.00	69.9 ± 2.15
F.D.A. (%)	36.2 ± 0.76	38.2 ± 1.56
EB (Kcal/kg)	3909.1 ± 27.0	3920.6 ± 25.5

M.O.: Materia orgánica, CZ: Ceniza, P.C.: Proteína cruda, F.D.N.: Fibra detergente neutra, F.D.A.: Fibra detergente ácida y EB: energía bruta.

Cuadro 2. Peso, producción de heces, digestibilidad y consumo por toretes de raza Brahman bajo condiciones de pastoreo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época seca

	PROMEDIO	SD	% CV
PV (kg)	340.6	52.6	15.4
PHMS (kg/día)	3.1	0.5	15.7
PHMO (kg/día)	2.4	0.4	15.8
DAMO (%)	69.0	0.0	2.1
CMS(kg/animal/día)	10.1	1.7	16.7
CMS(%PV)	3.0	0.5	15.9
CMO(kg/animal/día)	7.7	1.3	16.9
CFDN (kg/animal/día)	7.1	1.2	16.7
CEB (Kcal/animal/día)	395.4	66.1	16.7

P.V: Peso vivo promedio de 12 animales. PHMS: Producción de heces en materia seca, PHMO: producción de heces en materia orgánica, DAMO: digestibilidad aparente de la materia orgánica, CMS: consumo de materia seca, CMO: consumo de materia orgánica, CFDN consumo de fibra detergente neutra, CEB consumo de energía bruta.

4.2. Emisión de metano (CH₄) entérico por toretes

En el Cuadro 3 se representa la emisión de metano por vacuno y en condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán, en época seca.

Cuadro 3. Emisión de metano entérico por animal bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época seca, en Tulumayo – CIPTALD (n =9, promedio \pm desviación estándar)

Animal	Peso (Kg)	Emisión de metano (g/animal/día)	CV (%)
1	337	246.17 \pm 62.39	25.34
2	382	334.13 \pm 85.17	25.49
3	322	290.88 \pm 41.83	14.38
4	249	228.84 \pm 31.91	13.94
5	301	334.35 \pm 109.01	32.60
6	262	362.42 \pm 58.11	16.03
7	359	327.98 \pm 60.94	18.58
8	359	259.68 \pm 37.55	14.46
9	439	341.71 \pm 83.33	24.39
10	382	305.17 \pm 67.95	22.27
11	351	364.07 \pm 71.11	19.53
12	344	227.88 \pm 54.46	23.90
PROMEDIO	338.1	301.9	-
SD	57.8	50.2	-
CV	16.8	16.6	-

CV: Coeficiente de variación.

4.3. Rendimiento de metano por unidad de consumo

En el Cuadro 4 se detalla el rendimiento de producción de metano en función al consumo de materia seca, materia orgánica, fibra detergente neutra y energía bruta.

Cuadro 4. Rendimiento de metano por unidad de consumo de materia seca (MS), materia Orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN) y porcentaje de energía bruta (EB) ingerida por toretes en condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época seca, en Tulumayo – CIPTALD (n=12, promedio \pm desviación estándar)

Unidad de Consumo	Rendimiento de metano (g/Kg)	CV (%)
MS	30.4 \pm 6.12	20.1
MO	40.0 \pm 7.98	19.9
FDN	43.5 \pm 8.75	20.1
YM*	10.3 \pm 2.07	20.1

*Considerando 55.6Kj/g CH₄, *1Kcal=4.185Kj, SD \pm : desviación estándar, CV: Coeficiente de variación, MS: materia seca, MO: materia orgánica, FDN: fibra detergente neutra, YM: Factor de conversión de CH₄, expresado como la fracción de la energía bruta (EB) del alimento que se transforma en metano.

V. DISCUSIÓN

5.1. Composición química del pasto tropical

La materia orgánica (87.78%) y ceniza (12.3%) del pasto *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch expresados en base seca durante la época seca fueron similares a lo mencionado por Mc DOWELL (1974) quienes determinaron 88.50% y 11.50%, mientras que, CARRIEL (2014) menciona 88.75% y 9.01% para materia orgánica y ceniza respectivamente. En relación al contenido de proteína cruda de este pasto fue $10.8 \pm 0.97\%$ siendo similar a lo obtenido por MORALES *et al.* (2016) y CARRIEL (2014) quienes mencionan un contenido de 10.8% y 11.12% de proteína del pasto alemán respectivamente, sin embargo, es inferior a lo reportado por CANUDAS (2009) quien obtuvo un contenido de 13% de proteína cruda cuando realizó un trabajo de investigación durante la época seca, bajo un sistema de riego y fertilización.

El contenido de fibra detergente neutro (FDN) en el pasto total fue de $69.9 \pm 2.15\%$, para el pasto alemán fue de $68.0 \pm 1\%$, teniendo una variación ascendente (Anexos 5 y 6) en función del transcurso de los días de pastoreo y el contenido de fibra detergente acida (FDA) fue de $36.2 \pm 0.76\%$, siendo superior a lo mencionado por CARRIEL (2014) quien concluye 59.22% de FDN y 34.56% de FDA del pasto alemán realizando el corte para la evaluación a los 120 días de ser sembrado. MONSALVE (1978) reportó contenidos de 30% a 34%.

El contenido de proteína disminuye conforme aumenta la edad (Anexo 5 y 6), concordando con lo reportado con MANRIQUE (1993) quien muestra resultados que el pasto alemán a los 21 días contiene 13% de proteína, a los 35 días 9.5%, a los 49 días, 7.1% y a los 63 días 5.2%. Mientras que el contenido de FDN y FDA tienden a incrementarse conforme avanza la edad del pasto (Anexo 5 y 6) coincidiendo con VAN SOEST (1982) quien manifiesta que a medida que aumenta la edad en el pasto se incrementa el contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, componentes de la fibra detergente neutra. En cuanto al contenido de energía bruta del pasto alemán fue de 3909.1 ± 27.0 kcal/kg en promedio este valor es superior a lo mencionado por PAZ (2012), quién registró 3778.12 kcal/kg.

5.2. Emisión de metano (CH₄) entérico de toretes

La emisión de metano entérico por toretes en condiciones de pastoreo continuo en una pastura tropical con predominancia de *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época seca fue 301.9 ± 50.2 g CH₄/día, siendo menor a lo mencionado por HUNTER (2007) quien estimó la producción de metano en novillos Brahman al comparar una mezcla de gramíneas tropicales como *Dichanthium aristatum* y *Chloris gayana*, sin suplementación frente a aquellos que fueron suplementados con forraje de alfalfa (*Medicago sativa*), reportando una emisión de 372 y 364 g CH₄/día, respectivamente. Así mismo, a lo mencionado por CANESIN (2009) quien encontró 311 g CH₄/día en novillos machos castrados de la raza Nelore con peso promedio de 338 kg alimentados en sistema de pastoreo con *Brachiaria brizanta* cv marandu, ambos autores realizaron la investigación en época seca.

El resultado obtenido en la presente investigación se muestra inferior a ambos autores por el efecto de la calidad nutricional en cuanto a MO (87.9%), FDN (69.9%), PC (11.0%) y una DMO (69.0%) mientras que el pasto utilizados por HUNTER (2007) y CANESIN (2009) mostraron una menor calidad de pasto FDN (64.4% y 69.6%) y una digestibilidad de materia orgánica (59.3% y 66.0%) ya que es uno de los factores determinantes para una menor o mayor emisión según la especie coincidiendo con ALGUERRE *et al.* (2011), que trabajando con animales de la raza Holandesa confinados, recibiendo dieta formulada a base de silaje de maíz y sorgo, encontraron el valor de 586 CH₄ g/día, pudiendo estar relacionado al mayor contenido de FDN (72%) de la dieta, raza y categoría animal utilizados por ellos.

Para nuestras condiciones la disponibilidad del pasto fue alta (3908.27 en pre-pastoreo), con asignación de 52.40 kg MS/torete/día y utilización solo del 30.20% del forraje total (ATANACIO, 2018). Por su parte, DE RAMUS *et al.* (2003), reportan emisiones de metano por novillas de carne en pastoreo entre 87.67 y 227.39 CH₄ g/día refiriéndose que el dato más alto corresponde a gramíneas de baja calidad nutricional, con sistemas de pastoreo continuo y baja disponibilidad forrajera, mientras que los datos más bajos corresponden a praderas mejoradas, a sistemas de pastoreo rotacional, fertilización y con alta disponibilidad de forraje.

GRAINGER *et al.* (2007) indican que la emisión de metano de vacas holandesas alimentadas con azevén, utilizando cámaras respirométricas y la técnica del gas trazador SF₆ fue de 331 y 322 g de CH₄/día por vaca, respectivamente, no se observaron diferencias entre las técnicas. Por tanto, la

técnica utilizada para nuestras condiciones fue la indicada por no ser un factor determinante de la emisión de CH₄ en la presente investigación ya que se obtuvo valores casi similares a lo reportado por CANESIN (2009).

La emisión de metano varía por el peso, consumo de alimento y la digestibilidad en los animales de acuerdo al sexo y especie, por tanto con consumo promedio de materia seca y la digestibilidad de los toretes Brahman de 10.1 kg y 69% respectivamente (Anexo 2) se puede apreciar que cada unidad animal emitieron diferentes cantidades de CH₄ de acuerdo a su peso como se puede apreciar en el (cuadro 3), por su parte BLAXTER y CLAPPERTON (1965) indica que existe una estrecha relación con la cantidad de alimento y la digestibilidad de la dieta, presentándose una mayor producción de CH₄ en dietas de baja digestibilidad a un nivel de consumo de mantenimiento, por el contrario dietas con alta digestibilidad y un consumo tres veces mayor al de mantenimiento disminuyó la producción de CH₄ (30%).

Asimismo, LENG (1993) indica que los rumiantes dependen del consumo de forraje que muchas veces es pobre en calidad limitando la disponibilidad de proteína microbial y energía e incrementado la emisión de metano, BUDDLE *et al.* (2011) reportan que el consumo de materia seca (MS) es el principal factor que influye sobre la producción de CH₄ entérico, PINARES *et al.*, (2003) concluye que el aumento en el consumo de MS se relaciona con una mayor tasa de paso y la disminución en la degradabilidad de la dieta, lo que resulta en una menor producción de metano. A su vez, los investigadores KURIHARA y HUNTER (1999) determinaron que en el trópico se da una alta

producción de metano por los altos niveles de fibra y de lignina, por los bajos niveles de carbohidratos solubles y la baja digestibilidad.

La emisión se ve afectado por la edad del pasto y el tipo de dieta (gramínea, leguminosa y concentrado) por tener diferentes coeficientes de digestión, diversos autores demostraron que una mayor madurez del forraje aumenta las emisiones de CH₄ por unidad de materia seca ingerida (PINARES *et al.*, 2003; CLARK *et al.*, 2005; MOLANO y CLARK, 2008), debido a que la utilización de carbohidratos con elevados niveles de pared celular (forrajes) produce mayor cantidad de CH₄ por unidad de materia orgánica fermentable en el rumen, así como la mayor producción de acetato que la fermentación producida por almidones. Las dietas ricas en almidones (concentrados) favorecen la producción de propionato y se disminuye la relación metano/materia orgánica fermentada en el rumen (JOHNSON Y JOHNSON, 1995; MOSS *et al.*, 2000), reduciendo la producción de CH₄.

Se infiere que la edad de los animales es otro factor intrínseco del animal en las emisiones de CH₄, por tanto, los toretes utilizados en la presente investigación tuvieron una edad menor a los dos años. Por lo que MOSS *et al.*, (2000) menciona que, los animales más jóvenes presentan tasas de conversión de CH₄ menores que los animales adultos, debido fundamentalmente al menor número y actividad de microorganismos ruminales encargados de la fermentación. Sin embargo, RAMÍREZ *et al.* (2015) indican, en la evaluación que hicieron fue con vacunos de amplias diferencias de edad (< 1 año y > 6 años de edad) concluyendo que la edad no afecta significativamente en la emisión de metano por unidad de consumo.

5.3. Rendimiento por unidad de consumo

El rendimiento de metano por unidad de materia seca consumida en nuestras condiciones fue de 30.4 ± 6.12 CH₄ g/kg CMS siendo menor a lo reportado por CANESIN (2009), quien reporta un valor de 36.3 g CH₄/Kg MSI, esta inferioridad puede estar influenciada por los valores de digestibilidad de la pastura tal como lo manifiesta DEMARCHI *et al.* (2003).

Con relación a la emisión de CH₄ por unidad de MO consumida en el presente trabajo se estimó en 40.0 ± 7.98 g CH₄/kg CMO siendo superior a lo reportado por DEMARCHI *et al.* (2003) y CANESIN (2009), estos resultados se deberían a la diferencia que existe a la composición del pasto (contenido de MO en diferentes gramíneas) ya que a mayor concentración de azúcares o proteína la producción de metano por unidad de producto disminuye (ELLIS *et al.*, 2012).

El rendimiento de metano por unidad de consumo de FDN por toretes Brahman fue 43.5 ± 8.75 g CH₄/kg CFDN siendo similar a lo encontrado por CANESIN (2009) en novillos machos castrados de la raza Nelore alimentados con *Brachiaria brizanta* cv marandu, quien menciona 42.9 g CH₄/ kg FDN y DEMARCHI *et al.* (2003) quienes indican una emisión de CH₄/CFDN de 39.7 g/kg, la emisión de metano tiene a reducirse en la medida que los animales ingieran dietas más ricas en carbohidratos no estructurales tal como lo refiere PRIMAVESI *et al.* (2003).

El rendimiento de metano por unidad de consumo de energía bruta (EB) o la conversión de la EB consumida en metano (YM%) fue $10.3 \pm 2.07\%$ siendo similar a lo reportado por HARPER *et al.* (1999) quienes observaron la

conversión de 10.07% de energía bruta en CH₄ bajo condiciones de pastoreo en pasturas tropicales en época seca y menor a lo reportado por CANESIN (2009) quien obtuvo 12.3 g CH₄/ %EBI en novillos machos castrados de la raza Nelore, diferencia que está influenciada por la composición de la dieta (BRANINE y JOHNSON, 1990; KURIHARA *et al.*, 1998; HINDRICHSEN *et al.*, 2006; IPCC, 2007; BEAUCHEMIN, 2011)

La mayor parte de la variación en el rendimiento de metano expresado por unidad de consumo, puede ser atribuida a la digestibilidad de la dieta, el contenido de FDN del forraje y el nivel de consumo de los animales (ARCHIMEDE *et al.*, 2011).

VI. CONCLUSIONES

- La emisión de metano entérico por toretes Brahman fue de 301.9 ± 50.2 g CH₄/día y el factor de conversión de energía bruta (EB) a metano (Y_m%) de $10.3 \pm 2.07\%$, siendo mayor a 250 g CH₄/día y un rendimiento mayor a 8% por energía bruta consumido por efecto de la mayor concentración de carbohidratos estructurales y consumo de materia seca durante la época seca del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch.
- La composición química en base seca del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch en época seca fue de 87.7%, 12.3%, 10.8% 68.0% y 36.2% para materia orgánica, ceniza, proteína cruda y fibra detergente neutra y fibra detergente acida respectivamente y 3909.1 kcal/kg energía bruta.
- El rendimiento de metano por unidad de consumo de materia seca (MS) fue 30.4 ± 6.12 g CH₄/kg MS, materia Orgánica (MO) 40.0 ± 7.98 g CH₄/ kg MO y fibra detergente neutro (FDN) 43.5 ± 8.75 g CH₄/ kg FDN.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares en vacunos: terneros, toretes y animales adultos para obtener la información completa de esta especie en cuanto a la emisión de metano entérico.
- Realizar trabajos similares con diferentes pastos tropicales en diferentes épocas del año.
- Realizar trabajos para la mitigación de la emisión del gas metano de vacunos al pastoreo en pasturas tropicales.

**ENTERIC METHANE EMISSION FROM BRAHMAN STEERS UNDER
CONTINUOUS GRAZING SYSTEM OF *Echinochloa polystachya* (Kunth)
Hitch, DURING DRY SEASON**

VIII. ABSTRACT

The research was carried out at Universidad Nacional Agraria de la Selva Research and Production Center Tulumayo - La Divisoria (CIPTALD), in Tingo María city, Huánuco region, to evaluate the enteric methane emissions from Brahman breed steers under continuous grazing system in dry season; fourteen male bulls with live weight of 338 ± 57 kg grazed on 1.5 hectares of German grass *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch were used; the study comprised of two months pre-experimental stage for adaptation of animals to tanks, halters, collection lines, placement and monitoring of the permeation tubes and the nine-day experimental stage comprised the collection of gases and German pasture. Results indicate that chemical composition and energy of German pasture and total pasture of the experimental paddock was similar; likewise, an average live weight of 340.6 kg per animal, 3.1 kg/day of feces production in dry matter (DM), 2.4 kg/day of feces production in organic matter (OM), 69% of apparent digestibility of OM, 10.1 kg/animal/day of MS consumption, 7.1 kg/animal/day of NDF consumption and 395.4 kcal/animal/day of gross energy consumption, also, 301.9 g/animal/day of methane emission for a live weight of 338.1 kg, at the same time, 30.4 g of methane production/kg of DM, 40 g of methane/kg of OM and 43.5 g of methane/kg of NDF were reported. In conclusion, the chemical composition dry based of German grass was 87.7 DM%, 12.3% CP, 10.8% OM, 68.0% NDF, 36.2% ADF and 3909.1 kcal/kg gross energy; and methane emission was 302 ± 50 g CH₄/day and gross energy conversion factor (GE) to methane (Y_m%) was

10.3 ± 2.1% and methane yield per dry matter (DM) consumption unit was 30.4 ± 6.12 g CH₄/Kg DM, Organic matter (OM) 40.0 ± 7.98 g CH₄/Kg MO and neutral detergent fiber (NDF) 43.5 ± 8.75 g CH₄ / Kg NDF.

Keywords: Gas collection, Nutritional composition, Neutral detergent fiber, Dry Matter, Brute energy.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALGUERRE, M., WATTIAUC, M., POWELL, J., BRODERICK, G. 2011. Effect of forage to concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide and ammonia, lactation performance and manure excretion. *Journal Dairy Science*. v.94, n.6, 3081-3093 p.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Virginia, USA. p. 770-771.
- ARCHIMEDE, H., EUGÈNE, M., MAGDELEINE, C., BOVAL, M., MARTIN, C., MORGAVI, D., LECOMTE, P., DOREAU, M. 2011. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*. 166:59-64.
- A.S.R.M. (American Society of Range Management and Agriculture Board). 1962. *Basic Problems and Techniques in Range Research*. Report of a Joint Committee of the American Society of Range management and Agriculture Board. 890:45-81.
- ATANACIO, L. 2018. *Métodos de estimación de consumo de forrajes por toretes brahman bajo condiciones de pastoreo continuo, durante la época seca*, Tesis de ingeniero zootecnista. Leoncio Prado - Huánuco.

- BEAUCHEMIN, K. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada – Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, v.166. p 663 -677.
- BELEOSOFF, B. 2013. Potencial de produção de gases totais e metano in vitro de pastagens de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia submetida a diferentes manejos de pastejo. Tese (Doutorado em Ciências Animais) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília.
- BLAXTER, K., CLAPPERTON, J. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Brit. J. Nutr.* 19:511-522.
- BRANINE, M., JOHNSON, D. 1990. Level of intake effects on ruminant methane loss across a wide range of diets. *Journal of Animal Science*, v.68. p. 509-522.
- BUDDLE, B., CHAVES, A., THOMPSON, L., IWAASA, A. 2011. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *Veterinary Journal*, v. 188. p.11-17.
- CANESIN, R. 2009. Frequência da suplementação de bovinos da raça Nelore mantidos em pastagens. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

- CANUDAS, G. 2009. Producción de Pasto Taiwán con Pastoreo Rotacional Intensivo y ferti-irrigación en el trópico Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Merida.150 p.
- CARDOSO, A. 2012. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil central. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- CARRIEL, P. 2014. Estudio del comportamiento agronómico de cuatro variedades de pastos sometidos a distanciamientos de siembra en la zona de pueblo viejo, provincia de los ríos. Tesis de grado. Los Ríos – Ecuador. [En línea]: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/626/1/T-UTB-FACIAG-AGR-000102.pdf>. 2 de agosto del 2018.
- CLARK, H., PINARES, P., DE KLEIN, C. 2005. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. In: McGilloway DA (ed). Grassland: a global resource. Wageningen, the Netherlands: Academic Publishers. p. 279-293.
- CROWDER, V. 1960. Gramíneas y Leguminosas Forrajeras en Colombia. Ministerio de Agricultura. Dirección de Investigación Agropecuaria OIA. Boletín técnico. n. 8. 116 p.
- DEIGHTON, M., WILLIAMS, S., HANNAH, M., ECKARD, R., BOLAND, T., WALES, W., MOATE, P. 2014. A modified sulphur hexafluoride tracer

technique enables accurate determination of enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 197 p.

DEMARCHI, J., LOURENCO, A., MANELLA, M., ALLEONI, G., FRIGUETTO, R., PRIMAVESI, O., LIMA, M. 2003. Daily methane emission at different seasons of the year by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu-Preliminary results. IX World Conference on Animal Production and XVIII. Reunião Latinoamericana de Produção Animal. 19 p.

DE BLAS, C., GARCÍA, M., CAMBRA, L., TORRES, A. 2008. Contribución de los Rumiantes a las Emisiones de Gases con Efecto Invernadero. XXIV Curso de Especialización FEDNA. Madrid.

DE RAMUS, H., CLEMENT, T., GIAMPOLA, D., DICKISON, P. 2003. Methane emissions of beef cattle on forage: Efficiency of grazing management system. *J Environ Qual*. 32:269-277.

ELLIS, J., BANNINK, A., FRANCE, J., KEBREAB, E., DIJKSTRA, J. 2012. Evaluation of enteric methane prediction equations for dairy cows used in whole farm models. *Global Change Biology*. 16: 3246-3256.

ESTEVEZ, S., BERNARDI, A., VINHOLIS M., PRIMAVESI, O. 2010. Estimativas da emissão de metano por bovinos criados em sistema de integração lavoura-pecuária em São Carlos, SP. São Carlos: Embrapa. 70 p.

FAO. 2013. Greenhouse gas emisiones from ruminant supply chains – A global life cycle assessment. FAO. Roma. [En línea]: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.htm. 2007. Cambio climático 2007. [En línea]: Informe y Síntesis. <http://www.fao.org/news/story/es/item/198166/icode/>. 20 Dic. 2017.

FORSTER, P., RAMASWAMY, V., ARTAXO, P., BERNTSEN, T., BETTS, R., FAHEY, D., HAYWOOD, J., LEAN, J., LOWE, D., MYHRE, G., NGANGA, J., PRINN, R., RAGA, G., SCHULZ, M., DORLAND, R. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth. p. 129-234.

GAUDÍN, G. 2010. Agricultura a gran escala afectan equilibrio ecológico. Noticias Aliadas. Cambio climático: Seguridad Alimentaria, agua y protección de bosques. Buenos Aires – Argentina.

GERBER, P., STEINFELD, H., HENDERSON, B., MOTTET, A., OPIO, C., DIJKMAN, J., FALCUCCI, A., TEMPIO, G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería - Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.

GRAINGER, C., CLARKE, T., MCGINN, S.M., AULDIST, M.J., BEAUCHEMIN, K.A., HANNAH, M.C., WAGHORN, G.C., CLARK, H., ECKARD, R.J. 2007. Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur

hexafluoride (SF₆) tracer and chamber techniques. *Journal Dairy Science*, v.90, n.6. p. 2755-66.

GRAINGER, C., BEAUCHEMIN, K. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Anim Feed Sci Tech*. 166: 308-320.

HARVARD, B. 1969. *Las plantas forrajeras tropicales*. Madrid: Blume.

HAYDOCK K., SHAW, N., 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust J Exp Agric Anim Husband* 15: 663-670.

HARPER, L., DENMEAD, O., FRENEY, J., BYERS, F. 1999. Direct measurements of methane from grazing and feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, v.77, n.6. p. 1392-1401.

HARGREAVES, J., KERR, J. 1992. Botanal- A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. Computational package. *Tropical Agronomy Technical Memorandum N° 79*. CSIRO. Canberra, Australia. 83 p.

HINDRICHSEN, I., WETTSTEIN, A., MACHMULLER, M. 2006. Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agr. Ecosyst. Environ* 113:150-161.

- HUNTER, R. 2007. Methane production by cattle in the tropics. Letter to editor. Br J Nutr, 98: 657- 660. [En línea]: <https://doi.org/10.1071/AN111103>. 15 Nov. 2017.
- IPCC. 2001. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Tercer Informe de Evaluación. Cambio climático Impactos, adaptación y vulnerabilidad. [En línea]: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.htm. 2007. 15 nov. 2017.
- IPCC. 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from livestock and Manure Management. p. 10-84.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- JOHNSON, K., JOHNSON, D., 1995. Methane emissions from cattle. J. Anim. Sci. 73:2483-2492.
- JUÁREZ, D. 2018. Digestibilidad aparente de pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) hitch utilizando modelos de estimación en toretes de la raza Brahman bajo condiciones de pastoreo continuo. Tesis de ingeniero zootecnista. UNAS, Tingo Maria.

- KURIHARA, M., MAGNER, T., HUNTER R., MCCRABB, G. 1998. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. CSIRO Tropical Agriculture, Tropical Beef Centre, Rockhampton, Queensland 4702, Australia.
- LENG, R. 1993. Quantitative ruminant nutrition - A green science. Australian Journal of Agricultural Research 44:363-380.
- LUCAS, M., 2005. Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. Journal of Animal Science 83:1332-1344.
- PINARES, P. 2003. Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. The Animal Consortium 2011. 6:518-525.
- MARTIN, C., MORGAVI, D., DOREAU, M. 2009. Methane mitigation in ruminants: from microbes to the farm scale. Animal, v. 4, n. 3. p. 351-365.
- MAYNARD, A. 1981. Nutrición Animal. Fundamentos de Nutrición del Ganado. Ed. Uthea. 7 ma edición. México. 640 p.
- MELGAREJO, L. 2017. Muestreo de forraje. In Practicas de producción y aprovechamiento de forrajes. Primera ed. Ciudad de México, México. UNAM. p. 38-56.

MENDOZA, P., LASCANO, C. 1986. Mediciones en la pastura en ensayos de pastoreo. Evaluación de pasturas con animales: Alternativas metodológicas: In Memorias de una reunión de trabajo celebrada en Perú, 1-5 de octubre, 1984. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Cali, Colombia. p.143 - 165.

McCAUGHEY, W., WITTENBERG, K., CORRIGAN, D. 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. 79(2):221-226.

McCRABB, G. 2002. Nutritional options for abatement of methane emissions from beef and dairy systems in Australia. in Greenhouse Gases and Animal Agriculture. Takahashi, J., and B. A. Young, (Eds.). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. p. 115-124

McDOWEL, L., CONRAD, J., THOMAS, J. 1974. Latín American Tables of feed composition. Department of Animal Science- University of Florida –USA.

MIERES, J., OLIVERA, L., MARTINO, D., LA MANNA, A., FERNÁNDES, E., PALERMO, R., GREMMINGER, H. 2002. Methane emissions from Holstein heifers grazing contrasting pastures in Uruguay. [En línea]: http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/methane_uruguay.pdf. 20 Oct. 2017.

MODERNEI, P., ROSSING, W., TITTONELL, P., FUHRER, J., GREGORY, P. 2014. Diversity in organic and agroecological farming systems for

mitigation of climate change impact, with examples from Latin America. In Climate, change impact and adaptation in agricultural systems. p. 69-87.

MONSALVE, S. 1978. Estudios sobre pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*) (H.B.K.) (Hitch) en Colombia II. Altura y frecuencia de corte. Revista ICA 13(4):666-669.

MONTENEGRO, J., ABARCA, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Ed. Nuestro Tierra. 334 p.

MOSCOSO, J., FRANCO, F., SAN MARTÍN, F., OLAZÁBAL, J., CHINO, L., PINARES, P. 2017. Producción de Metano en Vacunos al Pastoreo Suplementados con Ensilado, Concentrado y Taninos en el Altiplano Peruano en Época Seca. Rev. Inv. Vet. Perú. 28(4):822-833.

MOSS, A., NEWBOLD, J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. Ann. Zootechnia. 49:231-253.

MORALES, V., VIVAS, Q., TERAN, G. 2016. Pecuária ecoeficiente e adaptação às alterações climáticas. Biotecnologia en el sector Agropecuario y Agroindustrial. v.14. n.1. 10 p.

MUÑOZ, L. (1990). Alimentación y nutrición. Primera edición, setiembre. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 258 p.

- PAZ, A. 2012. Digestibilidad aparente, energía digestible y metabolizable del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*), King grass (*Saccharum sinense*) y maralfalfa (*Pennisetum sp*) en cuyes (*Cavia porcellus*) en el trópico. Tesis Ingeniero Zootecnista. Tingo Maria - Perú). Universidad Nacional Agraria de la Selva. 83 p.
- PARKER, K. 1950. Report on 3-step method for measuring condition and trend of forest ranges. Washington DC, USA: USDA Forest Service. 68 p.
- PRIMAVESI, O., FRIGHETTO, R., PEDREIRA, M., LIMA, M., BERCHIELLI, T., RODRIGUES, A. 2003. Low-fiber sugarcane to improved meat production with less methane emissions in tropical dry season. [En línea]: <http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/agriculture/AF06.pdf>. 15 Set. 2017.
- RAMÍREZ, R., CLARK, H., MUETZEL, S. 2015. Methane emissions from young and mature dairy cattle. *Animal Production Science*. 15:102-112.
- REID, R., THORNTON, P., MCCRABB, G., KRUSKA, R., ATIENO, F., JONES, P. 2004. Is it possible mitigating greenhouse gas emissions in pastoral ecosystems of the tropics? *Environmental, Development and Sustainability*. *Environmental, Development and Sustainability*. 6:91-109.
- SUN, X., HOSKIN, S., ZHANG, G., MOLANO, G., MUETZEL, S., PINARES, P., CLARK, H., PACHECO, D. 2011. Sheep fed forage chicory (*Cichorium intybus*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) have similar methane emissions. *Anim Feed Sci Technol*. 172:217- 225.

STEINFELD, H., RODRIGUEZ, N., CAMPOS, W. 2006. Livestock's long shadow – Environmental issues and options. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

VELLINGA, T. 2008. Las emisiones de gases de efecto invernadero en las granjas lecheras. Sustainable dairy farming. [En línea]: editor@sustainabledairyfarming.com. 22 Dic. 2017.

VAN SOEST, P. 1982. Ecología nutricional de los rumiantes. C.U.P. Ithaca. NY.

X. ANEXOS

Anexo 1. Peso vivo (PV) de los catorce (14) toretes de raza Brahman pastoreados en pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época seca

Nº ANIMAL	Kg
1	337
2	382
3	322
4	249
5	301
6	262
7	359
8	359
9	439
10	382
11	351
12	344
13	397
14	249
PROMEDIO	338
SD	57

Anexo 2. Producción de heces, digestibilidad y consumo por toretes de raza Brahman bajo condiciones de pastoreo del pasto alemán en la época seca, utilizando dos indicadores dióxido de titanio (TiO₂) y óxido crómico (Cr₂O₃)

ANI.	PHMS (kg/d)	PHM O (kg/d)	DIG.	CMS (%PV)	CMS (kg)	CMO (kg)	CFD N Kg/d	CEB Kcal/d
1	2.57	1.97	0.69	2.51	8.47	6.48	5.92	331.9 1
2	3.60	2.77	0.69	3.04	11.61	8.94	8.13	455.3 6
3	3.78	2.90	0.71	4.04	13.01	9.97	9.10	509.8 9
4	2.75	2.07	0.67	3.35	8.35	6.29	5.84	327.4 3
5	2.98	2.25	0.70	3.31	9.96	7.51	6.97	390.5 7
6	2.62	2.00	0.68	3.17	8.31	6.34	5.81	325.6 2
7	3.67	2.77	0.69	3.27	11.74	8.87	8.22	460.3 1
8	2.75	2.09	0.67	2.31	8.28	6.30	5.80	324.7 9
9	3.97	3.00	0.68	2.80	12.29	9.31	8.60	481.9 8
10	3.10	2.39	0.68	2.55	9.75	7.53	6.82	382.2 5
11	2.94	2.23	0.68	2.64	9.28	7.06	6.50	363.9 3

12	2.83	2.13	0.72	2.90	9.97	7.48	6.97	390.7 7
PROM.	3.13	2.38	0.69	2.99	10.09	7.67	7.06	395.4 0
SD ±	0.49	0.38	0.01	0.48	1.69	1.29	1.18	66.15
% CV	15.65	15.80	2.07	15.93	16.73	16.8 7	16.73	16.73

ANI: animal. DIG: Digestibilidad. PROM: Promedio. CMS PV%: Porcentaje de consumo de materia seca por peso vivo. PHMS: Producción de heces en materia seca, PHMO: producción de heces en materia orgánica, DMO: digestibilidad de la materia orgánica, CMS: consumo de materia seca, CMO: consumo de materia orgánica, CFDN consumo de fibra detergente neutra, CEB consumo de energía bruta.

Anexo 3. Emisión de metano entérico por toretes/día bajo condiciones de pastoreo continuo del pasto alemán en época seca

DÍAS	CH ₄ ANIMAL												CH ₄ /ANIMAL/DÍA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	171.54	423.10	213.14	169.54	227.41	326.12	233.77	-	348.83	346.72	351.39	301.41	
2	234.19	288.80	297.60	212.54	209.37	350.30	440.26	-	398.94	231.42	392.06	-	
3	242.57	269.35	340.97	254.53	194.55	408.87	387.19	-	532.80	273.52	525.15	-	
4	-	280.50	278.01	267.01	481.69	344.72	333.55	-	357.34	345.95	362.07	-	
5	300.80	451.89	283.78	247.07	383.93	309.71	275.34	216.06	288.12	413.99	399.51	--	
6	290.91	-	354.99	221.74	381.50	330.52	355.16	-	283.36	326.83	336.15	210.29	
7	346.33	-	287.24	250.16	366.19	308.23	305.72	247.96	275.78	353.24	315.69	171.49	
8	175.19	236.16	260.27	194.05		485.19	316.31	305.51	279.24	241.51	285.84	-	
9	207.88	389.09	301.94	242.94	430.18	398.12	304.53	269.18	310.97	213.32	308.74	228.33	
PROM.	246.17	334.13	290.88	228.84	334.35	362.42	327.98	259.68	341.71	305.17	364.07	227.88	301.94
SD	62.39	85.17	41.83	31.91	109.01	58.11	60.94	37.55	83.33	67.95	71.11	54.46	50.20
CV	25.34	25.49	14.38	13.94	32.60	16.03	18.58	14.46	24.39	22.27	19.53	23.90	16.63

Anexo 4. Rendimiento de metano por unidad de consumo de materia seca (CMS), Materia orgánica (CMO), fibra detergente neutra (CFDN) y energía bruta (CEB) o YM (%)

ANIMAL	CH ₄ /MS	CH ₄ /MO	CH ₄ /FDN	CH ₄ /Ym
1	29.08	37.99	41.55	9.86
2	28.77	37.35	41.11	9.76
3	22.37	29.19	31.96	7.59
4	27.40	36.39	39.16	9.29
5	33.56	44.51	47.96	11.38
6	43.64	57.15	62.36	14.80
7	27.94	36.99	39.92	9.47
8	31.35	41.22	44.79	10.63
9	27.80	36.70	39.72	9.43
10	31.30	40.55	44.73	10.62
11	39.22	51.55	56.05	13.30
12	22.86	30.48	32.67	7.75
PROMEDIO	30.44	40.01	43.50	10.32
SD	6.12	7.98	8.75	2.08
CV	20.11	19.96	20.11	20.11

Anexo 5. Composición química en base seca del pasto total (pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch + pasto natural + leguminosa) muestreados durante el experimento

MUESTRA	MS (%)	MO (%)	Cz (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	EB (Kcal/kg)
1	94.24	87.45	12.55	13.67	65.29	35.37	3893.44
2	94.71	88.44	11.56	12.13	69.44	37.20	3898.97
3	93.42	88.06	11.94	11.45	70.86	37.89	3918.98
4	94.19	88.21	11.79	11.98	68.96	36.69	3945.73
5	93.48	88.27	11.73	10.43	68.66	37.83	3955.79
6	93.16	87.79	12.21	9.64	70.50	39.73	3892.08
7	93.58	87.76	12.24	11.28	71.83	39.30	3948.44
8	93.12	87.72	12.28	10.44	70.69	37.61	3922.53
9	93.20	87.43	12.57	9.66	70.22	39.51	3938.66
10	93.44	87.54	12.46	9.28	73.37	40.36	3891.76
PROMEDIO	93.66	87.87	12.13	11.00	69.98	38.15	3920.64
SD	0.54	0.36	0.36	1.37	2.15	1.56	25.45

M.S.: Materia Seca, M.O.: Materia orgánica, CZ: Ceniza, P.C.: Proteína cruda, F.D.N.: Fibra detergente neutra, F.D.A.: Fibra detergente ácida y EB: energía bruta.

Anexo 6. Composición química a base seca del pasto alemán *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch muestreados antes, durante y al final de la etapa experimental

MUESTRA	M.S. (%)	MO (%)	Cz (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	EB (Kcal/kg)
1	94.25	87.37	12.63	12.75	65.61	34.58	3872.89
2	94.42	88.32	11.68	11.18	67.17	35.66	3876.53
3	93.35	87.87	12.13	10.14	67.86	35.89	3886.55
4	94.18	88.06	11.94	12.11	67.95	36.21	3941.90
5	93.39	87.98	12.02	10.59	68.61	36.45	3946.39
6	93.00	87.55	12.45	10.43	69.06	35.95	3896.58
7	92.82	87.52	12.48	10.45	67.98	36.19	3922.69
8	93.02	87.69	12.31	10.28	68.37	36.28	3918.03
9	92.91	87.11	12.89	10.14	68.54	36.74	3933.94
10	93.19	87.48	12.52	9.64	68.84	37.54	3895.87
PROMEDIO	93.45	87.70	12.31	10.77	68.00	36.15	3909.14
SD	0.60	0.36	0.36	0.97	1.00	0.76	27.00
CV	0.65	0.41	2.94	8.99	1.47	2.10	0.69

Anexo 7. Componentes de la pastura tropical expresada en porcentaje de los 10 días de muestreo

Pasto total (100 %)			
Muestra / día	Pasto alemán (%)	Pasto natural (%)	Leguminosa (%)
1	83.72	9.20	7.08
2	81.94	13.14	4.93
3	84.29	8.21	7.50
4	85.38	10.63	3.99
5	76.48	13.64	9.89
6	84.90	5.74	9.36
7	70.93	26.57	2.50
8	94.18	5.82	0.00
9	74.43	16.09	9.49
10	72.17	16.70	11.13
PROMEDIO	80.84	12.57	6.59

Anexo 8. Calibración de tubos de permeación hexafluoruro de azufre (SF₆)

Nº Animal	Código	Nº Tubo de permeación	Tasa de permeación, mg/d	R-cuadrado
1	0411-435	12	5.9486082	0.9998198
2	1209-335	3	5.2072681	0.9998198
3	2811-505	21	6.0609695	0.9999332
4	0206-276	19	5.9431954	0.9997963
5	1511-455	20	5.6412227	0.999818
6	0506-296	22	5.1050222	0.9994886
7	1412-535	9	6.446685	0.9999051
8	1210-385	16	6.0740569	0.999916
9	1312-625	1	6.0228887	0.9998756
10	1009-325	18	6.1110858	0.9999158
11	1004-146	24	6.5948263	0.999941
12	2803-126	25	5.8418046	0.999929
13	0211-425	Ambiente		
14	0604-136	Ambiente		
Tasa de permeación máxima(mg/día)				6.5948263
Tasa de permeación mínima(mg/día)				5.10502224
Tasa de permeación promedio(mg/día)				5.91646945
SD				0.43491975
R-cuadrado promedio				0.99984652
SD				0.00012432

Anexo 9. Calibración de tanques de colección tipo yugo

CANISTER	PRESION i	PRESION f	DIFERENCIA	%
1	933	912	21	2.3
2	931	911	20	2.2
3	932	910	22	2.4
4	934	913	21	2.3
9	932	914	18	2
11	933	919	14	1.5
12	932	911	21	2.2
13	932	915	18	1.9
15	932	914	19	2
16	932	909	22	2.5
18	932	912	20	2.2
19	932	916	16	1.8
20	932	917	15	1.6
21	932	910	23	2.5
23	933	919	14	1.5
26	933	912	21	2.3
27	932	912	19	2.1
30	933	913	20	2.1
32	931	910	21	2.4
35	933	910	23	2.5
36	933	912	21	2.3
37	931	914	17	1.8
39	933	912	21	2.2
41	933	912	21	2.3
42	931	912	19	2.1
43	932	911	21	2.3
44	932	910	22	2.4
45	931	911	20	2.2
46	932	909	23	2.5
47	933	908	24	2.7
49	932	910	22	2.4
50	935	916	20	2.1
51	931	913	19	2
PROT	932	913	19	2
PROMEDIO	932.26	912.41	19.91	2.16
SD	0.90	2.68	2.48	0.29

Anexo 10. Cálculo de flujo de líneas capilares

CALCULO DE FLUJO DE LINEAS CAPILARES (%)							
N° LINEA	N° CAPILAR	FLUJO (cc/min)		EVALUACIONES			PROMEDIO
		INICIAL	FINAL	1	2	3	
1	1	0.743	0.758	34.2	34.6	35.7	34.8
2	2	0.756		31.8	32.1	32.5	32.1
3	3	0.726		29.8	30.4	31.1	30.4
5	5	0.744	0.746	35.3	35.3	36.8	35.8
6	6	0.751	0.754	34.4	34.9	35.4	34.9
7	7	0.751		33.6	33.8	34.9	34.1
8	8	0.741	0.746	34.1	34.6	35.2	34.6
9	9	0.743	0.747	35.9	36.1	36.7	36.2
10	10	0.744	0.748	34.7	34.9	35.5	35.0
11	11	0.773	0.747	35.3	35.5	36.4	35.7
22	22	0.749	0.758	33.7	34.9	35.2	34.6
23	23	0.756	0.759	35.2	35.6	36.2	35.7
12	12	0.756	0.751	25.3	24.4	26.5	25.4
21	21	0.745	0.746	23.3	32.3	29.3	28.3
13	13	0.746	0.752	36.7	39.8	36.9	37.8
20	20	0.753	0.759	37.5	37.6	38.7	37.9
18	18	0.75	0.753	37.9	38.8	38.9	38.5
15	15	0.756	0.758	38.3	38.6	39.1	38.7
19	19	0.752	0.757	38.8	38.4	39.5	38.9
17	17	0.752	0.756	39.5	39.8	40.6	40.0
4	4	0.751	0.748	43.2	43.8	36.7	41.2
14	14	0.747	0.759	41.6	41.5	42.8	42.0
16	16	0.745	0.757	42.6	42.4	44.0	43.0
PROMEDIO		0.75	0.75	35.33	36.09	36.29	35.90
SD		0.01	0.01	4.79	4.22	3.96	4.18