

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE ZOOTECNIA



Tesis

**EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO DE TORETES EN CONDICIONES DE
PASTOREO CONTINUO DEL PASTO CAMERÚN *Echinochloa polystachya* (Kunth)
Hitch DURANTE LA ÉPOCA DE LLUVIA EN TULUMAYO-CIPTALD.**

Para obtener el título profesional de

INGENIERO ZOOTECNISTA

ELABORADO POR

BLANCA NIEVES SILVESTRE SOBRADO

Asesor

Ph.D. MEDARDO ANTONIO DÍAZ CÉSPEDES

TINGO MARÍA – PERÚ

2019

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 : Facultad de Zootecnia.

Título de Tesis : Emisión de metano entérico de toretes en condiciones de pastoreo continuo del pasto camerún (*Echinochloa Polystachya (kunth) hitch*) durante la época de lluvia en Tulumayo- Ciptald.

Autor : Blanca Nieves Silvestre Sobrado.

Asesor de Tesis : Ph.D. Medardo Antonio Díaz Céspedes.

Escuela Profesional : Zootecnia

Programa de Investigación : Producción Animal Sostenible.

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

Eje temático de investigación :

Lugar de Ejecución : Centro de Investigación y Producción Tulumayo
Anexo la Divisoria y Puerto Súngaro (CIPTALD - PS) - Universidad Nacional Agraria de la Selva.
: Tingo María – Huánuco – Perú

Duración : 6 meses

Fecha de Inicio : 23/10/2016
Fecha de Término : 23/04/2017

Financiamiento : Si

Otros: S/. 44,500.00



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, se reunieron a las 07:00 p.m. del 21 de enero de 2019, para calificar la Tesis titulada "EMISIÓN DE METANO ENTÉRICO DE TORETES EN CONDICIONES DE PASTOREO CONTÍNUO DEL PASTO CAMERÚN (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch) DURENTE LS ÉPOCA DE LLUVIA EN TULUMAYO - CIPTALD", presentada por la Bachiller en Ciencias Pecuarias BLANCA NIEVES SILVESTRE SOBRADO.

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

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, 23 de enero de 2019.

.....
Dr. JORGE RÍOS ALVARADO
 Presidente

.....
Ing. M. Sc. EBER CÁRDENAS RIVERA
 Miembro

.....
 AUSENTE

.....
Ing. M. Sc. MIGUEL ÁNGEL PÉREZ
OLANO
 Miembro Ausente

.....
Ing. M. Sc. MEDARDO ANTONIO DÍAZ
CÉSPEDES
 Asesor

.....
 AUSENTE

.....
Ing. M. Sc. JOSÉ EDUARD HERNÁNDEZ
GUEVARA
 Asesor Ausente

DEDICATORIA

A mis padres **ROSALIA** y **SADI HILARIO**, mi inspiración y fortaleza, con todo cariño y eterna gratitud por los sacrificios desplegados para la culminación de mi carrera profesional.

A mis hermanos **SMITH, ROSALUZ, DANILO**, con profunda gratitud y eterno aprecio por el apoyo moral, los sabios consejos y ejemplo.

A la memoria de mis abuelos

LUIS Y ALEJANDRINA.

AGRADECIMIENTOS

A mi ALMA MATER, Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su contribución en mi formación profesional.

A los docentes de la facultad de zootecnia, quienes me han formado con sus enseñanzas, teóricas y prácticas en mi formación profesional.

A mis colegas de la tesis que hicieron parte de la investigación tales como: ARCOS PALOMINO DAYANA CAROLINA y PRUDENCIO LUGO LAURA.

Al Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo la Divisoria y Puerto Súngaro (CIPTALD), institución que me permitió la realización del presente trabajo de investigación.

A mi Asesor Ph.D. MEDARDO ANTONIO DÍAZ CÉSPEDES, por facilitar los materiales equipo de trabajo, las instalaciones y animales durante la ejecución del trabajo de campo y laboratorio.

Al Profesional encargado del centro de vacunos de engorde del CIPTAL-TULUMAYO Sr. ANTONIO, por facilitar la información relacionada con los inventarios de los animales y apoyo en la investigación.

A los miembros del jurado de tesis, Dr. Ríos Alvarado Jorge, Ing. Cárdenas Rivera Ever y Ing. Pérez Olano Miguel por el aporte académico y científico.

Doy mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que de alguna manera me brindaron el apoyo moral.

ÍNDICE GENERAL

Página

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Ganadería y Ambiente.....	3
2.2. Metano.....	4
2.3. Importancia del metano (CH ₄) como GEI.....	4
2.4. Producción de metano por rumiantes.....	5
2.5. Emisión y rendimiento de metano por rumiante.....	7
2.6. Factores de emisión de metano por la producción en vacunos en condiciones de pastoreo continuo.....	7
2.7. Métodos para el cálculo de emisión de metano.....	8
2.7.1. Técnicas de medición de metano.....	8
2.8. Pasto Camerún.....	10
2.9. Efecto de las características del forraje sobre la emisión de metano.....	11
2.10. Trabajos de metano en especies forrajeras.....	11
2.10.1. Especies forrajeras y la producción de metano entérico.....	11
2.10.2. Consumo voluntario y emisión de metano entérico.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Lugar y fecha del proyecto.....	15
3.2. Tipo de investigación.....	15
3.3. Animales en estudio.....	16
3.4. Instalaciones, materiales y equipos.....	16
3.5. Alimentación.....	17
3.6. Sanidad.....	17

3.7. Variables independientes.....	17
3.8. Análisis estadístico.....	17
3.9. Variables dependientes.....	18
3.10. Metodología.....	18
3.10.1. Etapa pre experimental.....	18
3.10.2. Etapa experimental.....	23
IV. RESULTADOS.....	33
4.1. Composición química y nutricional de la pastura tropical.....	33
4.2. Consumo de forraje.....	34
4.3. Emisión de metano por toretes de carne en pastoreo continuo.....	35
4.4. Rendimiento de metano por unidad de consumo.....	36
V. DISCUSIÓN.....	37
5.1. Composición química y nutricional de la pastura tropical.....	37
5.2. Emisión de metano por toretes de carne en pastoreo continuo.....	38
5.3. Rendimiento de metano por unidad de consumo.....	39
VI. CONCLUSIONES.....	41
VII. RECOMENDACIONES.....	42
VIII. ABSTRACT.....	43
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
X. ANEXOS.....	57

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Adaptación de los animales con los primeros canister.....	18
Figura 2. Calibración de tanques de colección tipo yugo.....	19
Figura 3. Presurización y limpieza de tanques con N ₂	20
Figura 4. Calibración de líneas de flujo.....	21
Figura 5. Aplicación de las capsulas SF ₆	22
Figura 6. Calibración de tubos de permeación de hexafluoruro de azufre.....	22
Figura 7. Marcación y aretados de los animales.....	23
Figura 8. Colecta de heces.....	24
Figura 9. Sistema de vacío para viales y colecta de gases.....	25
Figura 10. Colección de muestra de pasto.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Composición química en base seca de la pastura tropical con predominancia del pasto Camerún (<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitch) bajo condiciones de pastoreo continuo con toretes de la raza Brahman durante la época de lluvias.....	33
Cuadro 2. Producción de heces, digestibilidad y consumo por toretes de raza Brahman bajo condiciones de pastoreo en una pastura tropical con predominancia del pasto Camerún (<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitch) durante la época húmeda, en Tulumayo-CIPTALD.....	34
Cuadro 3. Emisión de metano entérico por animal bajo condiciones de pastoreo continuo en pastura tropical con predominancia del pasto Camerún (<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitch) durante la época húmeda, en Tulumayo-CIPTALD.....	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 en pastura tropical con predominancia del pasto Camerún (<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitch) durante la época húmeda, en Tulumayo-CIPTALD.....	36

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo	Página
ANEXO 1. Peso vivo (PV) de los catorce (14) toretes de raza Brahman pastoreados en pastura tropical con predominancia del pasto Camerún (<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitch) durante la época de lluvia, en Tulumayo- CIPTALD.....	58
ANEXO 2. Calibración de tubos de permeación de Hexafluoruro de azufre (SF ₆).....	59
ANEXO 3. Tasa de permeación de tubos.....	61
ANEXO 4. Calibración de tanques de colección tipo Yugo.....	62
ANEXO 5. Calibración de Líneas de Flujo.....	63
ANEXO 6. Componentes de la pastura tropical de los 9 días de muestreo.....	64
ANEXO 7. Composición química a base seca del pasto Camerún (<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitch) muestreados antes, durante y al final de la etapa experimental.....	65
ANEXO 8. Heces, digestibilidad y consumo, utilizando dos indicadores Dióxido de Titanio (TiO ₂) y Óxido Crómico (Cr ₂ O ₃).....	66
ANEXO 9. Metano por día o animal.....	67
ANEXO 10. Rendimiento de metano por unidad de consumo de materia seca (CMS), Materia orgánica (CMO), fibra detergente neutra (CFDN) y energía bruta (CEB) o YM (%).	68

RESUMEN

La investigación se realizó en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexo la Divisoria y Puerto Súngaro (CIPTALD) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de Tingo María–Aucayacu. Con el objetivo de determinar las emisiones de metano entérico utilizando la técnica del trazador de azufre (SF_6) a partir del pasto Camerún (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch) en condiciones de pastoreo continuo con toretes de carne durante la época de lluvia. Para ello se utilizaron 14 toretes de la raza Brahman con un peso promedio de 280 kg PV, con una edad promedio de 15 meses de edad, se utilizó una estadística descriptiva. Los animales fueron sometidos a pastoreo extensivo y continuo durante 9 días. Se evaluó la composición química, consumo de alimento, producción y rendimiento de CH_4 entérico. El consumo de materia orgánica (MOI) fue mediante la técnica de colección parcial de heces usando 2 marcadores óxido de cromo (Cr_2O_3) y dióxido de titanio (TiO_2). El valor nutritivo del pasto en función a la composición química, digestibilidad y consumo fue de: MS 28.56%, MO 90.6%, Cz 9.4%, PC 8 %, FDN 66 %, FDA 35.01 %, EB 3824.30 kcal/kg; DAMO 66.7% y CMS 8.86 kg/animal/día. La emisión de CH_4 entérico por animal fue de 217.6 gr/torete con un promedio de 165.5 ± 29.9 gr CH_4 /torete; mientras que la emisión por día fue de 142.6 a 188.5 gr/día y promedio de 165.5 ± 42.7 gr CH_4 /día. El rendimiento de CH_4 por unidad de CMS, CMO Y CFDN fue de: 19.20 g CH_4 /kg; 25.53 g CH_4 / kg MO, 28.85 g CH_4 / kg; mientras que se obtuvo un YM de 6.59 %. Se concluye que la época de lluvia influyó positivamente al mejorar el valor nutritivo del pasto Camerún y por ende en la disminución de la emisión de metano entérico por toretes cebuinos sometidos a un sistema de pastoreo extensivo y continuo.

Palabras claves: Hexafluoruro de azufre (SF_6), Marcadores óxido de cromo (Cr_2O_3) y dióxido de titanio (TiO_2) y Metano.

I. INTRODUCCIÓN

Los gases que se encuentran en la atmósfera y que atrapan la radiación es conocido como gas de efecto invernadero (GEIs), el aumento de la concentración de estos gases, ha llevado al aumento de la temperatura atmosférica en la tierra, llamado calentamiento global, entre los más principales están: Óxido Nitroso (N_2O), Dióxido de Carbono (CO_2) y Metano (CH_4), lo cual este tercero es uno de los más importantes, ya que está asociada a las actividades antropogénicas, siendo la actividad ganadera contribuyente con un 18% del total de emisiones (GERBER *et al.* 2013).

La exigencia en garantizar la seguridad alimenticia de una población mundialmente creciente, nos lleva el hecho de aumentar la productividad del número de animales, en el rubro bovino, para producir leche o carne (STEINFELD *et al.* 2006). Por otra parte (GÓMEZ y FERNÁNDEZ, 2009) mencionan que es importante conocer los factores: nutricionales, fisiológicos y ambientales que generan cambios en la emisión de CH_4 posteriormente permitirá evaluar diferentes estrategias para la mitigación de producción de CH_4 en condiciones de selva.

La información científica y técnica sobre los gases emitidos por los sistemas ganaderos en el Perú, es escasa. Debido a que las estimaciones existentes de GEIs se basan en informaciones externas que no están relacionadas con la condición particular de prácticas de manejo, clima y suelo, ya que la ganadería de la selva es extensiva y convencional. En la actualidad no contamos con información de

registros de valoración en emisión de CH₄ por efecto en la producción de toretes cebuínos en pastoreo, los cuales permiten generar la siguiente interrogante:

¿Cuál será la influencia de la época de mayor precipitación del ecosistema de ceja de selva, sobre el valor nutritivo y las emisiones de CH₄ entérico producidas por toretes cebuínos en condiciones de pastoreo de una pastura dominada por el pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch? Para ello se plantea la siguiente hipótesis: el valor nutritivo del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch así como las emisiones de CH₄ producidas por toretes cebuínos a partir del pastoreo del pasto Camerún son altamente influenciadas por la época de mayor precipitación del ecosistema de ceja de selva. Para ello se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general.

- Determinar las emisiones de metano entérico utilizando la técnica del marcador hexafluoruro de azufre (SF₆) a partir de la pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch en condiciones de pastoreo continuo con toretes de carne durante la época de lluvia, en Tulumayo - CIPTALD.

Objetivos Específicos.

- Determinar el valor nutritivo a partir de la pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch en función a la composición química, digestibilidad y consumo durante la época de lluvia, en Tulumayo - CIPTALD.
- Determinar la emisión y producción de metano entérico por unidad de consumo de Materia Seca, Fibra de Detergente Neutra y Porcentaje de Energía Bruta Ingerida por toretes en condiciones de pastoreo continuo a partir de la pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época de lluvia, en Tulumayo - CIPTALD.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ganadería y Ambiente

COPENHAGUE (2009) menciona que los efectos del cambio climático está cambiando el ecosistema de la tierra y poniendo en peligro el bienestar de la generación actual y a futuras, para mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2°C y evitar peligrosos cambios climáticos, el sector ganadero mundialmente contribuye con una parte en las emisiones de GEIs antropógenas, en vista a la necesidad de asegurar cada vez más la seguridad alimentaria de una población mundial creciente, FORSTER *et al.* (2007); GERBER *et al.* (2013) y IPCC (2007).

MODERNEL *et al.* (2014) indican que la ganadería en la selva, es cuestionada por estar vinculada con la deforestación, baja productividad, y degradación de suelos, por lo que su producción afecta la sostenibilidad medio ambiental. Así mismo, para reducir el cambio climático hay que incentivar con un sistema ganadero sostenible que promueva la conservación de agua y suelo, para disminuir la emisión de gas de efecto invernadero que favorezcan la producción agropecuaria, mencionados por (ARÉVALO *et al.* 1998). En relación con esto, mencionan que para satisfacer las necesidades de una población mundial creciente en los últimos años llevó a una ganadería y agricultura a gran escala, sin controlar las consecuencias sobre el ambiente, manifestado por GAUDÍN (2010).

2.2. Metano

GERBER *et al.* (2013) mencionan que es producto de la degradación de la MO en condiciones anaeróbicas, principalmente en rumiantes (vacuno y ovino producen mayor cantidad) y herbívoros, la celulosa y otros CHO se digieren gracias a la ayuda de la actividad bacteriana, llamado fermentación entérica, producido por microorganismos que liberan CH₄, dependiendo de la cantidad emitida del tipo de animal, calidad y cantidad de alimento que ingiere. El CH₄ se produce en la digestión y se elimina por la boca o heces en forma gaseosa.

BLAXTER y CLAPPERTON (1965) mencionan que el manejo, almacenamiento y descomposición de estiércol producen emisión de CH₄. La mayor emisión se produce en el manejo en sistema líquido (estiércol), como: corrales de engorde de vacunos (leche), crianza intensiva en porcinos, y almacenamiento húmedo de estiércol en producción avícola. Otra fuente de emisión es el cultivo de arroz, ya que hay microorganismos en el suelo, debajo del agua que emiten CH₄, y su transporte a la atmósfera es facilitado por los tallos de la planta; similar ocurre en las represas hidroeléctricas, con distintas intensidades de emisión según el contenido de MO del suelo bajo agua.

2.3. Importancia del metano (CH₄) como GEI

IPCC (2007) menciona que el calentamiento global está asociado al aumento de las emisiones de GEIs hacia la atmósfera. Estas emisiones cobran relevancia en lo que respecta al efecto invernadero, ya que el CH₄ tiene un poder de calentamiento 25 veces mayor al CO₂. Cada kg liberado a la atmósfera contribuye con el calentamiento global, tanto como emitir 25 kg de CO₂, calculado para 100 años, manifestados por (CAMBRA *et al.* 2008). Aproximadamente el 70% de las emisiones están relacionadas con las actividades humanas y los rumiantes son

responsables del 25% de dichas emisiones (MAKKAR y VERCOE, 2007).

2.4. Producción de metano por rumiantes

CHURCH (1990) manifiesta que el alimento que ingresa al aparato digestivo no está directamente disponible para ser usado por el animal. Por lo que, pasa por una acción mecánica (masticación), que reduce su tamaño de partícula del alimento, pero no es suficiente para su absorción de nutrientes. Luego, el alimento pasa por una transformación en el rumen por acción de la rumia y microorganismos ruminales, lo cual fermenta una parte de los componentes del alimento ingerido (pectinas, almidón, hemicelulosa y celulosa). Así mismo DE BLAS *et al.* (2008) y MARTIN *et al.* (2009) mencionan que de esta fermentación obtienen energía los microorganismos para realizar su función y el animal utiliza una parte del alimento (AGV) de otra forma le resultaría indigestible.

La relación de AGV producidos, promueve la producción de CH₄ (JOHNSON y JOHNSON, 1995), indican que la formación de butirato y acetato liberan hidrogeno que generan la producción en CH₄. Dando como producto final la fermentación microbiana de los hidratos de carbono del alimento; formado por las *Arqueobacterias* (anaerobias), son sensibles a los cambios en el medio ruminal, (6,5 hasta 7,0 de pH) similar a las bacterias celulolíticas (MARTIN *et al.* 2009) Así mismo mencionan, que el CH₄ no puede ser utilizado por el animal y es eliminado en mayor cantidad por eructo o exhalación junto con otros gases que se encuentran en el rumen.

Por ende, para el animal su formación representa una pérdida del 2 hasta 12% de EBI en el alimento, resultando una fuente de emisión de GEIs hacia la atmósfera, descrito por PINARES y PATIÑO *et al.* (2003); JOHNSON y JOHNSON (1995). El IPCC (2007) menciona que el Ym depende de la digestibilidad y calidad de

la dieta, así mismo, proponen valores de Y_m de 2% (90% a base de concentrados) hasta 7,5% (vacunos en diferentes sistemas de producción pastoril). El valor Y_m de IPCC para animales en pastoreo: 6,5% (19,8 g CH_4 /kg de MSC), ya que todos los alimentos tienen 4,4 M kcal de EB/kg MS y el metano tiene 13.3 Mcal/kg, de Y_m). Así mismo la EBI es conocido como rendimiento de metano (Y_m) (LASSEY, 1997).

La producción de CH_4 por parte de los microorganismos del rumen oscila de 300 hasta 600 L/año en ganado adulto, reportado por GONZÁLEZ (2005), esto significa un total de 80 a 110 millones de toneladas/año. La producción en CH_4 ocurre a través del proceso fermentativo (rumen), realizado por bacterias metanogénicas en condición anaeróbica (*Archaea*), por lo que, está asociada con la cantidad de acetato y propionato presentes en el rumen, donde a > concentración de acetato > es la producción, e inversamente, cuanto más propionato presente (rumen), < es la concentración de CH_4 , mencionado por (MOSS *et al.* 2000).

MCCAUGHEY *et al.* (1999) mencionan que 87% de la producción se da en el rumen y 13% en el tracto digestivo. Es decir que 89% se absorbe hacia la sangre para ser expirado por medio del pulmón. El 98% es producido por rumiantes y expirado (boca y orificios nasales). En bovinos (5.5 - 6.5%) del total de energía consumida suministrada en la dieta, así mismo reportan valores de 2 y 12% (pastoreo en clima templado). Cuando la dieta es con forraje de baja calidad nutritiva la producción de CH_4 es de 15 hasta 18% de energía digestible. Se considera que la deficiencia nutricional de estos valores se reduce en un 7% (MONTENEGRO y ABARCA, 2000).

BLAXTER y CLAPPERTON (1965) mencionan que animales que ingieren forrajes de alta digestibilidad generan menor cantidad de CH_4 por unidad de producto (leche, carne) frente a los que consumen forrajes de baja digestibilidad, esto se debe que el alimento con tasas lenta en degradación producen más que aquellos que se fermentan a tasas más rápidas, corroborado por (MCCRABB, 2002). Los

rumiantes contribuyen un 18 hasta 20% CH_4 /año mundialmente, es una de las fuentes que puede ser reducida por medio de estrategias alimenticias, manifestado por GIBBS *et al.* (1989). Así mismo depende del consumo de forraje que a veces es de baja calidad nutricional ya que limita la disposición de energía y proteína microbial que incrementa la producción, descrito por LENG (1993).

2.5. Emisión y rendimiento de metano por rumiante

El vacuno es el generador primario de las emisiones de CH_4 del sector con 65% provenientes de la actividad pecuaria. Sin embargo el vacuno de carne (carne y productos no comestibles) y leche (carne, leche, y productos no comestibles) generan similar cantidad de emisiones de GEIs. La carne del ganado vacuno es un producto indispensable, con un nivel alto y intensidad de emisión, contribuye 41% de la producción total del sector pecuario, a diferencia de la leche de vaca fue 20% descrito por (GERBER *et al.* 2013).

2.6. Factores de emisión de CH_4 por la producción en vacunos en condiciones de pastoreo continuo.

MOSS *et al.* (2000) indican que la producción de CH_4 dependen de 2 factores: intrínseco del animal (especie, edad, peso, fisiología digestiva y estado fisiológico) y extrínseco asociado al alimento (composición e ingestión), por esta razón el rumiante genera y emite una mayor cantidad en CH_4 . En cambio un animal joven presenta una menor tasa de conversión a diferencia de un animal adulto, esto se debe a un número menor de actividades de microorganismo ruminal encargado de la actividad fermentativa.

BLAXTER y CLAPPERTON (1965); AGUILERA y PRIETO (1991) manifiestan en cuanto a los factores extrínsecos, que la producción de CH_4 va depender de la calidad y cantidad del alimento, por lo que la cantidad de CH_4 liberado

aumenta con la cantidad de alimento que se ingiere, aunque la tasa de producción por kg de alimento consumido tiende a disminuir al aumentar el nivel de alimentación. Éste cambio ocurre cuando se aumenta la ingesta de MS, acelerando el paso del alimento hacia el aparato digestivo que disminuye el tiempo disponible para el proceso de fermentación (rumen), la proporción de EB que se pierde en forma de CH_4 está más afectada por la composición, que por la cantidad del alimento, descrito por (HINDRICHSEN *et al.* 2006).

2.7. Métodos para el cálculo de emisión de metano.

2.7.1. Técnicas para la medición de metano.

Técnicas cerradas o calorimétrica de respiración: Cajas en la cabeza o capuchas ventiladas, cámaras cerradas y máscaras faciales se usan de manera eficaz para medir la producción de CH_4 DE RAMUS *et al.* (2003). Se determinan por mediciones del flujo de aire por el sistema y las diferencias en las concentraciones entre aire inspirado y espirado. La ventaja está en la medición de CH_4 que proviene de las fermentaciones ruminales como la del tracto posterior. Sus desventajas radican en la mano de obra, mantenimiento, restricción de movimientos del animal y costos de construcción.

Técnica con trazadores. Como técnica individual y en condición de pastoreo la más utilizada es el trazador hexafluorosulfuro de azufre (SF_6) descrito por Kristen A. Johnson Y Hal H. Westberg, Universidad Estatal de Washington, Pullman, Washington, EE.UU, esto se basa que del 95% de CH_4 ruminal producido en el rumen el 87% (eructado) y 89% (intestino grueso), el 11% se elimina a través de los pulmones (JOHNSON *et al.* 1994). La ventaja es que no limita al animal en su comportamiento (pastoreo), reportado por McCAUGHEY *et al.* (1999). A su vez (DE RAMUS *et al.* 2003) determinaron un 93 hasta 98% de CH_4 total producido.

El fundamento se basa que 99% de las producciones en metano se exhala por nariz y boca, 83% (eructo) y 16% (exhalación), introduciendo (rumen) capsulas de hexafluoro de azufre para ser liberado (eructos) con el CH_4 , la cantidad total de SF_6 es liberado en el momento de colecta, y multiplicado por la cantidad de concentración, obteniendo la emisión de metano (MURRAY *et al.* 1976). Así mismo (DE RAMUS *et al.* 2003) indican como una técnica sencilla, ya que la muestra de gas eructado es obtenida de un tubo capilar, que conecta a un colector del cuello del animal, finalmente se recolecta la muestra desde el colector presurizando con N_2 , el metano y el trazador SF_6 son determinados por cromatografía de gases.

Ecuación de predicción. Este método permite calcular la emisión a través de la distribución de los AGV, fue desarrollado por WOLIN, 1960. Debido que el balance fermentativo se usa para predecir la producción de CH_4 por conversión de CHO de la dieta a AGV, se asume que todo el exceso de H_2 se convierte en CH_4 y no hay H_2 asociado con la síntesis de células microbiales y que de la fermentación del sustrato no carbohidratado no se producen AGV. Es una técnica criticada, pero útil para propósitos comparativos (VAN KESSEL y RUSSEL, 1996).

La fracción de EB del alimento que se transforma en CH_4 es conocido como factor de conversión de EB en CH_4 (Y_m); su valor depende de la digestibilidad y calidad de la dieta. La relación negativa que existe con la digestibilidad y el Y_m , es que a medida que aumenta la digestibilidad, tiende a disminuir el Y_m . Su valor varia de 2 hasta 12% de energía ingerida por el animal para diferentes dietas (IPCC, 2006) así mismo para el ganado bovino varían de 2 hasta 7,5%, corresponde a una digestibilidad de 45 hasta 85%, esto depende del tipo de alimento, los diferentes tramos de digestibilidad para forrajes es de 45 hasta 55%, en los pastos es de 55 hasta 75% y en alimentos concentrados de 75 hasta 85%.

Método fermentativo in vitro. Estudios en digestión y fermentación cumplen un rol importante en la nutrición y fisiología del rumiante, la simulación in vitro del medio ambiente ruminal es efectiva y eficiente por su rapidez y bajo costo de operación. La más conocida es la de TILLEY y TERRY (1963). La desventaja es el tiempo para realizar un análisis, la cantidad de pasos ya que la muestra no tiene flujo de recambio.

2.8. Pasto Camerún.

El pasto *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch es una gramínea erecta y perenne, con altura (1.50 m), sus hojas miden (de ancho 5 hasta 15 cm) y (de largo 40 hasta 60 cm), colores purpuras o rosáceos, es acuática, nódulos de suave consistencia, tallo grueso con una cantidad de número de tallos subterráneos lo cual se adaptan a zonas de bajo nivel freático es decir suelos secos que están sujeto a inundaciones (DA CRUZ y SOTO, 1994). Su producción varía de 8 hasta 12 t/ha/año, el contenido de PC en pastoreo bien manejada es de 10 hasta 13% y digestibilidad de 50 hasta 55%, descrito por RODRIGUEZ *et al.* (2009) Así mismo VERA (2014) reporta en altitudes de 0 msnm hasta 1200 msnm crece este pasto, por lo que recomiendan el consumo en pastoreo rotativo en el caso de bovinos.

El contenido de proteína a los 40 días de edad del pasto es de 10% hasta 13%, es decir disminuye a medida que avanza en edad por lo que puede soportar altas cargas (pastoreo rotacional), por lo que, la calidad nutricional del pasto tiende a variar en forma inversa según la edad de cosecha; la MS tiende a aumentar al incrementarse la edad del forraje, citado por MANRIQUE (1998).

CARRIEL (2014) reporta un trabajo, donde obtuvo la composición química nutricional (75% humedad, 20% MS, 11% PC, 2% extracto etéreo, 43% FC, 9% ceniza, 89% MO, 59% FDA, 35% FDN), por otro lado VERA (2014) reportó 74%

de humedad, 16% de ceniza, 15% de proteína y 33% de FC.

2.9. Efecto de las características del forraje sobre la producción de metano.

HARPER *et al.* (1999) Indican que una dieta a base de forraje representa mayor Ym que una dieta a base de concentrado, por otro lado (RAMÍREZ *et al.* 2015 y BARRY, 2000) corroboran que se debe a que existen diferencias de pérdidas de EBI como CH₄ en función al tipo de forraje. Las leguminosas de alta calidad nutricional producen menores emisiones por unidad de MSI. A su vez las gramíneas producen mayor pérdida de EBI como metano frente a las leguminosas, ya que las gramíneas brindan mayor nivel de fibra que estimula la rumia, menor tasa de pasaje y mayor tasa de fermentación, con altos niveles de acético e H₂, los cuales afecta la metanogénesis (WAGHORN, 1996 y WOODWARD, 2001).

BRANINE y JOHNSON (1990) mencionan la emisión en CH₄ a partir de una dieta con alto concentrado fue de 1,9 - 2,2% (grano) y 8,2% (pastoreo) ya que al suministrar alimentos concentrados para el rumiante mejora el rendimiento del nutriente por su alta digestibilidad y la rápida fermentación, que permite una < producción y > eficiencia. Al utilizar un alto nivel de alimento concentrado, permite reducir el 2% de la producción de GEIs, principalmente para reducir la producción de CH₄ entérico (BEAUCHEMIN, 2011).

2.10. Trabajos de metano en especies forrajeras.

2.10.1. Especies forrajeras y la emisión de CH₄ entérico.

MIERES *et al.* (2002) manifiestan que las pasturas nativas producen mayor cantidad por unidad de MSC que una pastura mejorada. Mientras que los forrajestropicales producen más (> 8%) por g/kg de EBC frente aquellos forrajes de zonas templadas (7%) esto se debe a la proporción mayor de CHO estructurales

presente en los primeros (CLARK *et al.* 2005).

PRIMAVESI *et al.* (2003) indican que la emisión en animales en pastoreo alimentadas con caña de azúcar (con > y < contenido de FDN) producen 30% menos de CH₄ por unidad de PV en relación a dietas con altos contenidos de carbohidratos estructurales. Así mismo ELLIS *et al.* (2012) sugieren que forrajes con mayor concentración de proteína disminuyen la producción por unidad de producto (13%).

HUNTER (2007) reportó la producción de CH₄ en toros jóvenes (Brahmán) donde se les suministraron una dieta a base de gramíneas tropicales (*Dichanthium aristatum* y *Chloris gayana*) frente a aquellos que consumieron alfalfa (*Medicago sativa*), tuvieron emisiones por unidad de ganancia de peso 4 veces mayor que aquellos animales alimentadas con gramíneas comparado con las leguminosas. Así mismo KURIHARA *et al.* (1998) indican que la emisión en condiciones tropicales con diferentes dietas a base de pasto *Angleton*, pasto *Rhodes* y una dieta alta en granos fue de 75, 65 y 32 g CH₄/Kg MOD, respectivamente.

CANESIN (2009) indica que la emisión de CH₄ en bovinos en el sistema de pastoreo, en *Urochloa brizantha cv Marandu*, en diferentes meses del año, utilizando la técnica in vitro, que la emisión obtenida en el mes de noviembre fue de (36,8 ml/g MS) presentó volúmenes superiores en relación a los valores obtenidos en el mes de septiembre (25,9 ml/g MS). Además, este mismo autor menciona que al usar la técnica del gas trazador hexafluorosulfuro de azufre, hubo mayor producción de CH₄ por los animales en el mes de noviembre en relación al mes de septiembre encontrando valores de 176,8 hasta 311 CH₄ g/día.

2.10.2. Consumo voluntario y producción de CH₄ entérico.

BUDDLE *et al.* (2011) manifiestan que el CMS es el factor primario que interviene sobre la emisión de CH₄. Otros autores evaluaron el efecto del consumo sobre la producción, hallaron una relación con la cantidad de alimento y digestibilidad de la dieta, presentando una mayor producción en dietas con baja digestibilidad a un nivel de consumo de mantenimiento. Por el contrario, en dietas con alta digestibilidad a un nivel de consumo tres veces mayor al de mantenimiento tiende a disminuir la producción de CH₄ (30%) BLAXTER y CLAPPERTON (1965).

JHONSON y JHONSON (1995) mencionan que un sistema de alta tecnificación la producción anual de CH₄ en animales adultos varía de 60 hasta 126 kg, por otro lado, DERAMUS *et al.* (2003) reportaron que la producción anual de CH₄ por novillas de carne en pastoreo varía de 32 hasta 83 kg (87.7 g hasta 227.4g CH₄/día) y en vacas adultas de 60 hasta 95 kg (164.4 y 260.3 g CH₄/día), que pastoreaban en diferentes de pasturas. El valor más alto en cada tipo de animal, corresponde a las gramíneas de baja calidad nutricional (sistema de pastoreo continuo) y baja disponibilidad forrajera, mientras que el valor más bajo corresponde a praderas mejoradas (sistemas de pastoreo rotacional), fertilizadas y con alta disposición forrajera.

RAMÍREZ *et al.* (2015) reportaron en vacunos de diferentes años de edad (mayores de 1 año y menores a 6 años de edad) emisiones de CH₄ en vaquillas de 24.5 y en vacas de 23.8 g CH₄/Kg MSC, se concluye que la edad no afecta en la producción por kilogramo consumido.

Así mismo CLARK *et al.* (2005) indican que no hay diferencias significativas en la producción por g/kg de MSC entre forrajes maduros y tiernos, la producción en CH₄ es < por kilogramo de producto animal en un forraje tierno, esto se debe al aumento en productividad del animal. Por su parte (MARTIN *et al.* 2009)

mencionan que la producción < en forraje tierno está ligado a la concentración > (> tasa de paso, azúcar soluble y ácido linolénico).

DEMARCHI *et al.* (2003) mencionan que la producción de CH₄/MSC en bovinos fue menor a 26% en el periodo de mayor precipitación para animales en confinamiento, reportando emisiones por kilogramo de CFDN de 22,93 g/kg CH₄/FDNC y 3.75% de CH₄/CEB. Además, durante las evaluaciones de verano se obtuvo, una mayor emisión de 46,7 g/kg MSC que durante las demás estaciones. Así mismo, las emisiones durante la primavera tuvo una tendencia de valores más bajos con relación al invierno fue 35 g/kg MOC y 39,7 g/kg FDNC, estas diferencias se deben al contenido bajo de FDN (primavera) y la digestibilidad alta de componentes de fibra (verano).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y fecha del proyecto

El proyecto fue llevado a cabo en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anexos la Divisoria - Puerto Súngaro (CIPTALD-PS) que pertenece a la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), situado a 26 Km en el margen derecho del río Huallaga, carretera Aucayacu - Tingo María, localidad Santa Lucia, distrito José Crespo y Castillo; provincia de Leoncio Prado y región Huánuco, con una altitud de 628 m.s.n.m, geográficamente está ubicada a 09° 08' 49.40" de latitud sur y 76° 00' 33.97" de longitud oeste, temperatura promedio anual de 25.9°C, humedad relativa 81.4%, precipitación 3500 mm por año; una zona de vida de Bosque Muy Húmedo – Premontano tropical (BMH - PT) SENAMHI (2017).

Periodo de estudio de 06 meses, que comprende una etapa pre - experimental de 02 meses desde la elección y adaptación de los animales, colocación de tanques, jáquimas y líneas de colección, así como la colocación y monitoreo de los tubos de permeación. Con una etapa experimental de 09 días, que comprende: colecta de gas y colecta de muestra de la pastura con predominancia de Camerún.

La presente investigación se realizó en época de mayor precipitación entre los meses de enero a marzo 2017.

3.2. Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde al tipo de investigación descriptiva.

3.3. Animales en estudio

Se utilizaron 14 toretes de la raza brahman (12 experimentales y 02 animales para colectar metano ambiental), con un peso promedio de 280 ± 67.1 kg de PV, con edad promedio de 1 a 1.5 años, provenientes del Centro de Investigación y Producción Tulumayo, UNAS – TINGO MARÍA. Se realizó el pesaje de los animales con cinta bovino métrica, los cuáles fueron acondicionados al manejo y alimentación similar durante su estancia. Antes de iniciar el estudio fueron sometidos a un manejo de adaptación.

3.4. Instalaciones, materiales y equipos.

Se ocupó un área total de 1.5 hectáreas aproximadamente para pastoreo cercado con postes de madera, alambres de púa y grapas de acero dividido en dos potreros con sembrío de pasto *Echinochloa polystachya* y proporciones pequeñas de pasto natural con leguminosas, fertilizados con urea con 46% nitrógeno (50 kg N/ha/periodo de pastoreo) y superfosfato triple con 46% fósforo (92 kg P/ha/año), en cuyo compartimiento se contó con un establo construido con tubos de fierro, techo de eternit y columnas de concreto, en el cual se contó con una manga tipo embudo, guillotina hecha a base de madera que facilito el manejo de los toretes de carne, que cuenta con un comedero y bebedero a base de cemento.

Materiales y equipos:

Colecta de gases: Aretes, jáquimas, lanza bolo, tubos de permeación, tanques de colección de policloruro de vinilo (PVC) tipo yugo, líneas de flujo, Viales, jeringas, agujas, tijera, rafia, cinta aislante, cromatografo, tanque cargado de N_2 y marcadores.

Muestra de pasto: Marco de m^2 , tijera podadora, plástico, costales, bolsas de papel, una balanza de 5 kg, 01 cuaderno, lapicero y cámara fotográfica.

3.5. Alimentación

La alimentación de los toretes, consistió del pasto tropical Camerún, leguminosas y gramíneas, sometidos a pastoreo continuo en un sistema extensivo también se le adiciono sales minerales y agua fresca, durante 10 días. En el potrero con disponibilidad de forraje de 3908.27 kg materia seca (MS)/ha. Los animales fueron distribuidos al azar. Tomando en cuenta que fueron pesados antes de realizarla etapa experimental.

3.6. Sanidad

Previo al ingreso de los animales al área de estudio fueron vacunados de acuerdo al calendario sanitario de la zona en estudio utilizando una bacterina triple (BACTERINA TRIPLE C.E.S. ® 5ml/animal/IM) y contra la rabia (NOBIVAC® 5 ml/animal vía IM). Así mismo, fueron dosificados contra parásitos internos y externos con doramectina 1% (DORAMEC®/1 ml x 50 kg PV vía IM). De igual manera, se suplemento con vitaminas liposolubles A.D.E (ADEFARM®/ 5 ml/animal vía IM).

3.7. Variable independiente

–Pastura tropical con predominancia de *Echinochloa polystachya*

–Tasa de liberación de SF₆ de la cápsula

3.8. Análisis estadístico

Las mediciones realizadas en el animal y pastura fue analizada e interpretada mediante una estadística descriptiva que consta de: Coeficiente de Variación, Desviación Estándar y Promedio.

3.9. Variables dependientes

- Producción de CH₄ por animal (g/torete/d).
- Rendimiento de CH₄ (g) por kilogramo de Materia Seca Consumida (MSC), Materia Orgánica Consumida (MOC), Fibra Detergente Neutra Consumida (FDNC), Energía Bruta Ingerida (Y_m).

3.10. Metodología

3.10.1. Etapa pre-experimental.

Adaptación de los animales, antes de pasar a la etapa experimental los toretes de carne fueron sometidos a un manejo de adaptación durante 3 meses de los cuales tuvieron que adaptarse a los primeros canister, se utilizaron bozales diseñados para este tipo de trabajos ya que suelen ser apropiados para evitar la pérdida de muestras debida al contacto entre animales. En cada bozal se colocaron sus respectivas líneas capilares de adaptación, una vez que estén adaptados se procederá a colocar los canister y líneas capilares lo que permitirá en la etapa experimental la obtención de muestras duplicadas de cada animal (Figura 1).



Figura 1. Adaptación de los animales con los primeros canister.

Calibración de líneas de flujo y tanques de colección tipo yugo. Se realizó 4 meses antes de la etapa experimental, se evaluaron por tres días consecutivos cada 24 horas con un sistema de vacío y presurización para obtener la presión del tanque (P_i y P_f), los resultados obtenidos se deberán ajustar a un % de flujo de tanque no mayor a 3% y las líneas no menor a 20% ni mayor a 50% (36% promedio), (Figura 2).



Figura 2. Calibración de tanques de colección tipo yugo.

Al final de la colecta se evaluó la presión del tanque, descartando aquellos (muestra) que presentan presión anómala. Una vez hecho los análisis de gas, cada tanque fue limpiado con N_2 y llevados a presión negativa (932.26 mbar), 24 horas antes de usarlos nuevamente (Figura 3).



Figura 3. Presurización y limpieza de tanques con N₂.

Líneas de flujo. Las líneas de muestreo de gas se construyeron con una manguera de nylon (1/8" diámetro), el extremo inicial cuenta con un filtro de humedad (Swagelok) unido al conector «Y» (inlet) de plástico que sirve como ingreso del gas. Al otro extremo de la línea de colecta se colocó un conector macho (Swagelok) para una rápida conexión al cilindro de colección. La línea de muestreo se protegió con una cinta aislante para evitar la condensación de humedad en su interior y los efectos de la radiación del sol (Figura 4).



Figura 4. Calibración de líneas de flujo.

Aplicación de las capsulas de permeación. 07 días antes de empezar el experimento y con efecto de procurar una estabilización de la concentración de Hexafluoruro de azufre, los toretes fueron introducidos a un corral de manejo donde fueron sometidos a un ayuno, luego se introdujo en el rumen de cada animal una capsula emisora de SF_6 , (7) días antes de iniciar el trabajo (DEIGHTON *et al.* 2014 y JOHNSON y JOHNSON, 1995) y una tasa de permeación calibrada en mg/d (Máximo: 6.59 mg/d, Mínimo: 5.11 mg/d y $r^2 = 0.99$), a los 12 toretes utilizando un lanza bolo. Se registró los datos de gas eructado y respirado/animal, y finalmente se realizó un análisis de la concentración de metano y Hexafluoruro de azufre de la muestra colectada para tener un resultado por medio de una ecuación de cálculo (Figura 5).



Figura 5. Aplicación de las capsulas SF₆.

Los tubos de las capsulas SF₆ fueron calibradas por un periodo de 56 días mantenidos en una estufa (39°C) con aire forzado y velocidad (10 cc/min) del aire circulante (Figura 5) realizando el pesaje cada 3 días por semana a la misma hora, los valores se estimaron mediante una regresión lineal (masa vs. tiempo), (Figura 6).



Figura 6. Calibración de los tubos de permeación de hexafluoruro de azufre.

Reconocimiento de los animales. Posteriormente los animales fueron aretados para facilitar el manejo en la manga y luego fueron escogidos al azar para ponerles una marca indicando el tipo de marcador (7 Titanio y 7 Cromo) que será dosificado a cada animal (14 animales), (Figura 7).



Figura 7. Marcación y aretados de los animales

3.10.2. Etapa experimental

Mediciones en los animales experimentales:

Dosificación de marcador. Los marcadores que fueron dosificados al azar cada torete fueron titanio y cromo (25 gr/torete/día de TiO_2 o Cr_2O_3 en capsulas de gelatina), la dosificación del marcador se realizó 1 vez por día al medio día durante (7) días consecutivos de adaptación con la ayuda de un lanza bolo ruminal.

Digestibilidad de materia orgánica de las pasturas. La Materia Orgánica ingerida (MOI kg/d) por torete fue calculada usando óxido de cromo (Cr_2O_3) y titanio (TiO_2) para estimar la excreción fecal de MO (kg MO/d) por medio del

contenido de nitrógeno fecal y contenido de fibra detergente ácida fecal para el cálculo de la digestibilidad de la MO de la pastura consumida por los toretes, a partir de la ecuación de indicadores fecales ajustada por LUCAS *et al.* (2005).

$$\text{DMO} = 72.86 - 107.7 \times e^{\left(-0.01515 \times \frac{\text{PCf} [\text{g}/\text{kg MO}]}{100}\right)}$$

Dónde:

Digestibilidad de la MO = DMO

Contenido de proteína cruda en la MO fecal = PCf

Colección de heces. Las heces fueron colectadas durante 7 días en un recipiente de plástico, se obtuvo 01 muestra por (14 animales) donde fueron mezcladas todas las muestras con el fin de obtener 01 muestra compuesta (por animal), (Figura 8).



Figura 8. Colecta de heces.

Colección de gases. Se colocó diariamente un sistema de colección paragases por animal que consistió en que cada torete de carne fue asignado al azar a un canister de PVC tipo yugo de forma cilíndrica (capacidad de 2 L), el cual fue conectado a una línea capilar también al azar calibrado para proveer un flujo de inicio (0.74 a 0.75 cc/min) que fueron colocados al inicio del filtro de humedad. La colección fue de manera continua (12:00 pm) hasta el día siguiente, realizando el retiro y remplazo cada 24 horas con un periodo efectivo de colección de 22 horas durante (9) días de medición. Se registró la P_i y P_f de los respectivos tanques, inmediatamente los canisters fueron llevados al laboratorio para ser presurizados con N_2 (1010 mbar).

Los canisters reposaron por tres horas para asegurar una mezcla de los gases. Luego se procedió a colectar dos muestras por canister en los viales que previamente se les genero vacío, para ser enviadas y posteriormente para ser analizadas en el laboratorio (Figura 9). Entre las muestras de cada canister se hicieron la limpieza de la jeringa 3 veces con la eliminación del gas succionado desde el canister.



Figura 9. Sistema de vacío para viales y colecta de gases

Consumo de forraje. Se obtuvo el valor del CMS, mediante el método tradicional o agronómico antes y después del pastoreo. La ingesta total de MO se obtuvo usando la técnica de colección parcial de heces, se usó 02 marcadores óxido de cromo (Cr_2O_3) y titanio (TiO_2) como marcador externo. El marcador se administró oralmente en cápsulas de gelatina durante 09 días consecutivos, en dosis de 25 g/animal/día. Se tomaron las muestras de heces directamente del recto cada 24 horas consecutivamente.

Consumo de MS mediante el método de óxido cromo (Cr_2O_3). Se suministró de manera diaria 25 g/d/animal (94.5% pureza), en horarios de 12 pm. Se realizó la dosificación usando cápsulas de gelatina (Torpac, Miami, USA) que se suministraron a los toretes de la raza brahman a través de un lanza bolo comercial durante siete días de medición, de igual forma se colectó las heces de cada uno de los animales vía rectal, en el mismo horario. Las cuales se pesaron de manera individual y llevadas a una estufa a 60°C por un tiempo de 48 horas para el secado.

Consumo de MSI mediante el método de dióxido de titanio (TiO_2). Se suministró de manera diaria 25 g/d/animal (94.5% pureza). La condición, horario de suministro, tiempo de adaptación, medición, peso y secado fueron igual que el primer marcador (Cr_2O_3). El consumo medio de MO de los animales brahman se expresó con la siguiente fórmula usado por (CORBETT y FREER, 1995).

$$\text{MOI kg} = \frac{(\text{MOF kg}) * 100}{100 - \text{MOD}\%}$$

Dónde:

Consumo de MO = MOI (kg^{-1}).

Excreción fecal de MO = MOF (kg^{-1}).

Digestibilidad de la MO = MOD (%).

Excreción fecal de la MO (MOF kg⁻¹) propuesta por PRIGGE *et al.* (1994).

$$\text{MOF kg} = \frac{\text{Dosis de marcador externo (Cr2O3 y TiO2)}}{\text{Concentración del marcador externo en las heces (g)}}$$

Concentración de Cr₂O₃ en heces, se determina por espectrofotometría en absorción atómica (Perkin-Elmer 2380, Norwalk, Connecticut, USA) usando una llama de acetileno, este método fue propuesto por WILLIAM *et al.* (1962). La concentración de TiO₂, se determina por colorimétrico (espectrofotometría UV), este método fue propuesto por CLOSE y MENKE, (1986), Instituto Hans-Ruthenberg de Ciencias Agrícolas en los Trópicos, Unidad de Nutrición Animal y Manejo de Pastizales en los Trópicos y Sub trópicos, Universidad Hohenheim – ALEMANIA.

Mediciones en las pasturas

Muestreo de pastos. La evaluación de la calidad nutricional del pasto Camerún, se realizó por 09 días consecutivos (07 días de muestreo del pasto y 02 días de muestreo para pre y pos-pastoreo), paralelo a los días de colección de gases. Se realizó el muestreo de especies por el método de transectas. Se utilizó un marco de madera de metro cuadrado, se obtuvo 10 muestras al azar por día en zigzag de toda el área de pastura. La condición del pastizal se realizó con el método de Parker. El muestreo para biomasa se realizó una sola vez, en el momento de colocar los primeros canister. Al final de la colección se realizó un muestreo por el método de transectas para determinar selectividad de especies.

Esto se realizó de la siguiente manera:

La disponibilidad de biomasa de la pastura pre y pos-pastoreo se estimó todos los días desde el inicio del estudio, mediante el corte de 10 muestras por hectárea (1.0 m x 1.0 m), con una altura de corte de 5 cm sobre el nivel del suelo, utilizando un muestreador (marco metálico metro cuadrado). Luego de cada día de pastoreo se tomó nuevamente 10 muestras al azar por hectárea con el muestreador, con el objetivo de determinar el forraje remanente al ras del suelo. Las muestras de forraje fueron pesadas en fresco, se uniformizó y tres submuestras/día de aproximadamente 1000 g fueron secadas a 60°C durante 48 h para la determinación de MS y análisis químico del forraje ofrecido.

Se realizó evaluaciones agronómicas como altura de planta (1.0 mx1.0 m) donde se tomó 30 mediciones con una regla graduada (precisión ± 1 mm), % de cobertura, relación hoja/tallo descrito por (RIEP), la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales, CIAT (2001). Se realizó post-pastoreo para determinar la biomasa remanente. La biomasa total a ras del suelo se calculó como la suma de la biomasa medida por encima (5 cm) y por debajo de la altura de corte de la pastura. La utilización de forraje se calculó como la diferencia de la biomasa pre y post - pastoreo, expresadas en % de biomasa pre-pastoreo. La profundidad media de defoliación se estimó por la diferencia entre valores de altura media pre y post - pastoreo de la planta.

Para determinar la composición botánica de la pastura pre y post-pastoreo, se tomó de las muestras homogenizadas de cada uno de los 7 días de estudio. Las (3) submuestras que se almacenaron en una bolsa plástica fue congelada a 20°C. En el laboratorio, se clasificó como pastura (Pasto Camerún), pastizal (Pasto natural) y malezas. Luego cada sub-muestra fue cortada en estratos (5 cm) y cada estrato separado en tallo, hoja, restos secos, inflorescencia y malezas y fueron secadas en estufa a 60°C por un tiempo de 48 horas para determinar MS de cada fracción. Para determinar la calidad del forraje ofrecido, se determinó la digestibilidad in vitro

experimental de la MS del pasto, mediante la metodología de DAYSII ANKOM®, al inicio y final del estudio (FIGURA 10).



Figura 10. Colección de muestra de pasto.

Análisis químicos

Se realizó en tres (3) laboratorios:

Composición química, EB de la pastura y heces. Las muestras de forraje y heces fueron analizadas en el Laboratorio de Nutrición Animal, Facultad de Zootecnia, UNAS - Tingo María, usando el método propuesto por AOAC (1990): El contenido de MS (AOAC, 2006, método 930,15), Cz (AOAC, 2006, método 942,05) y PC, método de micro-Kjeldahl (AOAC, 2006, método 920,87), mediante el secado en estufa (Binder FED-720) a 105°C por 24 horas, las muestras fueron molidas utilizando un tamiz de malla de 1 mm. El contenido de Ceniza se determinó en una Mufla (Nabertherm B-150) a 600°C durante 8 horas.

Contenido de FDN y FDA se analizó en el Laboratorio de Fibras, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM – Lima) usando el método descrito por MERTENS (2002), se utilizó la tecnología ANKOM® (Fiber analyzer 200, Ankom Technology Corporation, Fairport, N.Y), a partir de una muestra digerida en solución de detergente en bolsas de filtro (F57–ANKOM®) por un periodo de 40 minutos en una autoclave a 110°C y 0,5 atm, como menciona (SENGER *et al.* 2008). Así mismo en el laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA), Facultad de Zootecnia, UNALM – Lima, se determinó la EB por calorimetría de bomba adiabática (Parr Instrument Company 6300, Illinois, EE.UU).

Cuantificación de la concentración de CH₄ y SF₆ se llevó a cabo en el Laboratorio de Bioquímica, Facultad de Zootecnia, UNALM – Lima. Se determinó por cromatografía gaseosa, mediante un cromatógrafo de gases, mediante una inyección manual de la muestra (0.6 ml) modelo 7890B (Agilent Technologies®, 2010), con temperatura (200°C) del inyector con una presión (11.2 psi) y un flujo (8.12 ml/min), con temperatura (30°C) del horno con un tiempo de espera (4.5 min). Se usó una columna única de sílice para gas azufrado e hidrocarburo ligero, GS-GasPro Agilent technologies® de 30 m con diámetro interno (0.32 mm), para medir CH₄ se usó un detector de ionización de llama (FID) con sensibilidad (≤ 1.4 pico g).

Con temperatura de 250°C del detector, usando helio como gas portador (10 ml/min), H₂ como gas combustible (40 ml/min) y aire como gas oxidante (350 ml/min). Para medir SF₆ se utilizó un sistema de 10 ml, una columna HP-MOLSIV y un micro detector de captura electrónica (ECD) Agilent technologies®, temperatura de 200°C del detector empleando N₂ como portador de gas (30 ml/min). Los estándares con calibración se realizaron a partir de patrones diluidos en aire sintético (Scott-Marrin Inc.) en un intervalo de 1,5 a 44 ppm y 25 a 250 ppt para CH₄ y

SF₆ respectivamente. Se analizaron las muestras por duplicado y en los casos en que fuera posible (la cantidad de muestra sea suficiente) se realizó por triplicado.

Luego de tener los análisis cromatográficos de las muestras de la emisión de CH₄ por animal, se hizo un cálculo usando la tasa de liberación de la capsula de Hexafluoruro de azufre y los datos obtenidos de la concentración de CH₄ y SF₆, utilizando la siguiente expresión:

Formula 1:

$$\text{CH}_4 \left(\frac{\text{g}}{\text{d}} \right) = \text{TL SF}_6 \left(\frac{\text{g}}{\text{d}} \right) * \frac{[\text{CH}_4]}{[\text{SF}_6]}$$

Dónde:

Tasa de liberación de SF₆ de la cápsula = TL SF₆.

Concentración de este gas en ppm por encima de la concentración atmosférica = [CH₄].

Concentración de este gas en ppt por encima de la concentración atmosférica = [SF₆].

Así mismo, se corrigió la concentración de metano y Hexafluoruro de azufre con la presión después de tomar la muestra para pasar a presurizar con N₂ de acuerdo al método usado por DEIGHTON *et al.* (2014).

Formula 2:

$$[\text{Gas } c] = [\text{Gas crom}] \frac{P_3}{P_2 - P_1}$$

Dónde:

Concentración de CH₄ y SF₆ corregido = [Gas c].

Concentración de CH₄ y SF₆ provenientes del cromatógrafo = [Gas crom].

Presión diferencial antes de la colecta = P1.

Presión diferencial luego de la colecta = P2.

Presión diferencial luego de presurizar con N₂ = P3.

Rendimiento de CH₄ por unidad de consumo (g/kg): se estimó el CMS y CMO a partir de las estimaciones en la producción de heces usando marcadores de TiO₂ y Cr₂O₃, estimación de la DMO a partir de la concentración de nitrógeno fecal con el modelo no lineal usado por LUCAS *et al.* (2005). Para determinar el CFDN y EB, se realizó un cálculo a partir del CMS por torete multiplicado por la composición química del pasto (contenido de EB en base seca del pasto y FDN).

- Materia Seca Consumida (g/kg MSC)

$$\text{CH4MSC} = \frac{\text{CH4 g}}{\text{Kg MSC}}$$

- Materia Orgánica Consumida (g/kg MOC)

$$\text{CH4MOC} = \frac{\text{CH4 g}}{\text{Kg MOC}}$$

- Fibra Detergente Neutra Consumida (g/kg FDNC)

$$\text{CH4FDN} = \frac{\text{CH4 g}}{(\text{MSC} * \% \text{FDN})/100}$$

- Energía Bruta Ingerida en Porcentaje (%Ym)

$$\text{CH4 YM}(\%) = \frac{\text{CH4 g} * 55.56}{(\text{MSC} * (\text{EB} * 4.185))} * 1$$

IV. RESULTADOS

4.1. Composición química y nutricional de la pastura tropical

Cuadro 1. Composición química en base seca de la pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch bajo condiciones de pastoreo continuo con toretes de la raza Brahman durante la época de lluvia, en Tulumayo-CIPTALD.

Nutrientes	Composición química	
	Pasto Camerún (<i>Echinochloa polystachya</i> (Kunth) Hitch)	Pastura total (P. Camerún + P. Natural + Leguminosa)
MS (%)	28.56 ± 4.27	27.30 ± 4.77
M.O. (%)	90.60 ± 0.5	91.03 ± 0.3
Cz (%)	9.40 ± 0.85	9.05 ± 0.83
P.C. (%)	8.0 ± 0.67	8.32 ± 1.13
FDN (%)	66.0 ± 0.62	63.48 ± 0.72
FDA (%)	35.01 ± 0.46	33.65 ± 0.48
EB (Kcal/kg)	3824.30 ± 82.42	3830.83 ± 82.46

MS: Materia Seca, MO: Materia orgánica, CZ: Ceniza, PC.: Proteína cruda, FDN: Fibra detergente neutra, FDA: Fibra detergente ácida y EB: energía bruta.

4.2. Consumo de forraje.

Cuadro 2. Producción de heces, digestibilidad y consumo por toretes de la raza Brahman bajo condiciones de pastoreo en una pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época de lluvia, en Tulumayo-CIPTALD.

Animal	Promedio	SD \pm	% CV
PV 14 toretes (kg)	280	67.1	24
PHMS (kg/día)	3.02	0.54	17.95
PHMO (kg/día)	2.27	0.42	18.35
DAMO (%)	66.7	1.22	18.22
CMS(kg/animal/día)	8.86	1.59	17.91
CMO(kg/animal/día)	6.67	1.22	18.22
CFDN (kg/animal/día)	5.21	0.16	3.10
CEB (Kcal/animal/día)	3365.26	82.35	2.45

PV: 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.

4.3. Emisión de metano por toretes de carne en pastoreo continuo.

Cuadro 3. Emisión de metano entérico por animal bajo condiciones de pastoreo continuo en pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época de lluvia, en Tulumayo-CIPTALD.

Animal	Peso Vivo (Kg)	Emisión de Metano (g CH ₄ / animal)		
		Promedio	DS ±	CV %
1	280	159.5	14.7	9.2
2	322	197.1	24.1	12.2
3	268	137.3	26.5	19.3
4	181	109.2	11.9	10.9
5	382	157.0	75.9	48.3
6	191	143.7	10.3	7.2
7	308	161.9	40.8	25.2
8	301	217.6	53.6	24.6
9	300	158.8	23.7	14.9
10	374	198.1	49.6	25.0
11	287	185.6	16.0	8.6
12	230	159.7	12.8	8.0
13	329	Ambiente	-	-
14	165	Ambiente	-	-
Promedio	280.	165.5	-	-
DS ±	67.1	29.9	-	-
CV %	24	18.0	-	-

G: Gramos, CH₄: Metano, SD: Desviación estándar, CV: Porcentaje de coeficiente de variación.

4.4. Rendimiento de metano por unidad de consumo

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 en pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época de lluvia, en Tulumayo- CIPTALD.

Metano	Promedio	SD ±	CV %
g CH ₄ /Kg MS	19.20	3.55	18.50
g CH ₄ /Kg MO	25.53	4.75	18.60
g CH ₄ /Kg FDN	28.85	5.21	18.06
g CH ₄ /YM	6.59	1.19	18.06

G: Gramo, CH₄: Metano, Kg: Kilogramo, 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, SD: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación.

V. DISCUSIÓN

5.1. Composición química y nutricional de la pastura tropical.

La composición química nutricional del pasto Camerún presentada en el cuadro 1, podemos observar que varía con el transcurrir de los días de pastoreo (anexo 7) durante la época de mayor precipitación, tal es así, que el contenido de ceniza, expresados en base seca tiene una tendencia a disminuir de 10.20% hasta 8.21% cuyo promedio en este trabajo es (9.40%). Este resultado está por debajo del valor citado por SÁNCHEZ (2005) y AQUINO (1998) quienes mencionan que el contenido de Ceniza de este pasto fue de 11.50 y 12.00%, respectivamente.

La MO varía desde el 88.98% hasta 91.79% cuyo promedio en este trabajo fue de (90.60%), lo cual se encuentra dentro del rango RODRIGUEZ (1983) indica un 90% hasta 93% para los forrajes tropicales. El valor encontrado nos indica que un 90.60% se fracciona dentro del metabolismo para ser utilizado por el animal BERNAL (1991).

El contenido de PC en este trabajo fue de (8.0%) lo cual se encuentra por debajo de los valores reportado por MENACHO (1995), así mismo este autor reporto los valores de PC del pasto Camerún de 10.08% hasta 11.40% a una edad de 42 días. Los valores reportados por el autor y este trabajo, pueden estar influenciados por: edad de la pastura ya que, en el momento de ingresar a los animales en el potrero, la pastura tenía un tiempo de descanso mayor a 45 días de edad.

El contenido de FDA que se encontró en este trabajo presenta una tendencia a incrementarse de 33.7% hasta 35.6% (Anexo 7) con el paso de los días de pastoreo, los valores en este trabajo fue de 35.01 % de FDA, similar a los valores reportados por MOSALVE (1978) menciona que los valores de FDA va desde 30.0% hasta 34.0% para este mismo pasto.

En cuanto al contenido de FDN, varía de 63.94% hasta 66.99% cuyo promedio en este trabajo fue de 65.65%, lo cual se encuentra en el rango de 35.0% hasta 70.0% reportado por (CHURCH, 1970). Así mismo esto fue corroborado por MAYNARD (1981) a medida que avanza la edad del pasto, se incrementa también su contenido (cutina, sílice, lignina, hemicelulosa y celulosa), influyendo en la capacidad de ocupar espacios en el tracto gastro-intestinal (control físico); así mismo si hay un contenido alto de FDN, la digestibilidad y el consumo del pasto se verá afectado en forma negativa.

En cuanto al contenido de EB cuyo promedio en este trabajo fue de 3824.30 kcal/kg siendo superior a lo mencionado por PAZ (2012) que obtuvo un contenido de EB de 3778.12 kcal/kg. Los resultados obtenidos en este trabajo estarían asociados a la concentración alta de FDN, que al momento de combustionar expulsa similares cantidades de concentración energética de carbohidratos no estructurales, reportado por MARTIN *et al.* (2009).

5.2. Emisión de metano por toretes de carne en pastoreo continuo.

La emisión de CH₄ entérico generado por toretes de carne (gr/torete/día) utilizando la técnica de SF₆ sometidos a pastoreo continuo del pasto Camerún durante la época húmeda presentada en el cuadro 3 reporta una de emisión de CH₄ de 165.5 g/torete/d. siendo inferior a lo reportado por CANESIN (2009) de 311,0 g/día en los animales que pastoreaba durante el mes de noviembre (primavera), así como al

mes de septiembre (invierno) de 176,8 g/día, utilizando también la técnica del trazador SF₆, pero en bovinos Nelore y pasto Brizantha (*Urochloa brizantha* cv *Marandu*). Así mismo, este resultado es inferior a lo reportado por PRIMAVESI (2003) quien reportó emisiones de CH₄ en ganado cebú manejados en sistemas extensivos desde 181 hasta 198 g/día.

KURIHARA *et al.* (1998) reportaron la producción de CH₄ por ganado Brahman alimentado con diferentes fuentes forrajeras tropicales y una dieta a base de granos, que al comparar nuestros resultados (165.5 g/día) fue superior a la emisión obtenida con el pasto Angleton de 113 g/día, e inferior con respecto al pasto *Rhodes* de 257 g/día y similar con la dieta basada en granos de 160 g/día, respectivamente, posiblemente debido a la calidad del forraje disponible con relación a sus fracciones digestibles que propician un mayor consumo, mayor digestibilidad y velocidad de fermentación, y por ende mayor cantidad de sustrato para los microorganismos metanogénicos.

Por su parte, ESTEVES *et al.* (2010) reportaron emisiones de CH₄ utilizando bovinos de carne de las razas Nelore, cruzado y Canchim, mostraron, que la emisión de CH₄ por kg de ganancia de peso vivo fue mayor a nuestro estudio para los animales que pastoreaban en *Brachiaria brizantha* con 276 g CH₄/ kg ganancia PV, pero menor con relación a los animales manejados en un sistema de confinamiento con una dieta a base de concentrado con emisión promedio de 120 g CH₄/ kg ganancia PV.

5.3. Rendimiento de metano por unidad de consumo.

La producción de CH₄ entérico por unidad de MSC por toretes en pastoreo continuo del pasto camerún durante la época de lluvia fue de 19.20 CH₄ g/Kg CMS siendo menor a lo mencionado por RAMÍREZ *et al.* (2015) de 24.5 y 23.8 g CH₄/

Kg CMS para las vaquillas y vacas, se concluye que la edad no afecta en las emisiones de CH₄, ya que esta evaluación la realizaron con vacunos de diferentes edades (> a 1 año hasta < 6 años).

Así mismo, la emisión de CH₄/Kg CMS (19.20 g) y CH₄/Kg CMO (25.53 g) y CH₄/Kg CFDN (28.85 g) fue menor a lo reportado por DEMARCHI *et al.* (2003) quien encontraron producciones diarias de CH₄ en las diferentes estaciones del año por ganado Nelore en Brasil que pastoreaban el pasto *Brachiaria brizantha* cv. *Marandu*, obteniendo una mayor emisión de CH₄/CMS; CH₄/CMO y CH₄/CFDN (46,7g/kg y 35,3 g/kg y 39,7 g/kg) durante la estación de verano en relación a las demás estaciones, señalando que estos resultados se debieron a la baja digestibilidad del componente de la FDN durante la estación de verano.

Con relación al rendimiento de CH₄ por unidad de CEB o conversión de EBC en CH₄ (YM%) fue de 6.59% siendo inferior a lo mencionado por (HARPER *et al.* 1999) manifiestan que el YM% debe ser de 10,07% para pasturas tropicales bajo condiciones de pastoreo. En ese sentido, (HINDRICHSEN *et al.* 2006) mencionan que la proporción de EB que se pierde en forma de CH₄ está afectada por la composición del alimento y la digestibilidad de la misma más que por la cantidad. Por su parte, JHONSON y JHONSON (1995) señalan que el YM% representa una pérdida de 2% hasta 12%, la misma que está influenciada directamente a la digestibilidad y consumo de alimento. Mientras que (CLARK *et al.* 2005) indican que los animales alimentados con pasturas tropicales producen una mayor cantidad de CH₄ (>8%) por unidad de EBC esto se debe a una mayor proporción de carbohidratos estructurales.

VI. CONCLUSIONES

- La época de lluvia influyó positivamente sobre el valor nutritivo del pasto Camerún, por ende en la emisión de CH₄ entérico las mismas que al ser pastoreadas por toretes cebuinos generaron una producción promedio de metano de 165.5 g/torete/día.
- La emisión de metano por animal utilizando la técnica de SF₆ bajo condiciones de pastoreo continuo en pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época de mayor precipitación, por animal fue 109.2 a 217.6 gr/torete y un promedio de 165.5 ± 29.9 gr CH₄/torete; mientras que la emisión por día fue 142.6 a 188.5 gr/día y un promedio de 165.5 ± 42.7 gr CH₄/día, respectivamente.
- El Valor nutritivo de la pastura tropical con predominancia del pasto Camerún *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch durante la época de mayor precipitación en condiciones de selva alta, medido en función a la composición química, digestibilidad y consumo fue 28.56% MS, 90.6% MO, 9.4% CZ, 8% PC, 66% FDN, 35.01 % FDA, 3824.30 kcal/kg EB; 66.7% DAMO y 8.86 kg/animal/día CMS, respectivamente.
- El Rendimiento de metano (g) por kilogramos fue 19.20 g CH₄/Kg MS, 25.53 g CH₄/ Kg MO, 28.85 g CH₄/ Kg FDN y 6.59 % YM, respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

- Ejecutar trabajos de investigación usando otras especies forrajeras y otras especies animales, en diferentes etapas de su ciclo de vida, que caractericen las pérdidas de energía como CH₄.
- Realizar otros trabajos de investigación y que incorporen al análisis la evaluación con dietas mixtas de forrajes y concentrados características de los sistemas de producción en el país.
- Realizar investigaciones con pasturas de la zona, debido a que la calidad de los forrajes está asociada con la producción de metano, lo cual se sugiere realizar un buen plan de manejo de las pasturas.
- Se recomienda realizar otras técnicas para medir las emisiones de CH₄ usando otras variables como: digestibilidad in vitro de la MO y el consumo de MS.

EMISSION OF ENTERIC METHANE FROM TURETTES UNDER CONTINUOUS GRAZING CONDITIONS OF CAMEROON GRASS (*Echinochloa polystachya* (*Kunth*) *Hitch*) DURING THE RAINY SEASON IN TULUMAYO-CIPTALD

VIII. ABSTRACT

The research was done at the Universidad Nacional Agraria de la Selva's Tulumayo Research and Production Center, Divisoria and Puerto Sungaro Annex (CIPTALD – Acronym in Spanish) in Tingo Maria, Aucayacu, Peru. It had the objective of determining the enteric methane emissions, using the sulfur (SF_6) tracer technique, of aleman grass (*Echinochloa polystachya* (*Kunth*) *Hitch*) under continuous grazing condition of bulls, during the rainy season. To do this, fourteen bulls from the Brahmán breed, with an average weight of 280 kg PV, with an average age of fifteen months were used; a descriptive statistic was used. The animals were submitted to extensive and continuous grazing for nine days. The chemical composition, food consumption, production and enteric CH_4 yield were evaluated. The consumption of organic matter (MOI – acronym in Spanish) was using partial feces collection technique, using two markers, chromium (III) oxide (Cr_2O_3) and titanium dioxide (TiO_2). The nutritional value of the grass as a function of the chemical composition, digestibility and consumption was: MS 28.56%, MO 90.6%, CZ 9.4%, PC 8 %, FDN 66 %, FDA 35.01 %, EB 3824.30 kcal/kg; DAMO 66.7% and CMS 8.86 kg/animal/day. The enteric CH_4 emission per animal was 109.2 to 217.6 gr/bull with an average of 165.5 ± 29.9 gr CH_4 /bull; while the daily emission was 142.6 to 188.5 gr/day and an average of 165.5 ± 42.7 gr CH_4 /day. The CH_4 yield per day, per unit of CMS, CMO and CFDN was: 19.20 g CH_4 /kg; 25.53 g CH_4 / kg MO and 28.85 g CH_4 / kg; while a YM of 6.59 % was obtained. It is concluded that the rainy season had a positive influence on the improvement of the nutritional value of the aleman grass and thus diminishing the enteric methane emission of the cebuino bulls, submitted to an extensive and continuous grazing system.

Keywords: Sulfur hexafluoride (SF_6), chromium (III) oxide (Cr_2O_3) markers, titanium dioxide (TiO_2), methane.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA, J.F. Y C. PRIETO. 1991. Methane production in goats given diets based on lucerne hay and barley. Arch. Anim. Nutr., 41: Pp 77-84.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Virginia, USA. Pp 770-771.
- AQUINO, S. 1988. "Rendimiento y composición del pasto Camerún Echinochloa polystachya en Tinge Maria". Tesis para optar el título de Ing. Zootecnista. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 36 p.
- ARÉVALO L., ALEGRE C., BANDY D., SZOTT L. 1998. The effect of cattle grazing on soil physical and chemical properties in a silvopastoral system in the Peruvian Amazon. Agroforestry System 40/2 Pp 109/124.
- BARRY, T. N. & M CNABB, W. C. 2000. The effect of condensed tannins in temperate forages on animal nutrition and productivity. In Tannins in Livestock and Human Nutrition, ACIAR Proceedings No. 92 (Ed. J. D. Brooker), Canberra, ACT: Australian Centre for International Agricultural Research. Pp 30–35.
- BEAUCHEMIN, K.A. 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.166–167, Pp. 663–677.

- BERNAL, J. 1991. Producción y Manejo de Pasturas y forrajes tropicales. 2da edición.
- BLAXTER, K.L. Y J.L. CLAPPERTON. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. Brit. J. Nutr. 20 octubre 2016. 19: Pp 511-522.
- BRANINE, M.E.; JOHNSON, D.E. 1990. Level of intake effects on ruminant methane loss across a wide range of diets. Journal of Animal Science, v.68, Pp. 509-522.
- BUDDLE, B. M. CHAVES, A. V.; THOMPSON, L. C.; IWAASA, A. D. 2011. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. Veterinary Journal, v. Pp 188, 11-17.
- CANESIN, R.C. 2009. Frecuencia da suplementação de bovinos da raça Nelore mantidos em pastagens. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.
- CAMBRA LÓPEZ M, GARCÍA REBOLLAR P, ESTELLES F, TORRES A. 2008. Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: el factor de conversión de metano. Revisión bibliográfica. Archivos de Zootecnia. 57: Pp 89-101.
- 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-AGR000102.pdf>. pdf. 2 de agosto del 2018).

- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2001. Informe anual. Brachiaria Improvement Program. Convenio Ciat- Semillas Papalotla, S. A. de C. V. Pp 110- 112.
- CLARK H, PINARES-PATIÑO C, 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. Pp 279-293.
- CLOSE W AND MENKE K. 1986. Selected topics in animal nutrition. A manual prepared for 2nd Hohenheim course on animal nutrition in the tropics and sub-tropics. 48 p.
- CORBETT J, FREER M. 1995. Ingestion et digestion chez les ruminants au pâturage. En: Jarrige R, Ruckebusch Y, Demarquilly C, Farce M, Journet M. (Eds.). Nutrition des ruminants domestiques, ingestion et digestión. Paris, France: INRA Editions, Pp. 871-900.
- CHURCH, C. 1970. Fisiología digestiva y nutrición de rumiantes. ACRIBIA vol.1. Zaragoza España; 379 p.
- CHURCH, C. 1990. Fisiología digestiva y nutrición de rumiantes. ACRIBIA vol.1. Zaragoza España; 379 p.
- COPENHAGUE. 2009. «Cumbre de Copenhague dobla el número de participantes». Periódico Ahora.cu: 7/12/2009. Archivado desde el original el 22 de diciembre de 2009. Consultado el 2 de enero de 2010.

- DA CRUZ, W. y SOTO, J. 1994 producción de pasto para la alimentación del ganado en la selva peruana. Boletín informativo N° 3. Universidad nacional agraria de la selva, tingo maría, Perú. 16 p.
- DEIGHTON, M; WILLIAMS, S.; HANNAH, M.; ECKARD, R.; BOLAND, T.; WALES, W. AND 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.J.A.A.; LOURENÇO, A.J.; MANELLA, M.Q.; ALLEONI, G.F.; FRIGUETTO, R.S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M.A. 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., P. GARCÍA-REBOLLAR, M. CAMBRA-LÓPEZ Y A.G. TORRES. 2008. Contribución de los Rumiantes a las Emisiones de Gases con Efecto Invernadero. XXIV Curso de Especialización FEDNA. Madrid, 23-24 de Octubre de 2008.
- DE RAMUS, H.A., CLEMENT, T.C., GIAMPOLA, D.D. and DICKISON, P.C. 2003. Methane emissions of beef cattle on forage: efficiency of grazing management system. *J Environ Qual*, 32: Pp 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, Pp 3246–3256.

- ESTEVEVES, S.N.; BERNARDI, A.C.C.; VINHOLIS M.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. 2010. (Circular Técnica 65) 7p.
- 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, VAN 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 Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K, Tignor M, and Miller H (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 10 noviembre 2016. Pp 129-234.
- GAUDÍN G. 2010. Agricultura a gran escala afectan equilibrio ecológico. Noticias Aliadas. Cambio climático: Seguridad Alimentaria, agua & protección de bosques. Buenos Aires – Argentina. 20 octubre 2016.
- GERBER, P.J., 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. 15 noviembre 2016.
- GIBBS, M. J., LEWIS, L., AND HOFFMAN, J. S. 1989. Reducing Methane Emissions from 10 octubre 2016: 15 noviembre 2016.

- GÓMEZ C. y M. FERNÁNDEZ. 2009. "Análisis comparativo de las emisiones de metano y efecto del cambio climático sobre la ganadería en el Perú". IN: "Los impactos del cambio climático sobre el agua y el manejo de los recursos naturales". SEPIA XIII. Cusco, 10 al 13 de agosto.
- GONZÁLEZ DIEGO, C. L. 2005. El Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión 2005- 2007: implicaciones para la industria española. Información Comercial Española - Revista de Economía, 822, Pp 109-130.
- HARPER, L.A.; DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; BYERS, F.M. 1999. Direct measurements of methane from grazing and feedlot cattle. Journal of Animal Science, v.77, n.6.Pp 1392- 1401.
- HINDRICHSEN, I.K., H.R. WETTSTEIN, A. MACHMULLER Y M. KREUZER. 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. Livestock: Opportunities and Issues. (U.S. Environmental Protection Agency: Washington, D.C.) 20 octubre 2016. 284 p.
- HUNTER, R.A. 2007. Methane production by cattle in the tropics Letter to editor. Br J Nutr, 98: 657 p.
- IPCC. 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from livestock and Manure Management. Pp.10-84.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 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 [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K, Tignor M, Miller H. Eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 10 noviembre 2016.

JOHNSON K, HUYLER M, WESTBERG H, LAMBAR B, ZIMMERMAN P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. *Environmental Science and Technology*. 28: Pp 359-362.

JOHNSON, K.A. Y D.E. JOHNSON. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci*, 11 noviembre 2016. 73: Pp 2483-2492.

KURIHARA, M.; MAGNER, T.; HUNTER R. A. AND MCCRABB, G. J. 1998. Methane production and energy partition of cattle in the tropics CSIRO Tropical Agriculture, Tropical Beef Centre, Rockhampton, Queensland 4702, Australia.

LASSEY, K. R., ULYATT, M. J., MARTIN, R. J., WALKER, C. F. & SHELTON, I. D. 1997. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmospheric Environment* 31, Pp 2905–2914.

LENG, R. A. 1993. Quantitative ruminant nutrition - A green science. *Australian Journal of Agricultural Research*. 20 octubre 2016. 44: Pp 363-80.

LUCAS, M. A., 2005. Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. *Journal of Animal Science* 83, Pp 1332–1344.

- MARTIN, C.; MORGAVI, D. P.; DOREAU, M. 2009. Methane mitigation in ruminants: from microbes to the farm scale. *Animal*, v. 4, n. 3, Pp 351-365.
- MAKKAR H, VERCOE P. 2007. Measuring Methane Production from Ruminants. Joint FAO/IAEA. Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. 135 p.
- MANRIQUE L. 1998. Análisis de la evaluación del pasto Camerún (*Echinochloa polystachya*) (h.b.k.) (hich) cultivado en suelo arcilloso bajo cuatro frecuencias de corte. [En línea]: (<http://bdigital.unal.edu.co/19541/1/15546-47378-1-PB.pdf>Acta agronómica. 19 de julio del 2018).
- MAYNARD, L. 1981. Nutrición Animal; Fundamento de Nutrición del Ganado. UTHEA.6ta edition. México.640 p.
- MERTENS DR. 2002. Physical and chemical characteristics of fiber affecting dairy cow performance. En: Proc Cornell Nutrition Conf. Ithaca, NY. p 125-144.
- MCCAUGHEY, W.P., WITTENBERG, K. AND CORRIGAN D. 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. 10 noviembre. 79(2): Pp 221-226.
- MCCRABB, G. J. 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. 11 noviembre 2016. Pp 115-124.
- MENACHO, T. 1995. Digestibilidad Del Pasto Camerún (*Echinochloa Polystachya*), En Diferentes Edades De Corte Usando Bovinos Fistulados En Tingo María.

Tesis ing zootecnista. Universidad Nacional Agrarian De La Selva. Facultad De Zootecnia. 69p.

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

MODERNEI, P., ROSSING, W. A., TITTONELL, P. A., 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. CABI. 20 octubre 2016. Pp 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): Pp 666-669. [En línea]: (http://agris.fao.org/agris-search/search.do?jsessionid=466D337A5EE01A4EBDE1D7955D5D6982?request_locale=ar&recordID=US201302825585&query=&sourceQuery=&sortField=&sortOrder=&agrovocString=&advQuery=¢erString=&enableField). 19 de julio del 2018).

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 Nuestra Tierra. 10 noviembre. 334 p.

- MOSS, A.R., J.P. JOUANY Y J. NEWBOLD. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech*, 20 octubre 2016. 49: Pp 231-253.
- MURRAY R, BRYANT A, LENG R, 1976. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British journal of nutrition*. 11 de noviembre 2016. 36: Pp 1-14.
- PAZ, A. 2012. Digestibilidad aparente, energía digestible y metabolizable del pasto alemán (*Echinochloa polystachya* H.B.K.), 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.
- PINARES PATINO,C. S., ULYATT,M. J., LASSEY,K. R., BARRY, T. N. & HOLMES, C. W. 2003. Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 140, Pp 205–214.
- PRIGGE C, BAKER J., y VARGA A. 1994. Comparative digestion, rumen fermentation and kinetics of forage diets by steers and wethers. *J. Anim. Sci.* 59:237-24 p.
- PRIMAVESI, O., FRIGHETTO, R. T. S., PEDREIRA, M. S., LIMA, M. A., BERCHIELLI, T. T 2003. Methane emission from grazing dairy cattle in tropical brazil: mitigation by improving production.
- PRIMAVESI, O., FRIGHETTO, R.T.S., PEDREIRA, M.S., LIMA, M.A., BERCHIELLI, T.T. AND RODRIGUES, A.A. 2003. Low-fiber sugarcane to

improved meat production withless methane emissions in tropical dry season.<http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/agriculture/AF066.pdf>.

RAMÍREZ RESTREPO, A.; CLARK, H. AND MUETZEL, S. 2015. Methane emissions from young and mature dairy cattle. *Animal Production Science*. 15: Pp 102-112.

RODRÍGUEZ, S. 1983. Pasto Alemán, Pará, Caribe, Tannagrass, Paja de agua, Lamedoray Chiguirra. Maracaibo, VE. p 140-156.

RODRIGUEZ N, SIMOES E Y GAMARAES R. 2009. Uso de indicadores para estimar consumo y digestibilidad del pasto. Lipe, lignina purificada y enriquecida. EMBRAPA - CPAC, Brasil. [En línea]: (<http://C:/DialnetUsoDeIndicadoresParaEstimarConsumoYDigestibilidadD254446.pdf>. Artículo científico. 30 de agosto del 2017).

SÁNCHEZ, P. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. Corpoica. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [En línea]: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945018010> ISSN 0122-8706, 28 May. 2018.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2017. Boletín Agrometeorológico. Dirección Zonal 10 [En Línea]: (<http://www.senamhi.gob.pe/load/file/04410SENA-14.pdf>. 10 de diciembre del 2017).

- SENGER C; KOZLOSKI G; SANCHEZ L; MESQUITA F, ALVES T, AND CASTAGNINO D. 2008. Evaluation of autoclave procedures for fiber analysis in forage and concentrate feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 146: Pp 169-174.
- STEINFELD, H. RODRIGUEZ, N. M.; CAMPOS, W. E. 2006. Livestock's long shadow – Environmental issues and options. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- TILLEY J M A & TERRY R A. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of foragecrops. *J. Brit. Grassland Soc.* 18:Pp 11- 104.
- VAN KESSELL JS, RUSSELL JB. 1996 The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiology Ecology*; 20: Pp 205-210.
- VERA D. 2014. Respuesta del Pasto Alemán (*Echinochloa polystachya*) a tres láminas de riego, en la parroquia San Antonio, provincia de Manaví. Tesis de grado maestría en producción animal. Sangolquí, Ecuador. [En línea]: (<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10383/1/TESPE048388.pdf>. 01 de Agosto del 2018).
- WAGHORN, G. C. 1996. Condensed tannins and nutrient absorption from the small intestine. In *Animal Science Research and Development, Meeting Future Challenges* (Ed. L. M. Rode). Lethbridge, Alberta: Agriculture and Agri-Food Canada. Pp 175–193.
- WILLIAM C, DAVID D, LISMOA O. 1962. The determination of chromic oxide in fecal samples by atomic absorption spectrophotometry. *Journal Agricultural*

Science. 59: Pp 381-385.

WOODWARD, S. L., WAGHORN, G. C., ULYATT, M. J. & LASSEY, K. R.
2001. Early indications that feeding Lotus will reduce methane emissions
from ruminants. Proceedings of the New Zealand Society of Animal
Production 61, Pp 23–26.

ANEXO

ANEXO 1. Peso vivo (PV) de los catorce (14) toretes de raza Brahman pastoreados en pastura tropical con predominancia del pasto Camerún (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch) durante la época de lluvia, en Tulumayo-CIPTALD.

Nº Animal	Kg PV
1	280
2	322
3	268
4	181
5	382
6	191
7	308
8	301
9	300
10	374
11	287
12	230
13	329
14	165
Promedio	280
D.S ±	67.1

ANEXO 2. Calibración de tubos de permeación de Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Tubo De Permeación N°	1	3	9	12	16	18	19	20	21	22	24	25
Peso de tubos vacíos	54.17	55.44	56.72	54.49	56.52	56.69	56.13	56.45	56.19	55.25	55.70	56.49
tasa de permeación, mg/día	6.02	5.20	6.44	5.94	6.07	6.11	5.94	5.64	6.06	5.10	6.59	5.84
R-cuadrado	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Días restantes bruto	291.38	334.54	299.62	348.60	327.46	319.25	341.26	353.43	323.05	390.53	305.02	354.29
Días restantes reales	208.36	238.52	222.06	264.54	245.14	237.43	257.13	264.79	240.56	292.59	229.20	268.70
Último día	11/10/17	23/11/17	19/10/17	7/12/17	16/11/17	8/11/17	30/11/17	12/12/17	12/11/17	18/01/18	25/10/17	13/12/17
Último día real	20/07/17	19/08/17	3/08/17	14/09/17	26/08/17	18/08/17	7/09/17	14/09/17	21/08/17	12/10/17	10/08/17	18/09/17
Meses restantes bruto	9.71	11.15	9.99	11.62	10.92	10.64	11.38	11.78	10.77	13.02	10.17	11.81
Meses restantes reales	6.95	7.95	7.40	8.82	8.17	7.91	8.57	8.83	8.02	9.75	7.64	8.96

Continuación del ANEXO 2.

	Prom
Peso de tubos vacíos	55.8
tasa de permeación, mg/día	5.9
R-cuadrado	0.9
Días restantes bruto	332.4
Días restantes reales	247.4
Último día	
Último día real	
Meses restantes bruto	11.
Meses restantes reales	8.2

ANEXO 3. Tasa de permeación de tubos.

	Prom
Peso de tubos vacíos	55.8
tasa de permeación, mg/día	5.9
R-cuadrado	0.9
Días restantes bruto	332.4
Días restantes reales	247.4
Último día	
Último día real	
Meses restantes bruto	11.
Meses restantes reales	8.2

ANEXO 4. Calibración de tanques de colección tipo Yugo

Canister	Presión i	Presión 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	2.0
11	933	919	14	1.5
12	932	911	21	2.2
13	932	915	18	1.9
15	932	914	19	2.0
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	2.0
PROT	932	913	19	2.0
	Promedio		19.8	2.2
	DS ±		2.5	0.3

Presión i: Presión inicial, Presión f: Presión final.

ANEXO 5. Calibración de Líneas de Flujo.

Calculo de Flujo de Líneas Capilares (%)							
Línea	Capilar	Flujo (cc/min)		Evaluaciones			Promedio
N°	N°	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

ANEXO 6. Componentes de la pastura tropical de los 9 días de muestreo.

Muestra / día	Pasto total (100 %)					
	Pasto Camerún		Pasto natural		Leguminosa	
	(%)	(G)	(%)	(G)	(%)	(G)
1	96.67	9.67	3.33	0.33	7.08	0.70
2	97.24	9.72	2.76	0.28	4.93	0.49
3	92.99	9.30	7.01	0.70	7.50	0.75
4	96.26	9.63	3.74	0.37	3.99	0.39
5	98.88	9.89	1.12	0.11	9.89	0.98
6	93.22	9.32	6.78	0.68	9.36	0.93
7	95.51	9.55	4.49	0.45	2.50	0.25
8	96.54	9.65	3.46	0.35	0.00	0.00
9	94.76	9.48	5.24	0.52	9.49	0.94
Promedio	95.79	9.57	4.21	4.2	6.08	0.6

G: Gramo, %: Porcentaje.

ANEXO 7. Composición química a base seca del pasto Camerún (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitch) muestreados antes, durantey al final de la etapa experimental.

Fecha	Cz	MO	PC	FDN	FDA	EB. Kcal/kg	EB.Mj/kg
03/05/2017	10.76	89.24	7.69	63.94	33.70	3950.75	16.54
04/05/2017	8.21	91.79	8.12	64.90	34.45	3809.93	15.95
05/05/2017	9.84	90.16	7.50	65.18	34.48	3662.12	15.33
06/05/2017	8.76	91.24	7.49	66.10	35.23	3829.58	16.03
07/05/2017	9.62	90.38	8.09	66.31	35.23	3803.34	15.92
08/05/2017	9.16	90.84	8.70	66.12	34.42	3892.43	16.30
09/05/2017	11.02	88.98	9.02	65.25	34.73	3801.87	15.92
10/05/2017	8.64	91.36	7.97	66.99	35.55	3897.94	16.32
11/05/2017	8.76	91.24	7.22	66.07	35.41	3882.83	16.26
Promedio	9.40	90.60	8.00	66.00	35.01	3824.30	16.01
DS	0.85	0.85	0.67	0.62	0.46	82.42	0.35
C.V	9.05	0.94	8.32	0.94	1.31	2.16	2.16

Cz: Ceniza, MO: Materia orgánica, PC: Proteína cruda, FDN: Fibra detergente neutra, FDA: Fibra detergente acida, EB: Energía bruta.

ANEXO 8. Heces, digestibilidad y consumo, utilizando dos indicadores Dióxido de Titanio (TiO₂) y Óxido Crómico (Cr₂O₃).

Animal	PHMS (kg/día)	PHMO (kg/día)	Digestibilidad	CMS (kg)	CMO (kg)	CFDN Kg/d	CEB Kcal/d
1	2.67	2.00	0.66	7.81	5.86	5.42	3432.24
2	3.28	2.51	0.66	9.56	7.29	5.22	3305.73
3	3.31	2.52	0.65	9.59	7.29	5.27	3448.43
4	2.19	1.60	0.67	6.68	4.88	5.2	3240.0
5	3.72	2.82	0.66	10.85	8.22	5.32	3464.48
6	2.09	1.58	0.64	5.88	4.44	5.10	3366.5
7	2.94	2.23	0.66	8.58	6.49	5.49	3470.32
8	3.07	2.29	0.66	9.13	6.80	5.37	3357.0
9	3.40	2.54	0.65	9.76	7.28	4.99	3374.9
10	3.30	2.51	0.64	9.21	7.01	5.25	3273.2
11	2.68	1.99	0.67	8.21	6.10	5.25	3436.39
12	3.33	2.53	0.65	9.59	7.28	4.93	3237.2
13	3.86	2.89	0.67	11.83	8.87	5.16	3297.6
14	2.43	1.84	0.67	7.40	5.61	5.03	3409.7
Promedio	3.02	2.27	0.66	8.86	6.67	5.21	3365.26
S.D ±	0.54	0.42	0.01	1.59	1.22	0.16	82.35
% CV	17.95	18.35	1.59	17.91	18.22	3.10	2.45

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 detergenteneutra, CEB: Consumo de energía bruta.

ANEXO 9. Metano por día o animal.

CH ₄ por Animal	CH ₄ por Día									Promedio	S.D ±	CV %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
	03/05/17	04/05/17	05/05/17	06/05/17	07/05/17	08/05/17	09/05/17	10/05/17	11/05/17			
1	154.2	150.7	142.0	159.2	177.4	149.7	149.8	187.3	165.4	159.5	14.7	9.2
2		202.9		189.4	197.4	156.3	214.3	233.2	186.2	197.1	24.1	12.2
3		141.2	121.6	153.9	150.1	132.1	162.3	156.5	80.9	137.3	26.5	19.3
4		92.5		107.1	122.6	94.5	112.1	115.0	120.8	109.2	11.9	10.9
5	160.4	83.7	97.9		201.3	114.8		284.2		157.0	75.9	48.3
6							134.4	154.8	142.0	143.7	10.3	7.2
7		193.3	159.1	75.8	151.2	159.2	179.4	215.1	162.0	161.9	40.8	25.2
8		149.4		180.9	220.4		274.5	194.9	285.4	217.6	53.6	24.6
9		118.3	147.2	182.1	188.9	149.0	164.6	161.5		158.8	23.7	14.9
10	149.8	138.6			200.7	257.9	251.0		190.6	198.1	49.6	25.0
11	187.8	175.7	187.6	172.7	212.1	160.6	183.3	206.8	183.8	185.6	16.0	8.6
12	168.3			163.7	162.8	132.0	157.2	164.8	168.9	159.7	12.8	8.0
Promedio	164.1	144.6	142.6	153.9	180.4	150.6	180.3	188.5	168.6	165.5	Por Animal	
S.D ±	15.0	39.4	30.8	38.0	30.4	43.3	48.8	45.9	53.1		29.9	
CV %	9.1	27.2	21.6	24.7	16.9	28.7	27.1	24.4	31.5		18.0	
								Por	165.5			
								Día	42.7			
									25.8			

CH₄: Metano, D.S: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación.

ANEXO 10. 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	20.42	27.20	27.81	6.35
2	20.62	27.02	34.37	7.85
3	14.32	18.85	23.94	5.47
4	16.36	22.40	19.04	4.35
5	14.47	19.10	27.37	6.25
6	24.44	32.37	25.05	5.72
7	18.88	24.95	28.23	6.45
8	23.82	32.01	37.94	8.66
9	16.27	21.82	27.69	6.32
10	21.51	28.26	34.54	7.89
11	22.61	30.43	32.36	7.39
12	16.65	21.94	27.84	6.36
Promedio	19.20	25.53	28.85	6.59
D.S	3.55	4.75	5.21	1.19
% CV	18.50	18.60	18.06	18.06

CH₄: Metano, MS: Metano, MO: Materia orgánica, FDN: Fibra detergente neutra, YM: Energía bruta, D.S: Desviación estándar, C.V: Coeficiente de variación.