

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



“Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo en praderas andinas”

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MAX BRÁNDON CHOQUEMAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

MEDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

“Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo en praderas andinas”

PRESENTADA POR:

Bach. MAX BRÁNDON CHOQUEMAMANI MAMANI

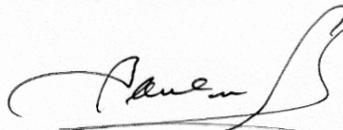
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA



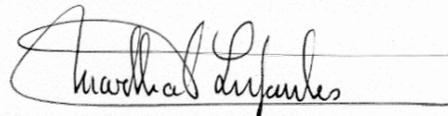
Aprobada por el jurado revisor conformado por:

PRESIDENTE:



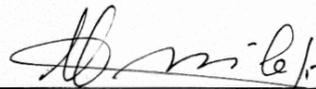
Ph. D. José Luis Bautista Pampa

PRIMER MIEMBRO:



Dra. Martha Nancy Tapia Infantes

SEGUNDO MIEMBRO:



MVZ. Marino Francisco Ávila Felipe

DIRECTOR:



Ph. D. Bernardo Roque Huanca

ASESOR:



M. Sc. Uriel Santiago Marca Choque

Área: Nutrición animal

Tema: Fisiología digestiva en llamas

DEDICATORIA

A mis padres queridos padres
Máximo Choquemamani Quea y
Fulgengencia Mamani Huaraya,
por su sacrificio, apoyo,
comprensión, paciencia y amor
incondicional que me brindaron
durante toda mi vida, gracias a
ustedes pude alcanzar mi anhelo
de ser profesional.

A mis hermanas, Marycarmen y
Eva pilar por haberme enseñado
el respeto, la amistad y confianza.
Gracias por brindarme el apoyo
moral, atenderme y cuidarme
durante todo el periodo de mi
infancia hasta la adultez.

A mis amigos, Nury fatima, Yoel,
Angel, Joseph, Richar, Katy,
Abad, Roger por la gran
colaboración en este proyecto y
a todos mis compañeros por el
apoyo moral y la amistad
brindada para mi formación
profesional

Max Brándon Choquemamani Mamani.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por darme la vida y su bendición, por no abandonarme y brindarme fuerzas para seguir adelante y atravesar todas las barreras y obstáculos que da la vida.

A la Universidad Nacional del Altiplano, mi alma mater a los docentes de la gran Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por haberme impartido sus conocimientos en el proceso de mi formación profesional

Al Ph. D. Bernardo Roque Huanca, director del presente trabajo de investigación, por su gran apoyo incondicional y motivación durante la ejecución. Muchas gracias doctor Bernardo.

Al M. Sc. Uriel Marca Choque, asesor del presente trabajo de investigación, gracias por el apoyo y el tiempo brindado.

A los miembros del jurado calificador, Ph. D. José Luis Bautista Pampa, Dra. Martha Nancy Tapia Infantes, MVZ. Marino Francisco Ávila Felipe, quienes con sus aportes colaboraron a mejorar este trabajo de investigación

Al doctor Juan Guido Medina Suca, director del CIP La Raya. Por permitir ejecutar esta investigación y colaborar de esta manera a la ciencia.

Al personal del CIP La Raya, sr Hugo, Marcos, Esteban, Eduardo, Cirilo, Raul, Cesar. Quienes me apoyaron en la ejecución del proyecto.

A mi querida familia Papá, Mamá, Hermanas, Tíos sr. Justo Mamani y esposa Teodora Mamani por darme ese apoyo incondicional en la familia.

Gracias...

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	9
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1 La llama	14
2.2 Anatomía y fisiología del estómago de la llama	15
2.2.1 Compartimento proximal	16
2.2.2 Compartimento intermedio	17
2.2.3 Compartimento distal	18
2.3 Alimentación en llamas	18
2.4 Digestibilidad del alimento en Camélidos	23
2.5 Arqueas de rumen	24
2.6 Metano entérico	27
Estimación de metano entérico para la población de llamas en el Perú	30
2.7 Factores que afectan la producción de metano	32
2.7.1 Factor dieta	32
2.7.2 Factor ambiente	34
2.7.3 Factor producción	34
2.7.4 Factor fisiológico	34
2.7.5 Factor genético	35
2.8 Ganadería y contaminación ambiental	36
2.9 Metano atmosférico	39
2.10 Metodologías para medir las emisiones de metano en rumiantes	42
III. MATERIALES Y MÉTODOS	44
3.1 Ámbito experimental	44
3.2 Instalaciones y equipos	44
3.3 Animales y alimentación	46
3.4 Metodología experimental	46
3.4.1. Estimación de las emisiones de CH ₄ entérico	46
3.4.2. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	47
3.4.3. Antecedentes de uso del equipo Gasmeter DX – 4030	48
3.4.4. Etapa pre-experimental	48

3.4.5. Etapa experimental Fase de Campo.....	50
3.4.6 Etapa experimental Fase de laboratorio.....	56
3.5 Análisis Estadístico	63
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1 Consumo de materia seca en llamas (lama glama)	64
4.1.1 Selectividad de la dieta consumida.....	66
4.2 Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo	70
4.3 Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo por sexo	75
V. CONCLUSIONES	77
VI. RECOMENDACIONES.....	78
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	79
VIII. ANEXOS	93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Fuentes artificiales de metano.....	32
FIGURA 2: Contribución de los rumiantes a las emisiones de GEI.	37
FIGURA 3: Contribución de gases de efecto invernadero (Adaptado de Berra, et a., 1994.....	41
FIGURA 4: Medidas corporales para la estimación de volumen corporales llamas y alpacas (Paputungan et al., 2015).....	54
FIGURA A.1: Cámara de respiración de policarbonato.....	105
FIGURA A.2: Bolsa de lona para colección de alimento.....	105
FIGURA A.3: Bolsa de lona para colección fecal.....	105
FIGURA A.4: Colector de heces adaptado para hembras.....	105
FIGURA A.5: Equipo Gasmeter DX-4030.....	105
FIGURA A.6: Cánula esofágica tipo canaleta.....	105
FIGURA A.7: procedimiento quirúrgico (cánula colocada en la luz del esófago)	106
FIGURA A.8: Cuidados post-operatorios (limpieza de fistula esofágica).....	106
FIGURA A.9: Cuidados post-operatorios (Animales en pastos cultivados)....	106
FIGURA A.10: Periodo de acostumbramiento (Animales entrando a la cámara).....	106
FIGURA A.11: Medición de metano entérico en llama.....	106

FIGURA A.12: Ventilación mecánica (expulsión de gases hacia afuera de la cámara).....	106
FIGURA A.13: Biometría (toma de medidas corporales para determinar volumen de los animales).....	107
FIGURA A.14: Llama fistulada con bolsa de lona incorporada (para recolección de alimento).....	107
FIGURA A.15: Captura de los animales fistulados	107
FIGURA A.16: Retiro de bolsa del animal con el alimento.....	107
FIGURA A.17: Alimento recolectado en bolsa de lona	107
FIGURA A.18: Secado de muestras de alimento a temperatura ambiente....	107
FIGURA A.19: Muestras de alimento y heces en Estufa a 60°C.....	108
FIGURA A.20: Procedimiento de molidos de las muestras secadas en estufa	108
FIGURA A.21: Pesado de muestras para análisis de laboratorio.....	108
FIGURA A.22: Colocación de muestras al horno MUFLA a 600°C.....	108
FIGURA A.23: Ebullición de muestras para de heces para determinación de CIA.....	108
FIGURA A.24: Filtrado del hidrolizado para determinación de CIA.....	108
FIGURA A.25: Procedimiento (distribución al azar de los fragmentos para determinación del porcentaje consumido).....	109

FIGURA A.26: Fragmento más cercano al centro del cuadrante (para la determinación del porcentaje de pastos consumidos).....	109
FIGURA A.27: Reconocimiento de los fragmentos mediante estereoscopio.....	109
FIGURA A.28: Fragmentos de los pastizales (observado a 100x).....	109
FIGURA A.29: Diseño de colector de heces para hembras.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Composición botánica de las dietas en % (San Martín 1991).....	21
TABLA 2: Análisis bromatológico de la <i>Festuca dolichophylla</i>	22
TABLA 3: Análisis bromatológico del <i>Calamagrostis spp.</i>	22
TABLA 4: Poblaciones globales de especies animales domésticas y emisiones de metano en 1990 (US EPA, 1994).	30
TABLA 5: Emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica (FAO 2009).	31
TABLA 6: Potencial de calentamiento y concentración atmosférica de los principales gases de efecto invernadero por fuente de emisión.....	38
TABLA 7: Número de animales para experimento de metano entérico.	46
TABLA 8: Selectividad en % de la dieta consumida en llamas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas.....	66
TABLA 9: Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo.	71
TABLA A.1: Determinación de materia seca por animal en llamas machos.	93
TABLA A.2: Determinación de materia seca por animal en llamas hembras.	93
TABLA B.1: Fibra detergente neutro en bolo alimenticio en llama macho.	93
TABLA B.2: Fibra detergente neutro en bolo alimenticio en llama hembra.	94

TABLA B.3: Fibra detergente neutro en heces en llamas machos..... **94**

TABLA B.4: Fibra detergente neutro en heces en llamas hembras. **94**

TABLA C.1: Peso de heces totales de 3 días en llamas machos.**95**

TABLA C.2: Peso de heces totales de 3 días en llamas hembras..... **95**

TABLA D.1: Determinación de ceniza insoluble en dieta consumida en llama macho..... **96**

TABLA D.2: Determinación de ceniza insoluble en dieta consumida en llama Hembra.....**96**

TABLA D.3: Determinación de ceniza insoluble en heces en llama machos.....**97**

TABLA D.4: Determinación de ceniza insoluble en heces en llama Hembras.**97**

TABLA E.1: Emisión de metano entérico en llamas machos al pastoreo **98**

TABLA E.2: Emisión de metano entérico en llamas hembras al pastoreo.....**98**

TABLA E.3: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama macho 1**99**

TABLA E.4: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama macho 2 **99**

TABLA E.5: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama macho 3 **100**

TABLA E.6: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama macho 4	100
TABLA E.7: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama hembra 1	101
TABLA E.8: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama hembra 2	101
TABLA E.9: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama hembra 3	102
TABLA E.10: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama hembra 4	102
TABLA E.11: Producción de metano entérico en llamas machos.	103
TABLA E.12: Producción de metano entérico en llamas hembras.	103
TABLA F.1: Selectividad de la dieta consumida en llamas machos.	104
TABLA F.2: Selectividad de la dieta consumida en llamas hembras.	104

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- AGVs** : Ácidos grasos volátiles.
- CD** : Compartimento distal.
- CH₄** : Metano
- CI** : Compartimento intermedio
- CIA** : Ceniza insoluble en acido.
- CO₂** : Dióxido de carbono
- CP** : Compartimento proximal
- DMS** : Digestión de materia seca.
- FDA** : Fibra detergente neutro.
- FTIR** : Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier
- GE** : Gases de efecto invernadero
- H₂** : Hidrogeno.
- IMS** : Ingestión de materia seca
- mmHg** : milímetros de mercurio
- MS** : Matéria seca
- N₂O** : Óxido nitroso
- PDA** : Asistente personal digital
- Ph** : Presión atmosférica
- ppmv** : Volumen partes por millón
- R** : Constante universal de los gases.
- SF₆** : Hexafluoruro de Azufre
- T** : Temperatura
- Tg** : Teragramos

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo determinar el consumo de materia seca y la producción de metano entérico en llamas alimentados al pastoreo en praderas naturales ubicadas sobre los 4200 metros de altitud, a fin de medir con precisión el aporte de esta especie al calentamiento global, con pastos naturales a través de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), con el equipo Gasmeter DX-4030 para lo cual se utilizaron 10 llamas adultas, 5 machos y 5 hembras procedentes del mismo Centro de Investigación y Producción (CIP) La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA), 2 animales fueron seleccionados, un macho y una hembra a los cuales se les realizó una fístula esofágica quirúrgicamente, para evaluar la selectividad de especies forrajeras; los 8 animales restantes, 4 machos y 4 hembras a quienes se realizó las mediciones de metano entérico mediante monitoreo de las concentraciones de metano emitido por los animales dentro de la cámara de acumulación de gases donde los animales permanecieron de forma individual por un tiempo de 20 minutos. Las mediciones de metano se realizaron 2 veces al día, a las 6 y 18 horas y las horas de pastoreo fueron de 8 a 16 horas. Para determinar (MS) materia seca consumida se utilizó la metodología indirecta de ceniza insoluble en ácido y la colección de heces de los 8 animales. Los resultados indican que las llamas al pastoreo aportan metano a la atmósfera con un promedio de 88.22 (DS±8.32) CH₄ L/d/llama, donde los machos emiten \bar{x} = 93.1 (DS± 6.4) CH₄ L/d de metano entérico y las hembras \bar{x} = 83.3 (DS±7.5) CH₄ L/d ($P>0.05$) estadísticamente no encontrándose diferencias significativas entre ambos sexos.

Palabras clave: Fístula, Llamas, Materia Seca, Metano, Pastoreo.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the dry matter intake and production of enteric methane in llamas fed to grazing in natural prairies located at 4,200 meters above sea level, in order to accurately measure the contribution of this species to global warming, with natural pastures through Of Fourier Transform for Infrared Spectroscopy (FTIR), with the Gasmeter DX-4030 equipment for which 10 adult llamas were used, 5 males and 5 females from the same Research and Production Center (CIP). La Raya of the National University of Altiplano (UNA), two animals were selected, one male and one female, to whom a surgical esophageal fistula was performed, to evaluate the selectivity of forage species; The remaining 8 animals, 4 males and 4 females, who underwent enteric methane measurements were monitored by the methane concentrations emitted by the animals into the gas accumulation chamber where the animals remained individually for a time of 20 Minutes, Measurements of methane were performed twice a day at 6 and 18 hours and the grazing hours were 8 to 16 hours. To determine (DM) dry matter consumed, the indirect acid insoluble ash methodology and the feces collection of the 8 animals were used. The results indicate that grazing llamas contribute methane to the atmosphere with an average of 88.22 (SD \pm 8.32) CH₄ L / d / llama, where males emit enteric methane \bar{x} = 93.1 (SD \pm 6.4) CH₄ L / d and Females \bar{x} = 83.3 (DS \pm 7.5) CH₄ L / d (P > 0.05) statistically no significant differences were found between the sexes.

Keywords: Fistula, Llamas, Dry matter, Methane, Grazing.

I. INTRODUCCIÓN

El metano (CH_4), después del dióxido de carbono (CO_2), es el gas carbonado de efecto invernadero más importante en la atmósfera que se ha convertido en foco de atención del mundo debido a su capacidad para atrapar el calor con un poder de 25 veces más que el CO_2 , realzando los efectos de la radiación térmica solar y las temperaturas atmosféricas sobre la superficie (Knapp *et al.*, 2014).

El metano entérico es un producto final de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen, que en términos de energía constituye una pérdida y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global. Es uno de los mayores contribuyentes de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo (Shrestha *et al.*, 2013).

La fibra constituye el substrato metanogénico por excelencia (Moe y Tyrell, 1979), cuyo contenido en la dieta y la digestión en el animal están positivamente correlacionados con la producción de metano (Pedreira *et al.*, 2009). El proyecto plantea investigar la producción de metano en llamas al pastoreo en praderas naturales de los andes de Perú, sobre los 4 mil metros de altitud, con perspectivas de desarrollar estrategias de mitigación.

El proyecto tuvo como objetivos determinar las emisiones de metano entérico en llamas (*Lama glama*), entre machos y hembras. Como también el consumo a fin de evaluar el efecto del alimento sobre las emisiones de metano entérico (CH_4) en llamas en condiciones de altura.

La producción de metano entérico constituye una pérdida energética para el rumiante que representa entre el 2 y el 12% de la energía bruta consumida (Johnson y Johnson, 1995). Es por esto que algunos autores han propuesto que

para la disminución de las emisiones de metano entérico puede ser una estrategia el aumento de la productividad animal (al disminuir las pérdidas energéticas) disminuyendo al mismo tiempo el impacto ambiental (al disminuir las emisiones de metano a la atmósfera) (Neely *et al.*, 2009).

Existen pocos estudios sobre las emisiones de metano entérico en camélidos, uno de los primeros estudios se realizó en la estación experimental ILLPA del Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA-Puno Quimsachata a 4300 m.s.n.m. Mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en alpacas alimentadas con forraje entero y concentrado fibroso y reportó cantidades ($p < 0.01$) de CH_4 entérico ($44,2 \pm 1,2$ L/d) para forraje entero y ($32,6 \pm 5,8$ y $31,6 \pm 4,9$ L/d para concentrados fibrosos de forrajes procesados a 12 y 8 mm \emptyset , respectivamente). Los tres valores equivalen a 60,9; 35,5 y 39,4 L/Kg de materia seca consumida, respectivamente. (Quispe, 2015).

La magnitud de las emisiones depende de la cantidad y calidad del alimento consumido por los animales, con implicancias de tipo nutricional y ambiental que se expresan con pérdida de la energía consumida y contaminación ambiental, por lo que es necesario investigar las posibilidades de mitigación (Johnson y Johnson, 1995; Pinares *et al.*, 2009).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La llama

La llama después de la alpaca es numéricamente la especie más importante de los camélidos sudamericanos (CSA) en el Perú (746.269 cabezas). Se caracteriza por su gran flexibilidad adaptativa ya que se la encuentra en un rango ecológico amplio entre altitudes que van desde 2,000 a 5,000 msnm, y en ambientes predominantemente áridos (INEI, 2012).

La información disponible (San Martín, 1987) demuestra que las llamas son más eficientes que los ovinos y vacunos en el aprovechamiento de los pastos fibrosos de baja calidad nutritiva, propios de los ambientes áridos alto andinos. Por su rusticidad y adaptabilidad a los variados pisos ecológicos, la llama presta un servicio importante como animal de carga dentro del sistema agropecuario del pequeño criador, cumpliendo un rol importante en el contexto económico y social de la cultura andina. Estos animales son mantenidos en general por los productores hasta una edad avanzada (12-14 años), y al término de este período son sacrificados, de tal manera que la carne obtenida es de inferior calidad y aprovechada mayormente como charqui.

La llama nace con un peso promedio de 11.5 kg; llegando a los 6 a 8 meses de edad a pesar 42 kg, y a los 2 años llega a 83 kg, siendo el rendimiento de carcasa de 59%.

2.2 Anatomía y fisiología del estómago de la llama

Entre Camelidae y Bovidae no existe parentesco cercano, siendo la rumia un proceso adquirido independientemente (evolución convergente). En concordancia los compartimentos del estómago de unos difieren estructural y funcionalmente de los compartimientos gástricos de los otros. No son homólogos, tampoco análogos, y no existe razón para seguir llamándolos con los mismos nombres con los inconvenientes aparejados.

Dichas partes, o compartimientos, pueden desarrollarse en zonas distintas del esbozo gástrico; faltan estudios sobre la regulación y auto diferenciación del estómago de camellos y llamas para confrontarlos con los del bovino y óvidos, pero los elementos que transcribimos pueden ser concluyentes al respecto. Los lámidos poseen tres compartimientos gástricos; los tres con áreas glandulares lo cual desautoriza cualquier intento de llamarlos proventrículos o reservorios; en los bovinos sólo una de las cuatro cavidades, la última, posee glándulas (Galotta y Galotta, 1987). La irrigación y la disposición de los omentos también difieren. El surco gástrico está compuesto por un solo labio y la regurgitación de la rumia está asociada con el saco craneal del compartimiento proximal, en lugar de hacerlo con el siguiente, como en el bovino (Vallenas, 1970).

El estómago de la llama se compone de tres compartimientos. El CP (compartimiento proximal), que ha sido con frecuencia en comparación con el rumen, Es el más voluminoso representa el 83% de todo el volumen gástrico El CI (compartimiento intermedio) es la más pequeña en forma de riñón representa el 6% del volumen gástrico total y El CD (compartimiento distal) es alargado y

tubular; que constituyen alrededor del 11% del volumen gástrico (Galotta y Galotta, 1988).

2.2.1 Compartimento proximal

Se encuentra hacia la pared abdominal izquierda en contacto con el diafragma, toda la pared costal a la izquierda y parte del flanco. La porción ventral presenta un surco transversal que lo divide en un craneal y un saco caudal. El compartimento proximal se comunica con el compartimento intermedio a través del surco ventricular, conformado por un solo labio a la derecha. Internamente, se divide por un pilar musculoso transversal, el que corresponde al surco transversal externa; a la derecha, este pilar se bifurca en dos ramas, craneal y caudal. El caudal continúa en forma de arco sobre las áreas craneales y dorsal en la entrada al compartimento intermedio y en cuyo recorrido es interceptado por el labio del surco ventricular. La rama craneal del pilar continúa como una banda de espesor en el margen dorsal del saco craneal que contiene "las bolsas o sáculos glandulares" de esta región. El epitelio está soportado por el tejido conectivo denso que constituye la lámina propia. Está formada principalmente por fibras de colágeno, siendo escasa los elementos elásticos y reticulares. (Galotta y Galotta, 1988).

La región glandular, presenta una membrana mucosa con un epitelio glandular que originan pliegues cuyos rebajes producen pozos profundos (bolsas glandulares), en su gran mayoría ocupado por glándulas tubulares simples o a veces ramificadas. El epitelio de revestimiento es cilíndrico y sencillo. Las glándulas ubicadas en la lámina propia, están rodeadas por una escasa cantidad de tejido conectivo laxo (Galotta y Galotta, 1988).

2.2.2 Compartimento intermedio

El compartimento intermedio es el más pequeño de los compartimientos gástricos. Es reniforme con paredes planas. El contenido de este compartimento es líquido.

El compartimento intermedio comunica cranealmente al compartimento distal a través de un estrecho paso tubular de paredes gruesas, el "canal del istmo". El único labio muscular del surco se extiende a lo largo de la curvatura más pequeña hacia el agujero que comunica con el compartimento distal. La membrana mucosa superficial de las paredes de la gran curvatura se divide en el patrón reticular por medio de crestas que son interceptadas. La muscular de la mucosa está ausente en las regiones no glandulares del compartimento proximal y el compartimento intermedio. Y está presente en las áreas glandulares, aunque esta capa es incompleta. La submucosa del compartimento proximal y el compartimento intermedio es similar a las dos regiones (glandulares y no glandulares) y está constituida por un abundante tejido elástico, reticular y fibras de colágeno, además de una numerosa población celular. La capa muscular contiene una circular interna y unas capas longitudinales exteriores. Una membrana serosa cubre la capa externa muscular de los dos compartimentos.

El canal del istmo conecta el compartimento intermedio con el compartimento distal. Es una pequeña continuación tubular del surco ventricular, que está protegida por un epitelio estratificado. La membrana presenta pliegues longitudinales gruesas y sus paredes contienen una capa muscular bien desarrollada. (Galotta y Galotta, 1988).

2.2.3 Compartimento distal

Denominamos compartimientos distal (Pars distalis ventriculi) a la tercera y última de las divisiones del estómago de los tilópodos. Es un órgano de aspecto tubular o intestiniforme. Tanto su extremo inicial como el terminal o pilórico son más dilatados que la parte media, y no muestra, ningún estrechamiento externo que permita subdividirlo en dos porciones. Internamente la mucosa forma pliegues que al principio esbozan una pequeña red o retículo, y luego se disponen longitudinalmente, salvo al final donde siguen cualquier dirección. Y en el píloro hallamos al toro pilórico (Torus piloricus). Toda la mucosa del compartimento distal es glandular; las glándulas gástricas propias y las glándulas pilóricas se encuentran en la parte final de la mucosa mientras que en las cuatro quintas partes iniciales hay glándulas similares a la de los sáculos glandulares (Galotta y Galotta, 1988).

2.3 Alimentación en llamas

La base de la alimentación de las llamas en general lo constituyen las praderas de pastos naturales las que se caracterizan por un predominio de gramíneas con escasa presencia de leguminosas. La llama aparece como un consumidor de forrajes fibrosos y secos como; *Festuca dolychophylla*, *Stipa brachyphylla*, *Calamagrostis vicunarum*, *Alchemilla pinnata*, *Distichia muscoides* (Bustinza, 2001).

Las gramíneas están adaptadas a su medio, se mantienen y auto perpetúan naturalmente, germinan crecen y producen semillas dentro de un año, después de la diseminación de las semillas muere solo la parte aérea de la planta, donde el resto de su organografía permanece viva gracias a sus órganos de reserva (tallos y raíces) en donde posteriormente rebrotan en la temporada siguiente. Comúnmente estas praderas crecen sobre suelos de pendientes suaves y regulares, delgados a medianamente profundos, frecuentemente pedregosos, con texturas medias a gruesas, bajos contenidos de materia orgánica (0.5 a 2.0%) y pH que varía entre 6.8 y 8.8 (Soil 1992)

En condiciones de pastoreo, los camélidos sudamericanos consumen forrajes a una tasa de $46.8 - 48.8 \text{ g/W}^{0.75}$. Estos forrajes son un 30% Más bajo a los medidos en ovinos en condiciones similares de pastoreo. Estas cifras equivalen aproximadamente a un 2% del peso vivo; entonces para una llama de 40 Kg se estima un consumo diario de 800 g de MS (CONAF, 2005).

El nivel de consumo de alimento en kg de materia seca por día, según San Martin (1991) es 1.8 % de peso vivo en llamas, lo que expresado en relación al peso metabólico de los camélidos sería entre 35 a 38 gramos de materia seca por kg ($P^{0.75}$). Para lograr una producción sostenible y obtener un mayor beneficio de las praderas, hay necesidad de un manejo racional; desafortunadamente eso no ocurre en la mayoría de casos, sobre todo a nivel de comunidades y pequeños productores. En el caso de las comunidades, donde la propiedad de la tierra es comunal mientras que la de los animales es individual o familiar, con frecuencia hay una fuerte tendencia al sobrepastoreo lo que va en detrimento de una producción sostenible (FAO, 2009).

Las praderas de secano se distinguen de los bofedales, por la presencia de pajonales entre sus formaciones herbáceas; donde predominan gramíneas perennes cespitosas, cuyo habito de crecimiento es la forma de “champas”. Destacan los géneros *Festuca*, *Stipa*, *Calamagrostis* y *Deyeuxia* entre los más importantes. La producción anual de materia seca (MS) es baja y varía entre 850 y 1100 Kg/ha/año (Ahumada y Faundez, 2002).

Chayña (1999) señala que el consumo de heno de alfalfa en época seca debe alcanzar los 672.7g de MS/día, representando el 1.8% de su peso vivo, por su parte Alzerreca y Cardozo (1994) sostiene que en praderas de *Festuca dolichophylla* y *Stipa ichu* el consumo de MS debe llegar a 224.2 g y 198.5 g respectivamente, representando los 0.39% y 0.34% de peso vivo de los animales.

Hay una gran variación estacional tanto en la producción de biomasa como en el contenido de proteína, con relativa abundancia en la estación de lluvias y marcada escasez en la época seca. La precipitación pluvial varía de un año a otro, entre 900 a 1 200 mm y está circunscrita a 4 meses del año: diciembre a marzo; los ocho meses restantes son prácticamente de una sequía completa con un alto índice de evaporación. La temperatura ambiental varía de una máxima de 18 a 20° C en el día a -12° C durante la noche en los meses invernales. Con cierta frecuencia, la sierra alta es afectada por tormentas de nieve que al cubrir los pastos dejan sin alimento a los animales por varios días. Otros años hay sequías prolongadas que, igualmente, afectan la disponibilidad de forraje lo que repercute en el comportamiento productivo de los animales (FAO, 2009).

La comunidad de especies vegetales en el área de pastoreo, no se distribuye uniformemente, ni permanece con las mismas especies durante el año; la

existencia de especies permanentes y temporales hacen variar la composición y frecuencia de las especies entre las épocas seca y lluviosa; por lo tanto, la preferencia de especies de pastos naturales en las alpacas varían: según la estación climática, la condición del pastizal y localización del área de pastoreo, los que influyen sobre la calidad nutricional de alimento consumido, siendo de mayor calidad en la época lluviosa y de baja calidad en la época seca.

La preferencia de especies de pastos de porte bajo se da en la época seca. Especies de porte alto en la época lluviosa, por otro lado se evidencia la preferencia de gramíneas en las llamas y de herbáceas en las alpacas.

Tabla 1: Composición botánica de las dietas en %

Grupo de planta	Época seca			Época lluviosa		
	Llama	Alpaca	Ovino	Llama	Alpaca	Ovino
Gramínea alta	38	24	17	45	28	20
Gramínea corta	51	38	43	42	29	66
Graminoides	6	2	3	5	1	1
Herbáceas	4	35	35	7	42	13
Índice de selectividad	39	31	26	53	35	27

Fuente: tomado de San Martín (1991).

Tabla 2: Análisis químico de la *Festuca dolichophylla*

MES	M.O. %	P.C. %	F.C. %	E.E. %	E.L.N. %	C. %
Dic	-	-	-	-	-	-
Ene	94.9	8.9	30.5	2.6	52.9	5.1
Feb	96.9	7.5	38.4	1.5	49.5	3.1
Mar	93.2	7.4	35.6	2.2	48.0	6.8
Abr	96.3	3.8	44.5	1.1	46.9	3.7
May	95.6	4.6	39.8	1.5	49.7	4.4
Jul	95.9	2.0	46.1	0.9	46.9	4.1
Ago	94.9	3.5	40.3	1.1	50.0	5.1
Sep	96.6	1.3	45.7	1.1	47.9	4.0

Diedier 1995

M.O = materia orgánica, P.C = proteína cruda, F.C = fibra cruda, E.E = extracto etéreo, E.L.N = extracto libre de nitrógeno, C= calcio.

Tabla 3: Análisis químico del *Calamagrostis sp.*

MES	M.O. %	P.C. %	F.C. %	E.E. %	E.L.N. %	C. %
Dic	90.8	3.3	34.8	1.0	51.7	9.2
Ene	92.1	8.1	33.2	2.0	48.8	7.9
Feb	93.2	8.5	34.2	2.2	48.3	6.8
Mar	89.3	8.8	30.8	1.6	48.1	10.7
Abr	89.3	6.4	33.4	2.4	47.1	10.7
May	89.5	5.5	33.2	2.4	48.4	10.5
Jul	89.0	3.5	32.4	1.8	51.3	11.0
Ago	89.6	3.5	34.7	0.8	50.6	10.4
Sep	89.8	2.3	32.5	1.5	53.5	10.2

Diedier 1995

M.O = materia orgánica, P.C = proteína cruda, F.C = fibra cruda, E.E = extracto etéreo, E.L.N = extracto libre de nitrógeno, C= calcio.

2.4 Digestibilidad del alimento en Camélidos

La digestibilidad del alimento, es el segundo factor dietario de interés debido a que define el aporte de nutrientes para el organismo animal (NRC, 2001).

Cañas, (1995) define que el termino digestión es el proceso que sufre cuando el alimento, se encuentra en el tracto digestivo. Por tanto la digestibilidad es la absorción de los nutrientes del alimento en el tracto digestivo, y no aparece en la materia fecal de los animales, estos provienen de dos fuentes: de las dietas y propios de los animales (fluidos digestivos y células descamadas). Por su parte Bautista (2002) indica que la digestibilidad in vivo en llamas y ovinos, son atributos al habito de selectividad, encontrándose mayores coeficientes de digestión para llamas y ovinos.

El tiempo de retención de la digesta es mayor en alpacas que en llamas, sin embargo, la digestibilidad de la materia seca por unidad de peso corporal metabólico es mayor en llamas que en alpacas, lo cual indica que las llamas pueden afrontar mejor las dietas de baja calidad que las alpacas (Sponheimer *et al.*, 2003).

La digestibilidad de forrajes en llamas, alpacas, caprinos y ovinos, muestra resultados contradictorios. En algunos casos los camélidos digieren mejor que ovinos los forrajes de alta fibra/bajo nitrógeno (hinztz *et al.*, 1973; San Martin y Bryant, 1989), en otros casos, con similar eficiencia de los forrajes de baja fibra/alto nitrógeno (florez, 1973; hinztz *et al.*, 1976). A fin de aclarar esta controversia, Sponheimer *et al.* (2003) han contrastado la habilidad de los camélidos (alpacas y llamas) y cabras para digerir henos de gramíneas c_3 (*bromus inermis*) y c_4 (*cynodon dactylon*) con similares niveles de nitrógeno y paredes celulares. La digestibilidad de la materia seca de henos c_3 fue similar

entre camélidos y caprinos; en cambio, los camélidos tuvieron mayor eficiencia que las cabras en la digestión de materia seca de henos c_4 , debido posiblemente a un mayor tiempo de retención del alimento (71 v 54 h, respectivamente). Este resultado resta soporte a la hipótesis de que los camélidos tengan mayor eficiencia digestiva que los rumiantes pecoran.

Cuando la digestibilidad se expresó en relación al peso metabólico, las cabras mostraron mayor eficiencia digestiva que las alpacas. En otro ensayo comparativo de patrones de alimentación con forrajes a mostrado que las cabras consumen y retienen más MS y N que las llamas más grandes, lo cual demuestra que las cabras tiene mayor eficiencia digestiva que las llamas (Robinson *et al* 2006).

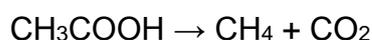
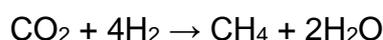
2.5 Arqueas de rumen

La gran mayoría de los microorganismos del dominio Archaeobacteria (arqueas) pertenecen al *phylum Euryarchaeota*, constituido por las clases *Methanobacteria*, *Methanomicrobia*, *Thermoplasmata* y *Methanopyri* (70.3, 16.4, 7.4 y 0.03%, respectivamente). Dentro de la clase *Methanobacteria*, familia *Methanobacteriaceae* predominan 3 géneros: *Methanobrevibacter*, *Methanomicrobium* y *Methanosphaera* (50, 15 y 13% del total de arqueas, respectivamente), debido a su crecimiento relativamente rápido y su competitividad en la utilización del H_2 y CO_2 (Kim *et al.*, 2011). Estas son las únicas arqueas conocidas en el rumen y son responsables de la producción de metano (Tajima *et al.*, 2001). Las Arqueas pertenecientes a los órdenes *Methanobacteriales* y *Methanomicrobiales* se han encontrado asociadas con protozoos de los géneros *Entodinium*, *Polyplastron*, *Epidinium*, y *Ophryoscolex* (Sharp *et al.*, 1998). También se han observado interacciones de diversas

especies de metanógenos con hongos anaerobios, como *Neocallimastix frontalis* (Joblin *et al.*, 2002).

Las arqueas metanógenas no utilizan oxígeno para respirar (el oxígeno inhibe su crecimiento), sino carbono como aceptor final de electrones. El carbono puede derivar de un pequeño número de compuestos orgánicos, todos con bajo peso molecular. En términos fisiológicos, hay tres rutas de metanogénesis: (i) a partir de la reducción del dióxido de carbono (CO₂) con hidrógeno (H₂) (ruta hidrogenotrópica), (ii) a partir de compuestos metilados tales como el metanol y aminas metiladas (ruta metilotrópica), y (iii) a partir de la escisión del acetato (ruta acetoclástica) (Thauer *et al.*, 2008).

Las dos rutas más conocidas involucran el uso de dióxido de carbono y ácido acético (Hook *et al.*, 2010):



Sin embargo, la metanogénesis puede utilizar también carbono de otros compuestos orgánicos pequeños, tales como el ácido fórmico (formato), metanol, metilaminas, dimetil sulfuro y metanotiol, dependiendo del pH y la temperatura. Las arqueas metanógenas son beneficiarias directas del hidrógeno (H₂) que genera la fermentación de los alimentos por los otros microbios del rumen. La mayoría de especies de metanógenos puede crecer utilizando H₂ y a menudo formato como sus fuentes de energía. Su metabolismo les permite obtener energía por reducción de dióxido de carbono (CO₂) con los electrones que derivan de la oxidación de H₂, (o formato) produciendo CH₄ (Janssen y Kirs, 2008). Por consiguiente, la metanogénesis disminuye la cantidad de H₂ en el rumen y constituye la principal ruta de remoción de H₂ en el rumen. La

información disponible indica que se puede minimizar la metanogénesis disminuyendo la producción de H_2 (disminuyendo el número de productores de H_2 tales como los protozoarios y algunos microorganismos fibrolíticos), inhibiendo la formación de CH_4 y/o redireccionando el H_2 hacia la producción de propionato (incrementando el número y la actividad de los no-metanógenos tales como los utilizadores de H_2) (Morgavi *et al.*, 2010).

La cantidad de metano emitido está estrechamente ligada a la cantidad de alimento ingerido y digerido. La digestión ruminal produce ácidos grasos volátiles, CO_2 , H_2 , amoníaco y calor. Los metanógenos reducen CO_2 a CH_4 , utilizando H_2 como fuente de energía, como último paso de la fermentación entérica. La formación de CH_4 actúa como el sumidero más importante de electrones que drena el H_2 producido por los microorganismos ruminales (McAllister y Newbold, 2008). La emisión de metano tiene implicancias tanto nutricionales (pérdida de energía dietaria) como ambientales (gas de efecto invernadero), donde el metano que deriva de la digestión de los pastos templados equivale a 6-7% de la energía bruta del alimento consumido, equivalente a una producción anual de CH_4 de 70-90 Kg de una vaca lactante (i.e. cerca de 250 Kg/ha/año para una carga animal de tres vacas/ha) (Pinares *et al.*, 2009).

En ausencia de protozoos, las emisiones de metano ruminal se reducen en un promedio de 13%, pero esto varía con la dieta. La reducción de las emisiones de metano del rumen libre de protozoos puede ser una consecuencia de: (1) reducción de la digestión ruminal de la materia seca; (2) una disminución de la población de metanógeno; (3) un patrón alterado de producción de ácidos grasos volátiles y disponibilidad de hidrógeno; O (4) aumento de la presión

parcial de oxígeno en el rumen. La disminución de la metanogénesis asociada con la eliminación de protozoos es mayor en las dietas de alto concentrado y esto es compatible con los protozoos que son relativamente más importantes fuentes de hidrógeno en las dietas de almidón, porque muchas bacterias de almidón-fermentación no producen H_2 . Debido a que los protozoarios también disminuyen el suministro de proteína disponible para el animal huésped, su eliminación ofrece beneficios tanto en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero como en el aumento potencial de la producción ganadera. Se revisan las estrategias para eliminar protozoos (Hegarty, 2002).

2.6 Metano entérico

El metano entérico (CH_4) es el gas digestivo más abundante que eliminan los animales rumiantes, como producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos del dominio Arquea conocidos colectivamente como metanógenos del *phylum Euryarcheota* que viven en el tracto digestivo anterior de los animales rumiantes, con predominio del género *Methanobrevibacter*, un grupo anaerobio estricto, capaz de crecer utilizando H_2 (o formato) como fuente de energía y electrones que derivan del H_2 (o formato) para reducir CO_2 a CH_4 (Janssen y Kirs, 2008).

La alimentación tradicional del ganado en altura se caracteriza por el consumo de forrajes enteros y maduros de alto contenido de fibra. El consumo de forrajes enteros y maduros por el ganado genera altas emisiones de metano con efectos negativos sobre la productividad animal y la salud ambiental (Doreau *et al.*, 2011).

Aproximadamente el 90% del metano emitido por los rumiantes se produce en el rumen y se exhala por la boca y la nariz (Wright et al., 2004). Las emisiones de metano tiene implicancias tanto nutricionales (pérdida de energía dietaria) como ambientales (gas de efecto invernadero), donde el metano que deriva de la digestión de los pastos templados equivale a 6-7% de la energía bruta del alimento consumido, equivalente a una producción anual de CH₄ de 70-90 Kg de una vaca lactante (Pinares *et al.*, 2009).

La metanogénesis se puede ver afectada por numerosos factores como el pH, la concentración de AGVs en el rumen, el tipo de dieta, la forma de alimentación del animal, la especie animal o el estrés ambiental (Johnson y Johnson, 1995). El pH ruminal es uno de los principales factores que puede afectar la conformación de la población microbiana y los niveles de ácidos grasos producidos en el rumen. El pH ruminal al cual ciertas funciones son optimizadas puede variar. En el rumen hay dos grandes grupos de bacterias que actúan a varios pH. El de digestoras de fibra, las cuales son más activas a pH de 6,2 a 6,8. Las bacterias celulolíticas y metanogénicas pueden verse reducidas cuando el pH comienza a caer por debajo de 6. Por su parte, el grupo de los digestores de almidón prefieren un ambiente más ácido a pH de 5,2 a 6 (Ishler *et al.*, 1994). La fermentación microbiana que ocurre en rumen transforma los carbohidratos, proteínas y glicerol a acetato, dióxido de carbono y amoníaco, produciéndose además metano, propionato y butirato como resultado de reacciones de transferencia de protones y electrones (Van Nevel y Demeyer, 1995). El metano es un producto de desecho nutricional (O'Kelly y Spiers, 1992; Lana *et al.*, 1998), y puede representar entre el 2 y 12% de la energía bruta consumida por el

rumiante (Johnson y Johnson, 1995). La reacción química que lleva a la producción de metano es la siguiente (Van Soest, 1994):



Sin embargo, la producción de metano cumple un objetivo importante en el rumen, ya que ayuda a mantener la presión parcial de hidrógeno en un nivel muy bajo, lo que evita que lactato o etanol sean los mayores productos de fermentación, permitiendo que se forme más acetato (Wolin y Miller, 1988). Esto conlleva a una mayor eficiencia del crecimiento bacteriano (Van Nevel y Demeyer, 1995) como resultado de la formación de metano en el rumen. En adición a eso, todas las reacciones del metabolismo ruminal son partes integradas en una serie de reacciones interdependientes entre sí. Por ejemplo, la maximización de la degradación de la fibra está asociada con una mayor producción de metano (Dong et al, 1999). Siguiendo esta línea de razonamiento, uno podría concluir que la eliminación de la producción de metano en el rumen no puede ser considerada una intervención separada del resto, y que sus consecuencias sobre el metabolismo animal y la fermentación del rumen en particular no pueden ser ignoradas (Van Nevel y Demeyer, 1995).

Algunos países como Australia, Nueva Zelanda, Irlanda, Inglaterra y Canadá realizan esfuerzos para cuantificar el impacto de la fermentación entérica en las emisiones de metano (Hegarty, 2002). La Argentina, en tanto, ha estimado sus valores de emisiones de metano, basadas primordialmente en modelos estadísticos y ecuaciones matemáticas, siendo las mismas de 2.44 Tg/año (US EPA, 1994).

Tabla 4: Poblaciones globales de especies animales domésticas y emisiones de metano en 1990 (US EPA, 1994).

Especie	Población (en miles)	Emisiones (Tg/año)
Bovinos	1.279.257	58,1 (72.8 %)
Bubalinos	140.758	7,7 (9.6 %)
Ovinos	1.190.500	7,6 (9.5 %)
Caprinos	557.030	2,8 (3.5 %)
Camellos	19.450	0,9 (1.1 %)
Cerdos	856.763	1 (1.2 %)
Equinos	60.920	1,1 (1.4 %)
Mulas/Burros	58.396	0,6 (0.8 %)
Totales	N/A	79,8

Estimación de metano entérico para la población de llamas en el Perú

La emisión de metano entérico por llama es de 13.20 kg/año. Siendo la población actual de llamas en el Perú 746.269 cabezas La estimación de metano entérico para la población sería de 9849074.84 Kg/año que es equivalente a 9849.07 TM/año de emisiones de metano entérico.

Las emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica cambiarán en la medida que los sistemas de producción cambien y se orienten hacia sistemas con un mayor uso de alimentos y una elevada productividad (FAO, 2009).

Tabla 5: Emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica (FAO, 2009).

Región/País	Emisiones (millones de toneladas de CH ₄ por año Fuente)					
	Ganado de leche	Otro ganado	Bufalos	Ovejas y cabras	Cerdos	Total
África subsahariana	2.30	7.47	0.00	1.82	0.02	11.61
Asia	0.84	3.83	2.40	0.88	0.07	8.02
India	1.70	3.94	5.25	0.91	0.01	11.82
China	0.49	5.12	1.25	1.51	0.49	0.05
América central y América del Sur	3.36	17.09	0.06	0.58	0.08	21.17
Asia occidental y África del norte	0.98	1.16	0.24	1.20	0.00	3.58
América del norte	1.02	3.85	0.00	0.06	0.11	5.05
Europa occidental	2.19	2.31	0.01	0.90	0.20	5.70
Oceanía y Japón	0.71	1.80	0.00	0.73	0.02	3.26
Europa Occidental y CEI	1.99	2.96	0.02	0.59	0.10	5.66
Otros países desarrollados	0.11	0.62	0.00	0.18	0.00	0.91
TOTAL	15.69	50.16	9.23	9.44	1.11	05.43
Pastoreo	4.73	21.89	0.00	2.95	0.00	29.58
Mixto	10.96	27.53	9.23	6.50	0.80	55.02
Industrial	0.00	0.73	0.00	0.00	0.30	1.04

Las fuentes primarias de metano son artificiales (antropogénica) y naturales (no antropogénicas). La fuente artificial aporta cerca del 70% del metano emitido anualmente. Esta fuente incluye explotaciones petroleras, explotaciones mineras, tierras destinadas al alojamiento de los residuos, ganado rumiante, desperdicios sólidos, desperdicios líquidos, cultivos de arroz y biomasa quemada (Berra, *et al.*, 1994).

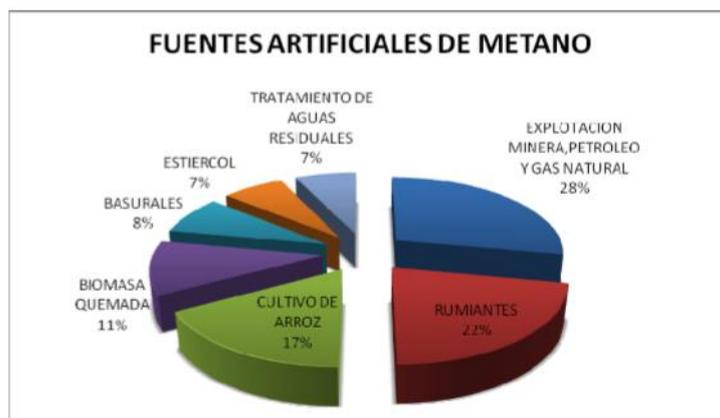


Figura. 1 Fuentes artificiales de metano (Berra, *et al.*, 1994).

El 30 % restante de la emisión de gases de efecto invernadero son provenientes de las fuentes naturales como pantanos, incendios forestales y metano hidratado proveniente de océanos y agua dulce. El nivel de metano de la atmósfera por largo tiempo dependió de las entradas y salidas.

Las salidas de metano (principalmente a través de la conversión atmosférica el vapor de agua y el dióxido de carbono) ocurren mucho más lentamente que las emisiones de fuentes artificiales. El incremento neto del metano durante la década del 80 fue estimado del orden de las 37 Tn lo que significa un crecimiento porcentual del 0.8 % por año (Berra, *et al.*, 1994).

2.7 Factores que afectan la producción de metano

2.7.1 Factor dieta

La producción de metano principalmente depende de la cantidad y calidad del alimento que afecta la tasa de digestión y la velocidad de paso en el proceso de fermentación (Van Soest, 1982). Entre los factores más importantes que influyen sobre la cantidad de metano producido y liberado por los rumiantes se encuentran: la cantidad y calidad del alimento

consumido, el tipo de glúcidos en la dieta, el grado de procesamiento del alimento, la adición de lípidos o ionóforos a la dieta y las alteraciones en la microflora ruminal. La manipulación de estos factores puede reducir las emisiones de metano del ganado. Los dos principales factores responsables de las variaciones en la producción de metano son la cantidad de carbohidratos fermentados en el rumen, lo cual implica diversas interacciones dieta-animal, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos carbohidratos y la tasa de pasaje (Johnson y Johnson, 1995).

La calidad del forraje tiene un impacto directo sobre las emisiones entéricas de metano, así se ha comprobado tanto en modelos in vitro como en modelos in vivo (Boadi *et al.*, 2002). Las dietas altas en granos (más de 90% de concentrado), en niveles de consumo próximos al ad libitum pueden reducir las pérdidas de metano en 2-3% (Johnson y Johnson, 1995). Cuando se aumenta el consumo, la producción total de metano aumenta, pero la cantidad de energía perdida como metano por unidad de alimento consumido disminuye en 12-30%. Según algunos autores, los rumiantes que consumen dietas ricas en almidón producen mayor cantidad de propionato, menor relación de acetato y propionato, y menor emisión de metano. Las altas tasas de fermentación de dietas ricas en almidón, pueden inhibir las bacterias metanogénicas y ciliados del rumen y aumentar la producción de propionato.

Los estudios sobre la calidad de las pasturas indican que estas son deficientes en diversos minerales como cobre, manganeso y zinc, cuyo

consumo se manifiesta en un menor rendimiento animal, lo que a su vez incrementa las emisiones por unidad de producto.

2.7.2 Factor ambiente

Dada por altitud, latitud, temperatura y fotoperiodo. Las pasturas tropicales por lo general son de regular a baja calidad debido a su alto contenido de lignocelulosa poco digestible y a su pobreza en otros nutrientes, principalmente glúcidos solubles y proteína (Van Soest, 1982). Las emisiones de metano por unidad de materia seca digerida es mayor para los rumiantes alimentados con pastos subtropicales (C₄) que con pastos de climas templados (C₃), lo cual se atribuye al mayor contenido de lignocelulosa de los pastos C₄ (Ulyatt *et al.*, 2002).

Las emisiones de metano entérico varían de acuerdo al tipo de pastura y la temporada de pastoreo. Las emisiones están influidas por la calidad y la disponibilidad de materia seca, de manera que las emisiones son más altas cuando la calidad de los pastos y su disponibilidad son bajas.

2.7.3 Factor producción

Algunos autores indican que el sistema de producción así como la raza animal juegan un papel importante en las emisiones de metano entérico (Pedreira *et al.*, 2009). Como el ganado de carne, alimentados principalmente con pastos naturales.

2.7.4 Factor fisiológico

La degradación ruminal de un forraje o una dieta depende no solo de sus características químicas y físicas sino también del tiempo de retención (tasa de pasaje) en el rumen. A menor digestibilidad o la mayor retención ruminal incrementa la producción de metano por unidad digerida; y de manera

inversa, la mayor tasa de pasaje ruminal disminuye la producción de metano. Otro factor que afecta la producción de metano es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, lo cual regula la producción de H_2 y la producción de metano. Si la relación acético: propiónico fuera 0.5, la pérdida energética puede ser de 0%; pero si todos los glúcidos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera propiónico, las pérdidas energéticas podrían llegar a 33%. La relación acético: propiónico puede variar entre 0.9 a 4, por lo tanto las pérdidas por metano varían ampliamente (Johnson y Johnson, 1995).

En general, los factores que se asocian con un aumento en la tasa de pasaje son los alimentos en el rumen asociados a su vez con una disminución en la cantidad de CH_4 formado por unidad de alimento digerido, también están asociados con un aumento en la proporción de propionato de entre los productos de fermentación en el rumen. Hay una fuerte correlación negativa entre la importancia de la formación de propionato en el rumen y la cantidad de CH_4 producido.

2.7.5 Factor genético

Además del manejo eficaz de los programas de alimentación, hay varias otras estrategias que sirven para mejorar la productividad animal. Éstos incluyen la adopción de estrategias de selección animal y mejoramiento genético, de manejo reproductivo y el uso de promotores del crecimiento para mejorar la productividad.

La selección genética de animales que consumen menos alimento o producen menos metano por unidad de alimento es otra estrategia de manejo que se puede emplear para reducir las emisiones de metano

entérico (Boadi *et al.*, 2002). Una considerable variación entre los animales de pastoreo ha sido observada también por otros autores (Ulyatt *et al.*, 2002) quienes estiman que la variación de animal-animal representa del 70% al 85% de la variación en la producción diaria de metano. Dos aspectos que están siendo activamente investigados como medio para identificar los animales genéticamente superiores son la eficiencia alimenticia neta y el tiempo medio de retención de la digesta en el rumen (Hegarty, 2002).

2.8 Ganadería y contaminación ambiental

En la actualidad la ganadería es la actividad humana que mayor impacto tiene sobre el ambiente. La FAO indica que la ganadería ocupa casi el 30% de la superficie terrestre y el 70% de los suelos agrícolas están cubiertos por pastizales, de tal manera la ganadería ocupa una tercera parte de la superficie terrestre para la producción de forrajes. En México la superficie de praderas corresponde al 50% del territorio nacional y anualmente se deforestan 260 mil hectáreas de bosques y selvas que se convierten en praderas para la producción ganadera. El principal ejemplo a nivel mundial de la pérdida forestal, está en la Amazonía donde el 70% de los bosques talados han sido convertidos en praderas y cultivos forrajeros para la alimentación del ganado.

Por otro lado, la producción agropecuaria, y especialmente la ganadería con rumiantes, está estrechamente relacionada con el calentamiento global del planeta porque es la actividad humana que más influye sobre el cambio climático después del sector energético, y de acuerdo con la FAO, aporta un 18% de los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera, siendo los rumiantes los que más contribuyen sobre todo con dióxido de carbono y el metano (Figura 2).

El incremento en las emisiones de metano provenientes de la ganadería con rumiantes se vincula con un aumento en la población de animales a consecuencia de una elevación en la demanda de alimentos de origen animal (carne y leche) debido al crecimiento de la población humana.

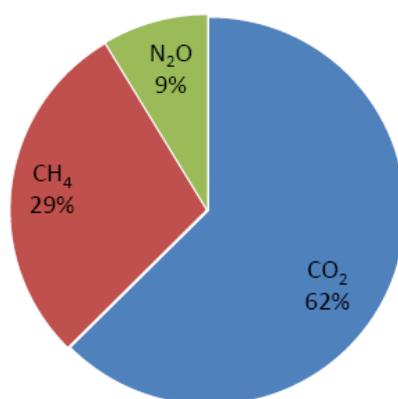


Figura 2: Contribución de los rumiantes a las emisiones de GEI.

El gas metano es uno de los subproductos de la fermentación anaeróbica de los alimentos en el rumen de las especies rumiantes, y junto con el dióxido de carbono y el óxido nitroso representan los principales GEI producidos por los rumiantes. Anualmente se producen en el mundo 80 millones de toneladas de metano, siendo los rumiantes responsables del 30% de estas emisiones con un potencial de calentamiento 23 veces superior al del dióxido de carbono y un periodo de vida de 12 años. Además de su efecto en el ambiente, el metano representa una pérdida de energía del alimento consumido por el animal y por lo tanto es una expresión de ineficiencia en la producción. Esta pérdida de energía

debida a su conversión en metano puede fluctuar del 5 a 18 % de la energía total consumida por los rumiantes (IPCC, 1997).

Tabla 6: Potencial de calentamiento y concentración atmosférica de los principales gases de efecto invernadero por fuente de emisión.

Gas	Fuentes	Potencial de calentamiento	Concentración en la atmósfera
CO ₂	Combustibles fósiles, fábricas y deforestación	1	60
CH ₄	Rumiantes, cultivos de arroz y gas natural	23	23
N ₂ O	Suelos, fertilizantes, heces, orina	310	6

CO₂: dióxido de carbono; CH₄: metano; N₂O; óxido nitroso.

Fuente: IPCC (1997).

El ganado rumiante contribuye con la seguridad alimentaria y nutricional de la población mundial, mediante la transformación de alimentos fibrosos en leche, carne y despojos útiles para la alimentación humana (Randolph *et al.*, 2007), así como en la reducción de la pobreza, sobre todo en los países en vías de desarrollo (Smith *et al.*, 2013); sin embargo, esa importante contribución tiene un alto costo ambiental debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), que son responsables del calentamiento global y el cambio climático (Randolph *et al.*, 2007),

Los cálculos indican que para el año 2050, el consumo mundial de carne aumentará de 229 a 465 millones de toneladas y el de leche de 580 a 1.043 millones de toneladas (FAO, 2006), lo cual significa que la seguridad alimentaria

y nutricional de la población mundial tendrá un costo ambiental mucho mayor que el actual.

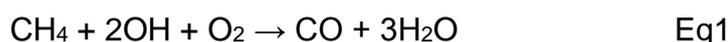
El metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), después del dióxido de carbono (CO_2), constituyen los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes debido a su propiedad de capturar los rayos infrarrojos y aumentar las temperaturas próximas a la superficie de la tierra, con impacto sobre el calentamiento global y el cambio climático (Montzka *et al.*, 2011). Su potencial de calentamiento (o capacidad para atrapar el calor) es 25 CH_4 y 298 N_2O veces mayor que el del CO_2 , respectivamente, en un horizonte de 100 años (Forster *et al.*, 2007). Sus concentraciones atmosféricas están en constante incremento, en 158% y 19%, respectivamente, en los últimos 120 años, y constituyen el 18% (CH_4) y el 6% (N_2O) de la fuerza radiativa global en la atmósfera (sin contar el vapor de agua), habiendo alcanzado la alarmante cifra de 1830 ppb. Los estimados de las emisiones globales de CH_4 y N_2O de los ecosistemas terrestres durante 1981-2010 fueron de 144 Tg C/año y 12.52 Tg N/año, respectivamente. Las simulaciones mostraron un incremento significativo anual para CH_4 (0.43 Tg C/año) y N_2O (0.14 Tg N/año), en este período de estudio (Tian *et al.*, 2015).

2.9 Metano atmosférico

Las fuentes de metano se pueden agrupar en tres categorías: metano biogénico, producido por los microbios (metanógenos) a partir de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (humedales, rumiantes y cultivo de arroz, depósitos de desechos, etc.); metano termogénico, formado en los procesos geológicos a temperaturas elevadas (combustibles fósiles); y metano pirogénico, producido por el proceso de combustión incompleta de la biomasa durante los incendios forestales y de los biocombustibles y combustibles fósiles

(Kirschke *et al.*, 2013). El metano atmosférico (CH₄) aumentó desde ~900 ppb (partes por billón, o nanomoles por mol de aire seco) en el año 1900 hasta ~1800 ppb en el año 2010 en una tasa sin precedentes en los registros de observación (Ghosh *et al.*, 2015). Los estudios satelitales (GOSAT) han estimado una emisión global de 539 Tg de metano por año, de los cuales 39% procede de los humedales, 22% de la ganadería, 12% de petróleo/gas, 12% del estiércol, 8% del arroz y 6% de la minería del carbón (Turner *et al.*, 2015).

La principal forma de remoción del metano atmosférico es la oxidación por el radical hidroxilo (OH), sobre todo en la tropósfera, la misma que representa el 90% de la remoción global de metano (Kirschke *et al.*, 2013). El proceso incluye una secuencia de reacciones químicas, donde el metano es convertido en monóxido de carbono y agua (Eq1). El monóxido de carbono es también oxidado por OH en CO₂ y agua. La tasa de remoción de metano atmosférico es de 500 Tg/año. El radical OH se forma por foto disociación del ozono troposférico (O₃) por la luz ultravioleta en presencia de vapor de agua (Fiore, 2014). A diferencia del CO₂ cuya vida media es mayor a 100 años, la vida media de una molécula de CH₄ en la tropósfera es de solo 8-12 años, de manera que las reducciones en las emisiones de hoy pueden disminuir las concentraciones en una o dos décadas, un período de tiempo crítico para frenar el calentamiento especialmente en las regiones más vulnerables del planeta, tales como los polos.



La otra forma de remoción está a cargo de los metanotrofos, que son las únicas bacterias gram-negativas que pueden utilizar metano como fuente de carbono y energía (Trotsenko y Murrell, 2008). La oxidación por esta vía ocurre en los suelos aireados, donde el CH₄ reacciona con el oxígeno y produce dióxido de

carbono y agua (Eq2) (Kirschke *et al.*, 2013), siendo el suelo el mayor sumidero de metano atmosférico.



La concentración atmosférica de CH_4 resulta de la diferencia entre la tasa de emisión y la tasa de remoción en el mismo período.

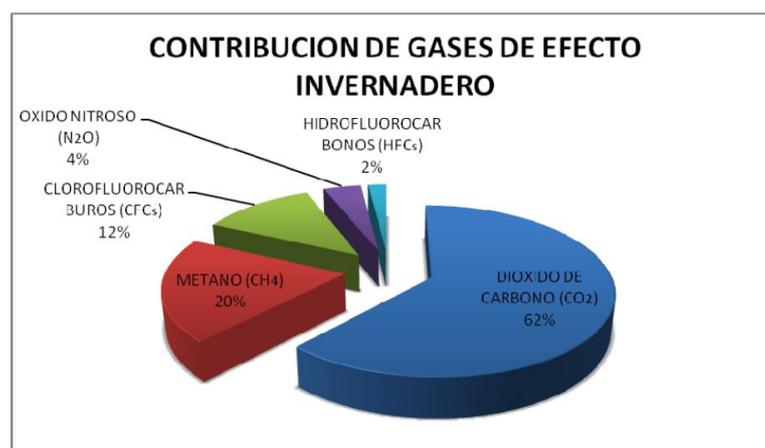


Fig. 3: Contribución de gases de efecto invernadero (Adaptado de Berra, *et al.*, 1994).

El metano (CH_4) es un gas, químicamente y radiactivamente activo que contiene las radiaciones infrarrojas provocando un calentamiento global de la tierra. Es el primer componente gaseoso del medio natural y una importante fuente de energía. Sus concentraciones se están incrementando rápidamente en la atmósfera aumentado la contaminación ambiental. El metano (CH_4) aporta aproximadamente 20% del total de los gases que causan el denominado efecto invernadero. El dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso y otros gases representan el 86%, con el CO_2 representando el 62% (Berra, *et al.*, 1994)

2.10 Metodologías para medir las emisiones de metano en rumiantes

Para el desarrollo de un inventario preciso, es importante que exista confianza en la precisión de la tecnología utilizada para medición de CH₄. Las emisiones de metano provenientes del ganado han sido medidas como parte de los estudios sobre fermentación ruminal, balance energético, evaluación de aditivos y más recientemente, para caracterizar y reducir la contribución de rumiantes a la carga global de CH₄. Las emisiones de CH₄ por parte del ganado se han medido usando técnicas de calorimetría de la respiración tales como las cámaras para el cuerpo entero, cajas de cabeza y cámaras y máscaras ventiladas (Johnson y Johnson, 1995).

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

Para las mediciones como tal de metano se han usado técnicas y/o equipos tales como: a) la cromatografía de gases; b) los analizadores de gases infrarrojos con detección fotoacústica; c) la espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR); d) la espectroscopia de absorción láser con diodos sintonizables y, e) los semiconductores sensores de chip. Por su parte, para la medición de las emisiones de metano por parte de los rumiantes existen varias opciones o metodologías como: a) la calorimetría de la respiración; b) el uso de gases trazadores calibrados como el hexafluoruro de azufre (SF₆); c) técnicas meteorológicas tales como la técnica del túnel, las técnicas de arriba a abajo, las técnicas que muestrean en las fronteras límites de la capa atmosférica; d) las ecuaciones predictivas y; e) las técnicas in vitro entre las cuales se destaca la

técnica de simulación ruminal –RUSITEC– y la técnica in vitro de producción de gases (Bhatta *et al.*, 2007).

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

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ámbito experimental

El experimento se realizó en el Centro de Investigación y Producción (CIP) La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano, a una altitud de 4200 msnm, ubicada entre las coordenada 14° 30'33" latitud sur y 70°57'12" longitud oeste (Holgado et al., 1979), ubicado en el distrito de Santa Rosa, Provincia de Melgar, Dpto. de Puno, entre los meses de septiembre – diciembre del año 2016. A una temperatura promedio de 9°C.

Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, entre los meses de enero - abril del año 2017, a una altitud de 3825 m.s.n.m., con las coordenadas de 15°49'34" latitud Sur y 70°00'43.5" longitud Oeste del Meridiano de Greenwich.

3.2 Instalaciones y equipos

Como instalación de medición de metano (CH₄) entérico, se utilizó una cámara de respiración herméticamente cerrada, se construyó una cámara de policarbonato con estructuras metálicas con una dimensión de 2 metros de alto por 2 metros ancho por 2.5 metros de largo (Fig. A.1 Anexo) sobre una base plana de tablas de madera, cubierta por una funda impermeable, sellada herméticamente con silicona por dentro y por fuera de la cámara.

Se armaron corrales con paneles metálicos para el descanso de los animales, además se utilizaron equipos de colección, conformados por arneses de jebe, bolsas de lona para colección de alimento, (Fig. A.2 Anexo) bolsas para colección fecal fijadas con hebillas tip-top (Fig. A.3 Anexo) en el arnés y colector de heces adaptado para hembras que separa heces de orina. (Fig. A.4 Anexo).

Equipos

- Equipo Gasmeter DX-4030 (Fig. A.5 Anexo)
- Balanza electrónica digital con plataforma con capacidad de 500/0.1 kg para pesar animales.
- Balanza analítica con capacidad de 200/0.0001 g para análisis de laboratorio.
- Estufa para desecar las muestras.
- Molino manual.
- Ablandador de agua (para obtener agua des ionizada)
- Horno de desecación
- Horno Mufla.
- Estereoscopio

Materiales

- Cánula esofágica (Fig. A.6 Anexo)
- Instrumental y materiales de cirugía
- Sogas, soguillas
- Material de vidrio y reactivos de laboratorio Baldes.
- Tablero de vidrio
- Meza.
- Material de escritorio, libreta de campo, cuaderno de apuntes
- Material fotográfico

3.3 Animales y alimentación

Se utilizaron un total de 10 llamas adultas, 5 machos reproductores y 5 hembras (Tabla 7) de variedades q'ara y ch'aku, clínicamente sanos procedentes de cabaña "Siveria e Imanota" del Centro de Investigación y Producción (CIP) La Raya, UNA-Puno, cuya vegetación predominante fue *Festuca dolichophylla* (Chilliwa) y *Calamagrostis vicunarum* (Crespillo), los animales estuvieron en pastoreo libre.

Tabla 7: Número de animales para experimento de metano entérico

Medición de metano	Animales	Fistula esofágica	Total
Machos	4	1	5
Hembras	4	1	5
Total	8	2	10

3.4 Metodología experimental

El trabajo consistió en realizar las mediciones de metano entérico (CH₄) en llamas alimentadas en pastos naturales en un ámbito de extrema altitud (4200 m), en un enfoque de investigación experimental.

3.4.1. Estimación de las emisiones de CH₄ entérico

Las emisiones de CH₄ entérico se estimaron a través del modelo de predicción sugerido por Maraes *et al.* (2014), debido a la disponibilidad de los datos de entrada exigidos por el modelo, tales como la ingestión de materia seca (IMS) y el contenido de fibra detergente neutro (FDN) de la dieta consumida por los animales.

Las emisiones de CH₄ entérico se expresaron en cantidades absolutas por día (litros, moles y gramos por día), como proporción del consumo (gramos, litros o % del consumo de materia seca o energía consumida) y en términos de productividad (gramos o moles por unidad de producto obtenido); es decir, la denominada intensidad de las emisiones de metano entérico (Lovett *et al.*, 2003; Jordan *et al.*, 2006; Leslie *et al.*, 2008).

Las emisiones de metano entérico se determinaron mediante las mediciones *in situ* de las concentraciones de metano del aire espirado por los animales experimentales, con un analizador de gases de metano (Gasmeter DX-4030), diseñado para mediciones *in situ* de diferentes compuestos gaseosos (tanto orgánicos e inorgánicos) a bajas concentraciones en el aire ambiente. Los resultados del análisis de hasta 25 compuestos pre-calibrado se visualizan en la pantalla de un PDA (Personal Digital Assistant). La comunicación entre el módulo analizador y el PDA es inalámbrico (con el protocolo Bluetooth). En la configuración estándar, concentraciones de 15 gases de interés se pueden monitorizar simultáneamente. Como una opción, diez gases adicionales se pueden agregar al análisis (Gasmeter MR, 2012).

3.4.2. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

El principio consiste en luz infrarroja se divide en dos trayectorias por dos rayos de un interferómetro. Cuando los rayos se combinan en un detector de infrarrojos, interferencia constructiva y destructiva produce una señal modulada que es una función de la diferencia de camino óptico entre los dos rayos. Esta llamada interferograma se convierte en un espectro de Fourier por un complejo de transformar. En la espectroscopia de FTIR de

la absorción de infrarrojos de diferentes moléculas se utilizan para cuantificar su concentración. Una serie de gases de interés en la investigación del cambio climático podría ser determinado de forma única y al mismo tiempo (Bhatta *et al.*, 2007)

3.4.3. Antecedentes de uso del equipo Gasmeter DX – 4030

El método utilizado para la medición de la producción de metano fue la técnica CO_2 , que se basa con CO_2 como gas trazador. La medición de la relación de $\text{CH}_4 / \text{CO}_2$ a intervalos regulares, combinados con la medición de CO_2 diaria total producido, la cantidad de metano producido se puede calcular. La concentración de CO_2 , CH_4 y relación de CH_4 entre CO_2 se midió cada dos horas durante un período de 24 horas en el sexto día, de cada período de recolección de datos. Esto se hizo con el equipo portátil Gasmeter DX-4030 basado en mediciones infrarrojas. Los animales se mantuvieron en la cámara durante 15 minutos, y los gases se midieron los últimos 5 minutos (Bäckman *et al.*, 2012).

3.4.4. Etapa pre-experimental

a) Las llamas se seleccionaron del CIP La Raya, un macho de variedad ch'aku y una hembra de variedad q'ara, en buen estado de salud sin defectos congénitos ni hereditarios (prognatismo), buena constitución corporal.

b) La fistulación y canulación de las llamas se ha seguido la técnica descrita por Van Dine y Torrel (1964), modificado por Bautista (2008).

Preparación del campo de Operación

- Sujeción del animal en posición decúbito lateral en la mesa de operación

- Tricotomía y limpieza de la piel a nivel del cuello y parte media, en un área de aproximadamente 5 veces el tamaño de la incisión
- Lavado con jabón y desinfección con alcohol yodado a nivel topical.
- Administración del anestésico por infiltración (Lidocaína al 2%) en dosis necesaria para la pérdida reversible de sensibilidad de la región.
- Una vez perdida la sensibilidad (10-15 minutos), se realizó la incisión en la piel hasta localizar el esófago, teniendo cuidado con la lesión de la vena yugular, arteria carótida y nervio vago.
- Para ubicar fácilmente el esófago fue necesario introducir una sonda por la boca hasta exponer el esófago e incidir longitudinalmente de tal manera que permita introducir la cánula. Las cánulas utilizadas fueron de tipo canaleta Bautista (2008).
- La cánula tipo canaleta se colocaron dentro de la luz del esófago, asegurando el tapón con hilo de nylon en el cuello del animal. (Fig. A.7 Anexo)

c) los cuidados pos-operatorios fueron realizados en forma diaria en los primeros 10 días; realizando la limpieza, administrando antibióticos, antipiréticos y antiinflamatorios. (Fig. A.8 Anexo)

Los animales posterior a la cirugía fueron pastoreadas en pastos cultivados ryegrass y trébol, (Fig. A.9 Anexo) para evitar la obstrucción de la ingesta, hasta la cicatrización de la Fistula.

Periodo de acostumbramiento

- En el proceso de adiestramiento para el muestreo de la ingesta, se colocó a las llamas las bolsas colectoras para su acostumbramiento por un periodo de 2 días.
- Los animales para la medición de metano pasaron por un periodo de 3 días de acostumbramiento, entrando de forma individual a la cámara de respiración (Fig. A.10 Anexo), también se les colocó arneses y bolsas de colección fecal para su acostumbramiento, este ensayo se realizó tanto en los animales fistulados como animales para la medición de metano con la finalidad de no producir estrés en la etapa experimental.

3.4.5. Etapa experimental Fase de Campo

Las emisiones de CH₄ se determinaron a través de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (Gasmeter DX-4030), a partir de muestras del aire atmosférico de la cámara de respiración. Los animales ingresaron a la cámara a las 6:00 y 18:00 horas, en forma individual, permaneciendo en la cámara durante 20 minutos (Fig. A.11 Anexo). El aparato, previa calibración con aire atmosférico, se colocó en el interior de la cámara de respiración a una altura de 1.60 m, y fue controlado desde el exterior por sistema inalámbrico (Bluetooth) desde el PDA (Asistente Personal Digital). El muestreo y análisis de la masa de aire contenida en la cámara de respiración se realizó cada 5 minutos, 3 veces por llama, tomándose como dato la medición del minuto 20. Luego de retirar al animal, los gases fueron expulsados de la cámara por ventilación mecánica forzada durante 10 minutos (Fig. A.12 Anexo), hasta disipación total. Los resultados

de los análisis se visualizaron en la pantalla del PDA, con salida de la concentración de los gases en partes por millón en volumen (ppmv).

Dado que las mediciones se realizaron en condiciones de altitud, presión y temperatura distintas a las del nivel mar, y considerando que la altitud tiene efecto sobre la presión atmosférica (West, 2004) y la presión atmosférica sobre las concentraciones de los gases, fue necesario corregir la presión atmosférica por efecto de la altitud (P_h) mediante la siguiente fórmula (Beychok, 2005):

$$P_h = P * \left(\frac{288 - 6.5h}{288} \right)^{5.2558}$$

Donde:

P_h = presión atmosférica en altitud (mm Hg)

P = presión atmosférica en nivel del mar (mm Hg)

h = altitud (Km).

La concentración absoluta de metano (CH_4 , mg/m^3) se estimó considerando la presión calculada y la temperatura registrada en altitud, tomando en cuenta el peso molecular del $\text{CH}_4 = 16.04246$ g/mol (EPA, 2015), según la siguiente fórmula:

$$\text{CH}_4, \text{mg/m}^3 = \frac{P_h * M * \text{ppm}}{RT}$$

Donde:

P_h = presión atmosférica en altitud (mm Hg)

M = peso molecular de metano (g/mol)

ppmv = partes por millón por volumen

R = constante universal de los gases (62.4)

T = temperatura (273.15 + °C).

Dado que las mediciones se realizaron en condiciones ambientales naturales donde la humedad forma parte de los gases del aire atmosférico, se realizó también la corrección de la concentración de los gases a la base seca, mediante la siguiente fórmula (Beychok, 2005):

$$C_{\text{Base seca}} = \frac{C_{\text{Base húmeda}}}{(1 - H)}$$

Dónde:

C = concentración de CH₄ en el aire atmosférico (mg/m³)

H = humedad del aire atmosférico (fracción de 1).

Puesto que los animales se caracterizaron por tener masa y volumen (Chang et al., 2012), fue necesario restar el volumen corporal de los animales del volumen total de la cámara de respiración.

El volumen corporal de los animales se estimó mediante la fórmula adaptada para camélidos (Papatungan et al., 2015):

$$V = r^2h$$

$$D: \pi = 3.1416$$

r = radio

h = altura)

El radio se dedujo de la fórmula de la circunferencia ($C = 2\pi r$, $r = C/2\pi$), que en este caso corresponde al perímetro torácico del animal (cm), medido desde la parte más alta de la cruz, pasando justo por detrás del miembro anterior. La altura está representada por el largo del cuerpo cm, medido desde la punta del hombro (tuberosidad humeral), hasta la punta de nalga (tuberosidad isquiática) Por consiguiente, el volumen corporal fue calculado en centímetros cúbicos (cm^3) (Fig. A.13 Anexo), luego convertido en litros y en metros cúbicos (m^3). Todas las mediciones de las dimensiones fueron tomadas por las mañanas, antes de que los animales fueran alimentados.

A partir de datos de peso vivo (Kg) y volumen corporal (m^3) de una muestra representativa de llamas machos y hembras adultas se generó la siguiente ecuación de predicción para estimar el volumen corporal de los animales:

$$Y = 0.0011x + 0.0041 \quad (R^2 = 0.9727) \quad \text{machos}$$

$$Y = 0.0011x + 0.0026 \quad (R^2 = 0.9695) \quad \text{hembras}$$

Donde:

Y = volumen corporal (m^3)

x = peso corporal (Kg).

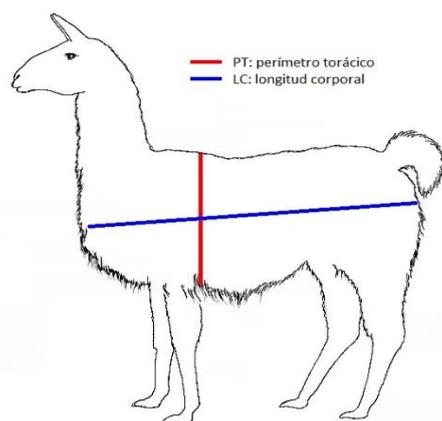


Figura 4. Medidas corporales para la estimación de volumen corporales llamas y alpacas (Papatungan *et al.*, 2015).

Para la obtención de metano mg/20 min. Se multiplico los resultados de metano base seca por el volumen real de la cámara, luego fue necesario hallar el metano en mg/d, para lo cual se multiplico el resultado de mg/20 min por 72, puesto que los animales solo permanecieron 20 min en la cámara y multiplicado por 72 hacen el resultado de CH₄ mg/d. La producción total de CH₄ entérico del animal dentro de la cámara de respiración correspondió al producto de la concentración absoluta del gas (mg/m³) y el volumen total del aire (m³) presente en la cámara (Broucek, 2014). A partir de este valor se calculó la producción total de metano de las 24 horas del día (g/día, mol/día, etc.); luego, el volumen de metano producido, a partir de la ecuación universal de gases ideales (Chang *et al.*, 2012). La ley general de los gases ideales indica que 1 mol de gas ocupa 22.4 litros, a presión y temperatura estándar (760 mmHg y 273.15°K); sin embargo, ese volumen varia cuando la presión y temperatura varíen por efecto de la altitud, de manera que el volumen de la emisión de CH₄ se estimará de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Volumen de CH}_4, \text{ litros/día} = \frac{n * R * T}{P_h}$$

Donde:

n = número de moles de metano (m/PM).

R = constante de los gases (62.4)

T = temperatura (273.15 + °C_h)

P_h = presión atmosférica en altitud (mmHg)

C_h = temperatura del aire en altitud (°C)

Colección de heces

Posterior a la salida de los animales de la cámara de respiración se les coloco las bolsas de colección fecal para la toma de muestras, seguido a este procedimiento los animales salieron a pastar desde las 8 horas am retornando a las 16 horas pm donde se les retiro las bolsas de colección fecal para su pesado y el nuevo ingreso de los animales a las 18.00 horas a la cámara de respiración.

Colección de ingesta

Para la obtención de la ingesta de los animales fistulados se utilizaron bolsas de colección; los animales fistulados comieron junto a los demás animales (Fig. A.14 Anexo). Adicionalmente se construyó un corral de paneles metálicos en medio del lugar de pastoreo con la finalidad de capturar a los animales fistulados (Fig. A.15 Anexo) y colocarles las bolsas de colección. Posteriormente los animales fueron liberados para que consuman los pastos que deseen por un tiempo de 10 a 15 minutos.

Pasado este tiempo los animales fistulados fueron nuevamente arreados y capturados en el mismo corral para quitarles las bolsas de colección (Fig. A.16 Anexo), este procedimiento se les realizó por la mañana y por la tarde a las 10 horas y 14 horas durante 3 días.

Las muestras colectadas de las bolsas de lona (Fig. A.17 Anexo) fueron retiradas y secadas a temperatura ambiente (Fig. A.18 Anexo) posterior a ello fueron colocadas en bolsas de papel y rotuladas con su respectiva nomenclatura.

Se realizó un estudio de la selectividad de especies forrajeras de la zona de pastoreo, así mismo se realizó la toma de muestras de los pastos más representativos del lugar con la finalidad de realizar comparaciones microhistológicas en el laboratorio.

3.4.6 Etapa experimental Fase de laboratorio

3.4.6.1 Determinación Del Consumo De Materia Seca En Pastoreo

El consumo de materia seca (CMS) de los animales en pastoreo se determinó a partir de la excreción fecal total y la digestibilidad de la dieta consumida (Córdova et al., 1978).

$$\text{IMS, g/d} = \frac{\text{excreción de materia seca en heces, g}}{1 - (\text{coeficiente de digestibilidad})}$$

La excreción fecal se determinó directamente por colección total utilizando arnés y bolsa de colección.

La digestibilidad de la dieta consumida por el animal se determinó en forma indirecta utilizando ceniza insoluble en ácido como marcador interno (% en materia seca), en dieta y heces (Cochran et

al., 1986), considerando su efectividad como el marcador más apropiado en estudios de digestión con una fuerte relación con el método de colección fecal total (Thonney *et al.*, 1979; Block *et al.*, 1981; Huhtanen *et al.*, 1994; McGeough *et al.*, 2010 ; Sales, 2012), y con la asunción de que el marcador interno no es digerido ni absorbido por el animal y que el flujo por el tracto digestivo es constante (Kanani *et al.*, 2015).

$$\text{DMS, \%} = \left(1 - \frac{\% \text{ indicador en dieta}}{\% \text{ indicador en heces}} \right) \times 100$$

La tasa de recuperación del indicador (TR_i) se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula (Block *et al.*, 1981; Krysl *et al.*, 1988).

$$\text{TR}_i, \% = \frac{\text{indicador excretado en heces (g)}}{\text{indicador ingerido en dieta (g)}} \times 100$$

Las muestras de dieta y heces fueron analizadas para determinar su composición química y contenido de ceniza insoluble en ácido. La materia seca se determinó por secado en horno de convección a 60°C hasta peso constante (Fig. A.19 Anexo); la fibra detergente neutro, por el método de Van Soest *et al.* (1994); y la ceniza insoluble en ácido, por tratamiento de las cenizas con una solución de HCl 2N (Van Keulen y Young, 1977).

La excreción fecal, fue obtenida mediante arnés y bolsa de colección, ajustado al animal, con adecuación al modelo sugerido para rumiantes menores al pastoreo (Pfister, 1985; Yiakoulaki y Nastis, 1998). El arnés fue confeccionado de correas sintéticas; la bolsa de colección, de lona forrada con tela impermeable por dentro.

El período de acostumbramiento al equipo de colección fue de 3 días y el período de colección otros 3 días. Las heces fueron retiradas de las bolsas dos veces por día (6 y 18 h), pesadas, mezcladas y muestreadas (50 g) por animal, y secadas por convección a 60°C hasta peso constante. Durante el período de colección fecal, se muestreó también la dieta consumida, mediante cánula esofágica instalada quirúrgicamente a los animales (Van Dyne y Torell, 1964; Booyse *et al.*, 2009). Las muestras de la dieta consumida fueron colectadas de la bolsa ajustada a la cánula esofágica, por la mañana (10 am) y por la tarde (2 pm), durante tres días consecutivos. Las muestras secas fueron mezcladas y molidas a través de un tamiz de 1 mm. (Fig. A.20 Anexo) Puesto que el marcador presente en los alimentos consumidos por los animales en pastoreo puede estar susceptible a la contaminación con suelo durante el consumo (Mayland *et al.*, 1975; Appeddu y Bodine, 2002).

3.4.6.2. Método De La Ceniza Insoluble En Ácido

La ceniza insoluble en ácido está conformada por componentes minerales indigestibles, principalmente sílice. El método consiste en la determinación gravimétrica del contenido de ceniza insoluble en ácido, después del secado, incineración, ebullición de la ceniza en ácido clorhídrico, filtrado y lavado en caliente y la re-incineración final (Van Keulen y Young, 1977).

Equipo de protección personal:

- Bata de laboratorio

Reactivos:

- Ácido clorhídrico (HCl) 2N
- Agua destilada

Procedimiento:

- Pesar 5 g de muestra seca y molida en crisol tarado de 50 ml.
(Fig. A.21 Anexo)
- Secar toda la noche a 100°C, enfriar los crisoles en desecador.
- Incinerar la muestra a 600°C por 6 horas. (Fig. A.22 Anexo)
- Transferir la ceniza al vaso Berzelius de 600 ml, adicionar 100 ml de HCl 2N.
- Hervir durante 5 minutos sobre una rejilla de fibra. (Fig. A.23 Anexo)
- Filtrar el hidrolizado caliente a través de un papel filtro Whatman 41. (Fig. 24 Anexo)
- Lavar con agua destilada caliente para eliminar los residuos de ácido.
- Transferir la ceniza y papel filtro en el crisol y secar a 60°C.
- Incinerar el residuo a 600°C por 6 horas.
- Colocar el crisol en horno de 100°C para resecar.
- Enfriar en desecador y pesar.

Cálculo:

$$\text{CIA, \%} = \frac{(\text{peso de crisol} + \text{ceniza}) - \text{peso de crisol}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100$$

3.4.6.3. Determinación de fibra detergente neutro

La fibra detergente neutro (FDN) es la medida más común usada en los análisis del contenido de fibra de los alimentos para los animales (Van Soest *et al.*, 1994), FDN mide la mayor parte de los componentes estructurales de las células vegetales (celulosa, hemicelulosa y lignina). El nivel de FDN en la ración del animal influencia el consumo de materia seca y el tiempo de rumia.

El método del Peter Van Soest

Equipos

- Balanza analítica
- Horno mufla

Materiales

- Vaso de Berzelius
- Embudo
- Papel filtro

Reactivos (Para 1 litro de solución):

- Lauril sulfato de sodio, 30 g.
- Etileno diaminotetracético (EDTA), 18.61 g
- Tetraborato sodio decahidratado, 6.81 g.
- Etilen glicol monoetil éter, 10 ml.

- Fosfato ácido disódico anhidro, 4.56 g.

Técnica analítica

- Coloque 1 g de muestra seca en un vaso de Berzelius.
- Agregue 100 ml de la solución detergente neutro (SDN).
- Haga hervir por un período de 60 minutos.
- Filtre y lave la muestra con agua destilada caliente, cinco veces como mínimo.
- Enjuague la muestra, con acetona, dos veces.
- Recupere el residuo insoluble en un crisol de porcelana de peso conocido.
- Hágalo secar por 72 horas o más.
- Pese el crisol y el residuo insoluble seco.
- Incinere el residuo a 600°C por 3 horas.
- Pese el crisol y la ceniza.
- Reporte el resultado en porcentaje.

Datos a obtener:

- Peso de crisol + residuo seco
- Peso de crisol + ceniza
- Peso de fibra perdida
- Peso de muestra analizada

Cálculo:

$$\text{FDN, \%} = \frac{\text{Fibra perdida}}{\text{Muestra analizada}} \times 100$$

3.4.6.4 Selectividad de las especies vegetales

Las muestras de ingesta de las llamas de los tres días tanto de la mañana y tarde fueron homogenizadas para realizar la selectividad de las especies vegetales.

Primero se ha practicado el reconocimiento de las partes hojas, tallos y flor, seguido de color y formas. Tanto de las partes verdes y senescente (muerta) de la planta.

Para la selectividad de especies de forrajes seleccionadas durante el pastoreo, se ha utilizado el tablero de 60 cm² con 100 cuadrados de 5 cm² cada uno, en donde se ha distribuido al azar los fragmentos de las diferentes partes de las plantas (Fig. A.25 anexo), observando todos los cuadrados y registrado los fragmentos de las especies más cercanas al centro de cada cuadro (Fig. A.26 Anexo).

Seguidamente luego de obtener 100 fragmentos de la muestra de cada animal se procedió a su observación en el Estereoscopio para la determinación correspondiente (Fig. A.27 Anexo), (Fig. A.28 Anexo)

3.5 Análisis Estadístico

Los datos del consumo de materia seca y energía bruta, así como de las emisiones de metano entérico (CH_4) serán evaluados mediante la prueba de diferencia de medias la prueba de "t" (student)

$$T_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S^2_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Donde:

\bar{x}_1 = Promedio de machos

\bar{x}_2 = Promedio de hembras

S^2_p = variancia estándar ponderada

n_1 = número de machos

n_2 = número de hembras

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Consumo de materia seca en llamas (lama glama)

Las llamas alimentadas al pastoreo consumieron 1838 g/d de MS con un peso vivo promedio de 114.6 kg para machos y para hembras un consumo de MS de 984.6 g/d (Tabla 9) con un peso vivo promedio de 90.1 kg. Estos resultados son superiores a los reportados por Estrada (2009), quien realizó un estudio de digestibilidad en llamas y ovinos de 1 año, al pastoreo con heno de alfalfa y crespillo, reporto un consumo de MS de 1003.58 g/d para llamas con un peso promedio de 46.24 kg y un consumo de MS 437.6 g/d para ovinos con un peso promedio de 14.98 kg. Estas diferencias podrían atribuirse al peso y edad.

El menor consumo observado en los CSA, con respecto a los ovinos es el resultado de factores asociados tales como, el mayor tamaño corporal y el relativo menor requerimiento de energía en los CSA (Schneider et al., 1974, citado por San Martín y Bryant, 1987). Estos factores conllevarían a los CSA a ser menos selectivos con respecto a partes de plantas que los ovinos y tener un menor potencial de consumo. Esta relativa menor capacidad selectiva de los CSA se refleja en la mayor selección de tallos observada por San Martín (1987), en comparación al ovino. Los tallos, a diferencia de las hojas, son retenidos por un mayor tiempo en el estómago que las hojas causando una reducción en el consumo.

El consumo promedio de materia seca en alpacas y llamas es de 1,8 y 2% del peso vivo. En general el consumo diario de los CSA es menor que el del ovino. San Martín (1987), encontró que bajo condiciones de pastoreo, llamas y alpacas

tienen el mismo nivel de consumo, siendo este inferior al de los ovinos en 36% bajo pasturas cultivadas y en 26% en pasturas nativas.

Por otro lado El consumo de materia seca de llamas, varía de acuerdo a los meses del año. Merlo, (2003) afirma que esta variación posiblemente obedece al desarrollo fenológico de las praderas y del contenido de humedad de las mismas. En la localidad de Comanche el requerimiento de consumo en llamas según Quiroga, (1999) es del 2% del peso vivo, sin embargo la relación de peso vivo en el consumo de materia seca (MS) fue de 1.98%, este valor se aproxima al 2%, de otros autores, cabe aclarar que el consumo de alimento de un animal está influido por varios factores como: edad, peso metabólico, estado fisiológico y otros.

El menor volumen de los dos primeros compartimentos del estómago de los CSA en comparación con el retículo-rumen del ovino, por unidades de peso metabólico, y el mayor tiempo de retención de la digesta en el tracto digestivo de los CSA, son también factores que por estar altamente y negativamente relacionados con el consumo determinan que este sea menor en los CSA comparado con el ovino.(Pinares-Patiño *et al.*, 2003)

4.1.1 Selectividad de la dieta consumida

Tabla 8: Selectividad en % de la dieta consumida en llamas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas.

Especies	Machos	Hembras	promedio general
<i>Calamagrostis spp</i>	41.3	48.3	44.8
<i>Festuca dolichophylla</i>	42	35	38.5
<i>Eleocharis albibracteata</i>	11.3	6.3	8.8
<i>Bromus unioloides</i>	3.3	7.3	7.3
<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	1.7	1	1
<i>Mulembergia Fastigiata</i>	0	2	1
Otros	0.3	0	0.2
Total	100	100	

En la Tabla 8 se muestra los porcentajes de selectividad que se obtuvieron de las muestras de la colección de la fistula esofágica realizadas en macho y hembra donde, el macho consumió en más cantidad *Festuca dolichophylla* 42.0% y *Calamagrostis spp* 41.3%, en regular cantidad *Eleocharis albibracteata* 11.3% y en menor porcentaje *Bromus unioloides* 3.3%, e *Hipochoeris taraxacoides* 1.7%, otros 0.3%.

La hembra consumió en más cantidad *Calamagrostis spp* 48.3% y *Festuca dolichophylla* 35.0%, seguido de *Bromus unioloides* 7.3% *Eleocharis albibracteata* 6.3%, *Mulembergia Fastigiata* 2.0%, *Hipochoeris taraxacoides* 1.0%.

Entre ambos sexos, el más consumido fue *Calamagrostis spp* con un promedio de 44.8% *Festuca dolichophylla* con un promedio de 38.5% seguido de

Eleocharis albibracteata con un promedio de 8.8%, *Bromus uniolooides* con un promedio 7.3%, *Hipochoeris taraxacoides* y *Mulembergia Fastigiata* con un promedio de 1.0%.

(Bustinza, 2001). Menciona que la base de la alimentación de las llamas en general lo constituyen laderas de pastos naturales las que se caracterizan por un predominio de gramíneas con escasa presencia de leguminosas. La llama aparece como un consumidor de forrajes fibrosos y secos como; *Festuca dolychophylla* en 42 %, *Stipa brachyphylla* 11%, *Calamagrostis vicunarum* 45%.

San Martín (1991) determinó la Composición botánica de las dietas en % en Llamas, alpacas y ovinos, obteniendo diferentes resultados entre épocas

En época seca:

En llamas: gramíneas altas 38%, gramínea corta 51% graminoides 6%, herbáceas 4% con un índice de selectividad de 39%; Para alpacas; gramínea alta 24%, gramínea corta 38% graminoides 2%, herbáceas 35% con un índice de selectividad de 31%; Para ovinos; gramíneas altas 17%, gramínea corta 43% graminoides 3%, herbáceas 5% con un índice de selectividad de 26%.

En época lluviosa:

En llamas; gramíneas altas 45%, gramínea corta 42% graminoides 5%, herbáceas 7% con un índice de selectividad de 53%. Para alpacas; gramínea alta 28%, gramínea corta 29% graminoides 1%, herbáceas 42% con un índice de selectividad de 35%. Para ovinos; gramíneas altas 20%, gramínea corta 66% graminoides 1%, herbáceas 13% con un índice de selectividad de 27%. (San Martín, 1991)

Un estudio en Bolivia realizado por el Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Tecnología IICAT (2015). Universidad Pública de El Alto (UPEA). Quienes mediante fistula ruminal realizaron la determinación del consumo selecta en 4 Llamas de 18 meses de edad en un pastizal nativo. Siendo los más consumidos *Trifolium pratensis* (layu layu), con un consumo MS promedio de 489.70 gramos y el pastizal nativo *Bromus catharticus* (Cebadilla) con un consumo MS promedio de 380.69 gramos.

El consumo de MS total de las 18 especies forrajeras encontradas fue en promedio 1258.75 gramos con un peso promedio de los animales de 59 kg. Los valores encontrados en el presente estudio se muestran en la (tabla N° 9) donde fueron superiores con un consumo de MS de 1838.5 g/d y con un peso promedio para las llamas machos de 114.6 kg. La diferencia posiblemente se atribuye a la edad de los animales puesto que el presente estudio trabajo con animales mayores de dos años considerados adultos.

La llama selecciona más las gramíneas altas y fibrosas en comparación con la alpaca y el ovino. San Martín y Bryant (1987); Franklin (1982), basados en observaciones visuales, señalan que la llama prefiere, más que otros rumiantes, forrajes altos y fibrosos, mientras que la alpaca muestra una mayor predisposición a usar forrajes que crecen en terrenos húmedos. Estas observaciones sobre las conductas selectivas de las llamas inducen a pensar que este animal está adaptado a ambientes áridos, al revisar la distribución actual de la llama en Sudamérica, se puede apreciar que su mayor población se encuentra en la puna seca de Bolivia (70% de la población mundial), por otro lado se ha visto que estos animales en suelos húmedos presentan diversas patologías (Sumar, citado por San Martín y Bryant, 1987).

Al comparar la selectividad de las 3 especies, se puede observar que los ovinos son los animales más selectivos y las alpacas ocupan una posición intermedia entre ovinos y llamas (San Martín, 1987). La alpaca sería un animal altamente adaptable, variando su selectividad de plantas en los forrajes nativos, de acuerdo a su disponibilidad. Así, cuando la disponibilidad de gramíneas es alta, y la disponibilidad de herbáceas y plantas parecidas es limitada, las gramíneas representan la mayor parte de la dieta. Por otro lado, cuando la disponibilidad de las herbáceas es alta, ellas son constituyentes importantes de la dieta. Estudios de complementariedad entre especies para manejos de pastoreo, sugieren que la llama y ovinos ofrecen la mejor alternativa de utilizar eficientemente el recurso forrajero, mientras que la alpaca parece ser más adecuada para la utilización del pastizal como una sola especie animal.

La comunidad de especies vegetales en el área de pastoreo, no es uniforme, ni permanece con las mismas especies durante el año; la existencia de especies permanentes y temporales hacen variar la composición y frecuencia de las especies entre las épocas seca y lluviosa; por lo tanto, la preferencia de especies de pastos naturales en las alpacas varían: según la estación climática, la condición del pastizal y localización del área de pastoreo, los que influyen sobre la calidad nutricional de alimento consumido, siendo de mayor calidad en la época lluviosa y de baja calidad en la época seca. (Bustinza 2001).

La preferencia de especies de pastos de porte bajo se da en la época seca. Especies de porte alto en la época lluviosa, por otro lado se evidencia la preferencia de gramíneas en las llamas y de herbáceas en las alpacas.

La concentración de fibra detergente neutra (FDN) para el pastizal *Bromus catharticus* (Cebadilla) tiene 65.66 % y el pastizal *Trifolium pratensis* (layu layu) 45.21%, la concentración está en directa relación con el tipo de pastizal y la composición florística, siendo que el pastizal *Bromus catharticus* (Cebadilla) tiene mayor por la estructura de las paredes celulares. El presente estudio no determino la concentración de (FDN) en forma individual de los forrajes, pero si el total de los forrajes siendo para macho 70.6 % y para hembra 72.5 %.

La cuantificación de FDN es muy importante porque es un indicador de comportamiento de consumo y tasa de pesaje de los alimentos. Merlo 2003, Ku-Vera et al. (1999) indica que en la medida que incrementa la FND a partir de los 60% el consumo se reduce. Con respecto a los resultados del presente trabajo podríamos especular que el consumo se disminuyo en las llamas alimentadas al pastoreo.

4.2 Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo

Los datos registrados por el equipo Gasmeter DX 4030 mediante el sistema bluetooth fueron expresados en partes por millón (ppm), a partir de dichos datos se convirtieron en mg/d, g/d, moles/d y L/d, tomando en cuenta T°, H°, Ph (mmHg) y altitud donde determinamos el aporte de metano a la contaminación con un promedio de 82.22 (DS±8.32) CH₄ L/d/llama.

Tabla 9: Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo

	Machos	Hembras	Promedio general
peso promedio Kg	114.5±13.1 ^a	90.1±6.3 ^a	102.3±16.1
IMS g/d	1838.5±322.9 ^a	984.6±80.1 ^a	1411.57±505.7
Ppm	58.9±4.0 ^a	50.9±4.6 ^a	54.9±5.8
moles/d	2.4±0.2 ^a	2.1±0.2 ^a	2.3±0.2
g/d	38.2±2.6 ^a	34.2±3.1 ^a	36.2±3.4
Vol. CH₄,l/d	93.1±6.4 ^a	83.3±7.5 ^a	88.2±8.3
Vol. CH₄ L/Kg MS	51.5±6.6 ^a	84.6±3.2 ^a	68.0±18.3
CH₄ L/W^{0.75}	2.66 ^a	2.85 ^a	2.75±0.13

^a expresa que no hay diferencia significativa ($P>0.05$)

En La tabla 9 muestra los resultados de las emisiones de metano entérico (CH₄), mediante la técnica por espectroscopia infrarroja trasformada de Fourier (FTIR) incorporada en un analizador portátil de gases Gasmeter DX-4030 en una cámara de acumulación de gases con un volumen de 9.78 m³, con un peso promedio para las llamas machos de 102.34±16.1 kg. Se cuantifico un promedio de (54.90±5.8 ppm de CH₄), a partir de este resultado se pudo determinar la producción promedio de metano en llamas al pastoreo en praderas naturales equivalentes a (36.16±3.40 g/d), (88.22±8.32 L/d), (68.0±18.34 L/Kg MS); tomando en cuenta el minuto 20.

Dittmann et al. (2014) investigaron las emisiones de metano entérico en camélidos de distintas especies (vicuña, llama y camello) alimentados con alfalfa en pellets, en Zürich-Suiza, a 408 m de altitud. El promedio de las emisiones de metano para las tres especies de camélidos fue mucho menor (20.1 L/Kg de materia seca consumida), con relación a nuestros resultados (68.0±18.34 L/Kg MS) Los resultados obtenidos en el presente proyecto son superiores a los

mencionados anteriormente. Puesto que el presente trabajo se realizó a 4200 metros de altitud. Las diferencias podrían atribuirse al efecto que ejerce la altitud sobre la presión atmosférica y el volumen de los gases. La mayor parte de estudios se han realizado en condiciones estándar de altitud y presión, próximos al nivel del mar; sin embargo, la altitud ejerce efecto sobre la presión atmosférica (West, 2004), por consiguiente, las emisiones de metano incrementan a mayor altitud, siendo mayor el volumen de las emisiones.

Así mismo un estudio mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) en alpacas a 4300 m.s.n.m. alimentadas con forraje entero y concentrado fibroso reporto cantidades ($p < 0.01$) de CH_4 entérico ($44,2 \pm 1,2$ L/d para forraje entero y $32,6 \pm 5,8$ y $31,6 \pm 4,9$ L/d para concentrados fibrosos de forrajes procesados a 12 y 8 mm \emptyset , respectivamente). Los tres valores equivalen a 60,9; 35,5 y 39,4 L/Kg de materia seca consumida, respectivamente. (Quispe. 2015). Con respecto al presente trabajo en llamas a pesar de mostrar similitud en cuanto a la metodología empleada por Quispe C. existe una diferencia entre especies (alpacas y llamas) como también en cuanto a la alimentación o dieta empleada en ambos trabajos encontrando en el presente trabajo en pastos naturales (88.22 ± 8.32 L/d) de CH_4 entérico en llamas equivalente a (68.0 ± 18.34 L/Kg MS).

Esta diferencia podría atribuirse a partir de la teoría desarrollada en rumiantes del infra orden *pécora*, las disminuciones de las emisiones de metano por efecto de los concentrados fibrosos podrían explicarse en el hecho de que la metanogénesis disminuye con forrajes molidos con relación a los forrajes picados, y más aún con relación a los forrajes enteros. La disminución es mínima en niveles bajos de consumo; sin embargo, esa disminución incrementa de 20 a

40% por unidad de materia seca consumida en niveles altos de consumo. La otra explicación de la declinación de la producción de CH_4 se puede deber a la menor digestibilidad de la fibra, aunque este proceso es cuestionable.

En cuanto a las emisiones de metano entérico expresados en g/d en el presente estudio fue de $(36.16 \pm 3.40 \text{ g/d})$, estos son superiores a los de (Pinares-Patiño et al., 2011) que mediante trazador hexafluoruro de azufre (SF_6). Determino la emisión de metano (CH_4) con forrajes en alpacas y ovejas, realizando 3 experimentos: el primero con heno de alfalfa obteniendo 14.9 g/d en alpacas y 18.8 g/d en ovejas; en el segundo experimento, en pastizales con trébol blanco obteniendo 22.6 g/d en alpacas y 31.1 g/d en ovejas; el tercer experimento al pastoreo en pastos de Lotus obtuvo 19.1 g/d en alpacas y 22.0 g/d en ovejas. Así mismo Swainson 2007, reporto una producción de metano de 18.3 g/d en ovinos adultos (mayores de un año) que fueron alimentados con ensilado, (Czerkawski, 1986; Holter y Young, 1992; McAllister *et al.*, 1996a) reportaron 25 a 55 litros por día en ovejas. Las diferencias de los resultados podrían atribuirse a las distintas metodologías empleadas en ambos estudios.

Los resultados obtenidos en llamas mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) con pastos naturales fueron: $(54.90 \pm 5.58 \text{ ppm de } \text{CH}_4)$, equivalentes a $(36.16 \pm 3.40 \text{ g/d})$, $(88.22 \pm 8.32 \text{ L/d})$, estos resultados difieren completamente de los rumiantes mayores. Un estudio mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) en vacas suplementadas con concentrado fibroso y un grupo control obtuvo $152.48 \pm 5.48 \text{ ppm}$ para vacas suplementadas con concentrado fibroso Y $166.26 \pm 7.95 \text{ ppm}$ para vacas de control, equivalentes a $(311.48 \pm 11.22 \text{ vs. } 340.08 \pm 16.26 \text{ CH}_4, \text{ g/día/vaca.})$ Las emisiones en litros por día de metano entérico para vacas suplementados con

concentrado fibroso es menor que las vacas no suplementadas, teniendo un promedio (725.12 ± 26.13 vs 791.70 ± 37.85 L CH₄/días/vaca). (Vilca, 2014). La gran diferencia de las emisiones de metano entre bovinos y camélidos podría atribuirse a las variedades de microorganismos propios de cada especie.

Adicionalmente a esto podríamos decir que las emisiones de metano entérico constituyen pérdidas de energía para los animales, una menor emisión de metano entérico se manifiesta en una mayor eficiencia de uso de la energía del alimento, una mayor ganancia de peso en los animales y una menor contaminación ambiental. A nivel digestivo, el concentrado fibroso incrementa la producción de AGVs en el rumen, reorienta el patrón de la fermentación ruminal hacia una mayor producción ácido propiónico con relación al ácido acético. A nivel metabólico, el ácido propiónico es el principal precursor de la biosíntesis de glucosa y el promotor de la secreción de la insulina pancreática (Mekuriaw *et al.* 2014).

Algunos estudios realizaron estimaciones de metano entérico en vacunos realizando pruebas *in vitro* como en la universidad de Medellín Colombia por (Marín A, Giraldo L. A y Correa G) a partir de los resultados obtenidos mediante la técnica *in vitro* de los pastos incubados, y teniendo en cuenta los consumos promedios de materia seca por animal en cinco municipios, concluyo que los bovinos en los municipios estudiados emiten en promedio 139,02 L/100 Kg de peso vivo/día o de 92,03 g/100 Kg de peso vivo/día lo cual equivale a 670 L o 443,59 g por día, valores que se encuentran elevadamente por encima de los valores obtenidos con la presente investigación en llamas que se realizó mediante la prueba *in vivo*. Y similares Comparados con los volúmenes de 250 a 500 L CH₄/animal /día reportados por estudios *in vivo* por (Johnson y Johnson

1995b), al igual (Jouany, 1994) que a estimado que una vaca adulta puede producir alrededor de 300 a 600 L CH₄/animal /día. Estas diferencias podrían atribuirse a las metodologías empleadas en las pruebas *in vitro*.

En vacunos de leche Dini, en el 2014 reporto una emisión de metano con un promedio de 368 g/d en vacas Holando en lactación alimentadas al pastoreo con leguminosas y gramíneas estos datos coinciden con los reportados por Waghorn *et al.* (2003) y Westberg *et al.* (2001), los cuales están en el rango de 345-388 g CH₄/d para vacas lecheras con similares niveles de consumo y de producción. Pero difieren completamente a los valores encontrados en el presente trabajo en llamas (36.16±3.40 g/d). Donde la diferencia podría atribuirse a la especie y a los altos requerimientos que las vacas en producción necesitan.

Por otro lado la metodología empleada para la determinación de metano entérico juega un papel importante así lo demostró Un estudio en argentina en vacas Holstein quienes determinaron la concentración de metano, mediante la técnica por Colecta directa del rumen mediante una fístula hacia un contenedor de nylon, obteniendo una producción diaria de gas que fue en promedio de 911.7 L y la concentración de CH₄ varió de 20 a 32 % y representó en promedio 247 L/d. Fuente: (Bonillas, 2012).

4.3 Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo por sexo

Los resultados se observa en la Tabla 9 y (tabla E.1, E.2 Anexos) para machos y hembras respectivamente, donde podemos apreciar el resumen de la composición química (MS, FDN, CIA), digestibilidad y emisión de metano entérico de machos y hembras.

La emisión de metano para machos fue con un promedio de 93.1 L/d y en hembras 83.3 L/d ($P>0.05$) no habiendo diferencia significativa entre ambos sexos

En la Tabla 9 muestra los resultados de las emisiones de metano entérico (CH_4), para las llamas Machos con un promedio de 114.6 kg de peso vivo. Encontrándose en promedio (58.9 ± 4.0 ppm de CH_4), equivalentes a (38.2 ± 2.6 g/d), (93.1 ± 6.4 L/d), (51.5 ± 6.6 L/Kg MS); tomando como referencia el minuto 20.

Las llamas Machos en promedio eliminan 51.5 litros de metano/d, consumiendo 1 kilo de MS. Siendo en promedio el IMS 1838 g/d, con una digestibilidad promedio de 65.4%

En la Tabla 9 muestra los resultados de las emisiones de metano entérico (CH_4), para las llamas hembras con un promedio de 90.1 kg de peso vivo. Encontrándose en promedio (50.9 ± 4.6 ppm de CH_4), equivalentes a (34.2 ± 3.1 g/d), (83.3 ± 7.5 L/d), (84.6 ± 3.2 L/Kg MS); tomando como referencia el minuto 20.

Las llamas hembras en promedio eliminan 84.6 litros de metano/d, consumiendo 1 kilo de MS. Siendo en promedio el IMS 984.6 g/d, con una digestibilidad promedio de 60%.

V. CONCLUSIONES

- Las especies de pastos naturales más consumidos por las llamas al pastoreo que contribuyeron a la producción de metano fueron en machos *Festuca dolichophylla* 42.0% y *Calamagrostis spp* 41.3%, con un IMS promedio de 1838 g/d y en hembras *Calamagrostis spp* 48.3% y *Festuca dolichophylla* 35.0%, con un IMS promedio de 984.6 g/d.
- Las llamas alimentadas al pastoreo en praderas naturales contribuyen al calentamiento global con en un promedio de 88.22 (DS±8.32) CH₄ L/d/llama, estadísticamente no encontrándose diferencias significativas ($p>0.05$) en la emisión de metano entre ambos sexos; machos 93.1 (DS±6.4) CH₄ L/d y en hembras de 83.3 (DS±7.5) CH₄ L/d.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar trabajos similares en llamas por clase: crías, ancutas y en ambos sexos para obtener la información completa de esta especie en cuanto al aporte de metano entérico al banco atmosférico.
- Se recomienda realizar trabajos similares en llamas al pastoreo en otras épocas del año a fin de obtener una información complementaria para esta especie en cuanto al aporte de metano entérico al calentamiento global.
- Se recomienda realizar trabajos para la mitigación del gas metano en llamas ya que el presente trabajo reporta datos en metano entérico en llamas al pastoreo en praderas andinas. Siendo estos reportes una base fundamental para futuras investigaciones.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AHUMADA, F. y L. FAUNDEZ, 2002. Nutrición de los camélidos sudamericanos. Programa investigativo de rumiantes. Lima-Perú. Alfabeta Impresores. Santiago, Chile. 576 p.
- ALZERRECA H. y A. CARDOZO 1994. Valores de los alimentos para la ganadería andina. Forrajes energéticos. 1ra Edición. Serie técnica: IBTA/SR-CRSP/001 La Paz-Bolivia.
- Appeddu, L. A., T. N. Bodine. 2002. Effect of soil addition to feces on acid-detergent insoluble ash. Proc. West Sect. Am. Soc. Anim. Sci., 53:337-340.
- Bäckman. K.,2012, The effect of additional nitrate and sulfur in the diet on the methane production in cattle, Swedish University of Agricultural Sciences Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science Department of Animal Nutrition and Management, pag. 6.
- BAUTISTA, J., 2002. Composición botánica de la dieta seleccionada por la Llama (lama glama) al pastoreo en época seca y lluviosa de puna húmeda. Allpaka, Revista de Investigación sobre Camélidos Sudamericanos, Vol 5 Nro.2. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto de Investigación y promoción de los Camélidos Sudamericanos. Puno – Perú. pp 13.
- BAUTISTA, J. L., 2008 Desarrollo de cánulas en animales fistulados en el sistema digestivo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú.
- Benchar, C., J. Rivest, C. Pomar, and J. Chiquette. 1998. "Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations." J. Anim. Sci. 76(2):617- 27.
- Berra, G., Castuma, E., Finister, L. y V. Maldonado, 1994. Reducción y Opciones de Mitigación de Emisiones de Metano Ministerio de desarrollo social y Medio Ambiente Secretaria de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental.

- Beychok, M. 2005. Fundamentals of spack gas dispersión. 4th ed. Milton R. Beychok, California, UEA
- Bonillas. C. 2012. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. RevMexCiencPecu 2012.
- Bhatta, R., O.Enishi, and M. Kurihara, 2007. Measurement of Methane Production from Ruminants, Asian-Aust. J. Anim. Sci, 20(8):1305-1318.
- Block, E., L. H. Kilmer, and L. D. Muller. 1981. Acid insoluble ash as a marker of digestibility for sheep fed corn plants or hay and for lactating dairy cattle fed hay ad libitum. J. Anim. Sci., 52:1164-1169.
- Boadi, D.A., K.M. Wittenberg, and W. Mccaughey. 2002. Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF6) tracer gas technique. Canadian J. Anim. Sci., 82(2):151-157.
- Booyse, D. G., G. Harmse, and E. A. Boomker. 2009. Construction and insertion of oesophageal cannulae for use in domestic ruminants. J. S. Afr. Vet. Ass., 80: 270-273.
- Brouček, J. 2014. Methods of methane measuring in ruminants. Slovak J. Anim. Sci., 47:81-90.
- Bustinza AV 2001. La Alpaca, Conocimiento del Gran Potencial Andino Edit. Univ. Nac.del Altiplano, Puno, Perú.
- CAMARGO, R. y CARDOZO G., A. 1971. Ensayo Comparativo de la capacidad de digestión de la llama y la oveja. In Reunión Latinoamericana de Producción Animal, Segunda, Lima, Perú. Diciembre 37, Memorias 3:192.
- CAÑAS, R. 1995. Alimentación y Nutrición Animal. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Colección en Agricultura. Ed. Alfabeta Impresores. Santiago, Chile. 576 p.

- CARDOZO. F 1995. TROPICAL Animal Feeding. A manual for research workers. Animal Production and Health Service Paper N° 126. (ed) T.R. preston FAO. Roma
- Cochran, R. C., D. C. Adams, J. D. Wallace, M. L. Galyean. 1986. Predicting digestibility of different diets with internal markers: evaluation of four potential markers J. Anim. Sci., 63:1476-1483.
- Cordova, F. J., J. D. Wallace and R. D. Pieper. 1978. Forage intake by grazing livestock: A Review. J. Range Manage., 31:430-438.
- CONAF, 2005. Cooperación Nacional Forestal, técnica para el manejo de la vicuña en Chile, 1ra Edición. Santiago de Chile.
- Chang, R., R. Alvarez, S. Ponce y R. Zugazagoitia. 2012. Química.
- CHAYÑA., F. 1999. Digestibilidad comparativa de dos cosechas de heno de avena en ovinos y alpacas. Facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.
- Czerkawski, J. W. 1986. An introduction to Rumen Studies. Pergamon Press, New York, USA.
- DIDIER, A. 1995. "Valores Nutritivos de Especies".
- Dini .Y., J. Gere, C. Briano, M. Manetti, P. Juliarena, V. Picasso, R. Gratton and L. Astigarraga 2014. Methane Emission and Milk Production of Dairy Cows Grazing
- Dittmann, M. T., U. Runge, R. A. Lang, D. Moser, C. Galeffi, M. Kreuzer, and M. Clauss. 2014. Methane Emission by Camelids. PLoS ONE 9(4)
- Dong, Y., H. D. Bae, T. A. McAllister, G. W. Mathison, and K.-J. Cheng. 1999. Effects of exogenous fibrolytic enzymes, á-bromoethanesulfonate and monensin on fermentation in a rumen simulation (RUSITEC) system. Can. J. Anim. Sci. 79:491-498.

- Doreau, M., H. M. G. van der Werf, D. Micol, H. Dubroeuq, J. Agabriel, Y. Rochette, and C. Martin. 2011. Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. *J. Anim. Sci.*, 89:2518-2528.
- Estrada M., 2009 Comparación De Coeficientes De Digestibilidad Aparente Y Balance Del Nitrogeno En Llamas (Lama Glama) Y Ovino (Ovies Aries). Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2015. The National Institute of Standards and Technology, Atomic Weights.
- FAO. 2006. World Agriculture towards 2030/2050. Interim report. Global Perspective Studies Unit. FAO, Rome.
- FAO. 2009. Howto feed the world in 2050. 2009. towards 2030/2050. High-Level Expert Forum. Rome 12-13 October 2009. FAO, Rome.
- Fiore, A. M. 2014. Sources and sinks of hydroxyl (OH) radicals. *Nature*, 513:176-178.
- Flórez JA. 1973. Velocidad de pasaje de la ingesta y digestibilidad en alpacas y ovinos. Tesis de Bachiller. Lima: Univ Nac Mayor de San Marcos. 46 p. 13.
- Forbes JM. 1996. Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *J AnimSci* 74: 3029-3035.
- Forster, P., et al. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Franklin, R. T. 1982 Insect influences on the forest canopy. In : Analysis of temperate forest ecosystems. *Ecological Studies I* , ed. D. E. Reichle. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, p. 86-99.
- Galotta, DR y JM. Galotta, Proposiciones relativas a la nomenclatura de los compartimientos del estómago de los camélidos sudamericanos. XXV Congreso Anatomía. Bs. Como. Argentina, 109, 1988.

- Galotta.1987. El estómago de los camélidos sudamericanos. XXIV Congreso de Anatomía. Bs. As.
- GasmetMR, 2012, Gasmet DX-4030 USER MANUAL FTIR Gas Analyser On-site Series Instruction and Operating Manual Version E1.18 (5.12.2012).
- Getachew, G., M, Blümmel, H. Makkar, and K. Becker. 1998. "In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional.
- Ghosh, A., P. K. Patra, K. Ishijima, T. Umezawa, A. Ito, D. M. Etheridge, S. Sugawara, K. Kawamura, J. B. Miller, E. J. Dlugokencky, P. B. Krummel, P. J. Fraser, L. P. Steele, R. L. Langenfelds, C. M. Trudinger, J. W. C. White, B. Vaughn, T. Saeki, S. Aoki, and T. Nakazawa. 2015. Variations in global methane sources and sinks during 1910-2010. Atmos. Chem. Phys.
- Hegarty, R.S. 2002. "Strategies for mitigating methane emissions from livestock – Australian options and opportunities.in: takahashi j, young ba (eds) ghges and animal agriculture. Elsevier, Dordrecht ".
- Hintz, H. F., H. F. Schryver, and M. HALBERT, 1973.A note on the comparison of digestion by new world camels, sheep and ponies. Anim. Prod., 16: 303-305.
- Hook, S. E., A. D. G. Wright, and B. W. McBride. 2010. Methanogens: Methane producers of the rumen and mitigation strategies. Archaea. 2010:1-11.
- Holter, J. B., and A. J. Young. 1992. Methane prediction in dry and lactating Holstein cows. J. DairySci. 75:2165.
- Holgado, D., Farfan, R.D., Tapia, M.E., 1979. Evaluación agrostologica de los pastisales de la Raya, Puno, Peru. Rev, Inv. Pec. (IVITA). 4: 32-37
- Huhtanen, P., K. Kaustell, and S. Jaakkola. 1994. The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. Anim. Feed Sci.Technol. 48:211-227.

- Instituto de Investigacion en Ciencia Animal y Tecnologia (IICAT), Facultad de medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad publica El Alto (UPEA). Composicion de Ingesta seleccionada por llamas (*Lama glama*). Journal of the Selva Andina Science 2016. Bolivia.
- INEI. 2012. Instituto Nacional de Estadistica e Informatica. IV Censo Nacional Agropecuario
- IPCC. 1997. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories – Reference manual (Volumen 3). Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (disponible en www.ipccnggip.igtes.or.jp/publuc/gl/invs6.htm). Ultimo acceso: junio de 2008.
- Ishler, V; J. Heinrichs, and G. Varga. 1994. from Feed to Milk: Understanding rumen function; Extension circular No. 422, Pennsylvania State University, College Of Agricultural Sciences: Pages 5.
- Janssen, P.H., and M. Kirs, 2008. Structure of the archaeal community of the rumen. *Applied and environmental microbiology*. 74:3619-3625.
- Joblin, K.N., H. Matsui, G.E. Naylor, and K. Ushida, 2002. Degradation of fresh ryegrass by methanogenic co-cultures of ruminal fungi grown in the presence or absence of fibrobactersuccinogenes. *Current Microbiology*. 45: 46–53.
- Johnson, K. A., and D. E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 2483-2492.
- Johnson, K. A., H. H. Westbeg, J. J. Michal, and M. W. Cossalman. 2007. "Measuring methane emission of ruminants by in vitro and in vivo techniques." Pp. 33-67 in measuring methane production from ruminants, edited by Harinder P.S.; VercoeMakkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.

- Jordan, E., D. Kenny, M. Hawkins, R. Malone, D. K. Lovett, and F. P. O'Mara. 2006. Effect of refined soy oil or whole soybeans on intake, methane output, and performance of young bulls. *J. Anim. Sci.*, 84:2418-2425.
- Jouany, J.P. 1994. Manipulation of microbial activity in the rumen. *Archives of Animal Nutrition* 46, 133-153.
- Kanani, J., D. Philipp, K. P. Coffey, E. B. Kegley, C. P. West, S. Gadberry, J. Jennings, A. N. Young, and R. T. Rhein. 2015. Diurnal variation in fecal concentrations of acid-detergent insoluble ash and alkaline-peroxide lignin from cattle fed bermudagrass hays of varying nutrient content. *J. Anim. Sci. Biotech.*, 6:1-6.
- Kim, M., M. Morrison, and Z. Yu. 2011. Status of the phylogenetic diversity census of ruminal microbiomes. *Fems microbiology ecology*. 76:49-63.
- Kirschke, S., P. Bousquet, P. Ciais, et al., 2013. Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geosci.*, 6:813-823.
- Knapp, J. R., G. L. Laur, P. A. Vadas, W. P. Weiss, J. M. Tricarico. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J. Dairy Sci.*, 97:3231-3261.
- Krysl, L. J., M. L. Galyean, R. E. Estell, and B. F. Sowell. 1988. Estimating digestibility and faecal output in lambs using internal and external markers. *J. Agric. Sci.*, 111:19-25.
- Ku-Vera JC, Ramírez-Avilés L, Alayón-Gamboa V, Valdavia-Salgado L, Ramírez-Cancino G, Jiménez- Ferrer G, et al. Nutritive value of tropical trees and shrubs for ruminants. In: Oklahoma State Education Course in Ruminant Nutrition. Oklahoma State University, Stillwater Oklahoma, Proceedings, USA. 1999.
- Leslie, M., M. Aspin, and H. Clark. 2008. Greenhouse gas emissions from New Zealand agriculture: Issues, perspectives and industry response. *Aust. J. Exp. Agric.*, 48: 1-5.

- Lovett, D. K., S. Lovell, L. Stack, J. Callan, M. Finlay, J. Connolly, and F. P. O'Mara. 2003. Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef heifers. *Livest. Prod. Sci.*, 84: 135-146.
- Mayland, H. F., A. R. Florence, R. C. Rosenau, V. A. Lazar, and H. A. Turner. 1975. Soil ingestion by cattle on semiarid range as reflected by titanium analysis of feces. *J. Range Manage.*, 28:448-452.
- McAllister, T. A., and C. J. Newbold. 2008: Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Aust. J. Exp. Agr.*, 48: 7-13.
- McGeough, E. J., P. O'Kiely, and D. A. Kenny. 2010. A note on the evaluation of the acid-insoluble ash technique as a method for determining apparent diet digestibility in beef cattle. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 49: 159-164.
- McAllister, T.A., Okine, E.K., Mathison, G.W. and Cheng, K.J. 1996. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Can J AnimSci*, 76: 231-243.
- Mekuriaw.S., F. Tegegn and A. Mengistu. 2014. A review on reduction of greenhouse gas emission from ruminants through nutritional strategies. *Academia Journal of Environmental Sciences* 2(1): 6-14.
- MERLO, F., 2003. Evaluación de la vegetación nativa en periodos de lluvia de los campos de pastoreo en la estancia de larga Uma de la comunidad Pujrata tesis de grado – Universidad Católica Boliviana. La Paz Bolivia.
- Moe, P. W., and H. F. Tyrell. 1979. Methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 62: 1583-1586.
- Montzka, S. A., E. J. Dlugokencky, and J. H. Butler. 2011. Non-CO2 greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476:43-50.
- Moraes, L., J. Fadel, A. Castillo, E. Kebreab. 2014. Minimizing diet costs and enteric methane emissions from dairy cows. Nicholas Institute for

- Environmental Policy Solutions. Report NI GGMCOCA R 5. February 2014. Greenhouse Gas Mitigation Opportunities in California Agriculture, California.
- Morgavi, D. P., E. Forano, C. Martin, and C. J. Newbold. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4:1024-1036.
- Neely, C., S. Bunning, and A. Wilkes, 2009. Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. Implications and opportunities for mitigation and adaptation. Land and Water Discussion Paper 8.FAO. Roma, Italia.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National academy press. Washington, Dc.
- O'Kelly, J. C., and W. G. Spiers. 1992. Effect of monensin on methane and heat productions of steers fed Lucerne hay. *Aust. J. Agric. Res.* 43: 1789-1793. or perennial ryegrass (*Loliumperenne*) on enteric methane emissions from sheep. *Anim Feed Sci Tech*, 166-167: 398-404.
- Paputungan, U., L. Hakim, G. Ciptadi, and H. F. N. Lapian. 2015. Application of body volumen formula for predicting live weight in Ongole crossbred cows. *Internat. J. Livest. Prod.*, 6:35-40.
- Pedreira, Márcio Dos Santos, Odo Primavesi, Magda Aparecida Lima, Rosa Frighetto, simonegisele de oliveira, and telmateres in haberchielli. 2009 "ruminal methane emission by dairy cattle in southeast Brazil." *Scientia Agricola* 66:742-50.
- Pfister, J. A. 1985. Technical Notes: An effective fecal harness for free-grazing. *J. Range Manag.*,38:184-185.
- Pinares-Patiño CS, Ulyatt MJ, Lassey KR, Barry TN and Holmes CW 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, 205–214.

- Pinares-Patiño CS, Lassey KR, Martin RJ, Molano G, Fernandez M, MacLean S, Sandoval E, Luo D and Clark H 2011b. Assessment of the sulphur hexafluoride (SF6) tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions from sheep. *Animal Feed Science and Technology* 166, 201–209.
- Pinares, C. S., G. C. Waghorn, R. S. Hegarty, and S. O. Hoskin. 2009: Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand. *New Zealand Veter. J.*, 57:252-261.
- QUIROGA, A. 1999. Valor forrajero, estimación y productividad en praderas nativas del Altiplano Central. Comanche Provincia Pacajes. La Paz-Bolivia.
- Quispe C., 2015. Efecto de Dos Dietas Fibrasas en la Producción de Metano en Alpacas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Tacna.
- Randolph, T. F., E. Schelling, D. Grace, C. F. Nicholson, J. L. Leroy, D. C. Cole, M. W. Demment, A. Omere, J. Zinsstag, and M. Ruel. 2007. Invited Review: Role of livestock in human nutrition and health for poverty reduction in developing countries. *J. Anim. Sci.*, 85:2788-2800.
- Robinson, D.L., Goopy, J.P., Hegarty, R.S., 2006. Can rumen methane production be predicted from volatile fatty acid concentrations? *Anim. Prod. Sci.* 50,630–636.
- Sales, J. 2012. A review on the use of indigestible dietary markers to determine total tract apparent digestibility of nutrients in horses. 174:119-130.
- SAN MARTIN, F. & BRYANT, F. C. (1989). Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Ruminant Research* 2, 191–216.
- SAN MARTIN, F. (1987) .Comparative Forage Selectivity, Nutrition of South American Camelids, and Sheep. Ph.D. thesis, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA.

- SAN MARTIN, F. (1991) Nutrición y Alimentación. En: “*Producción de Rumiantes Menores - Alpacas*”, editado por Novoa, C. y F. Flores. RESUMEN CUCD –INIA. Lima, p. 359.
- SAN MARTIN, F., F. C. BRYANT. 1987. Nutrición de los camélidos sudamericanos. Estos de nuestro conocimiento. Artículo Técnico T9505. Programa colaborativo de apoyo a la investigación en rumiantes menores. Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Texas Tech. University. Pp 67.
- SAN MARTIN, F., F.C. BRYANT.1989. Digestibilidad comparative entre llamas y ovinos en función de la calidad de dieta. En: San Martin, F., F.C Bryant. (Eds.). Investigaciones sobre pastos y forrajes de la Texas Tech. University en Perú. Vol V.
- SAN MARTIN, F.A., 1991. Alimentación y Nutrición. In: Fernández Baca, S.(Ed.), Avances y Perspectivas en Camélidos Sud Americanos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile, pp.213 262.
- SCHNEIDER, W., HAUFFE, R. & ENGELHARDT, W. V. (1974). Energie- und sticks to fumsatz beim Lama.In Energy Metabolism of Farm Animals (Eds K. H. Menke, H.-J. Lantzs& J. R. Reichl), pp. 127–130. Hohenheim: Universita“ t Hohenheim.
- Sharp, R., Ziemer, C.J., Stern, M.D., and Stahl, D.A. 1998. Taxon-specific associations between protozoal and methanogen populations in the rumen and a model rumen system. Fems microbiology ecology. 26: 71-78.
- Shrestha, S., Y. R. Bindari, N. Shrestha, and T. N. Gaire. 2013. Methane gas emission in relation to livestock: a Review. J. Anim. Prod. Adv., 3:187-191.

- Smith, J., K. Sones, D. Grace, S. MacMillan, S. Tarawali, and M. Herrero. 2013. Beyond milk, meat, and eggs: Role of livestock in food and nutrition security. *Anim. Front.*, 3:6-13.
- SOIL, S. 1992. Compositions and nutritive value of forages in. Hoath. C. Forages, the scencial. Grasse and Agricultura. Third ed. Low a State Univ. Press. Ameslowa. USA.
- Sponheimer, M., T. Robinson, B. Roeder, J. Hammer, L. A y liffe, B. Passey, T. Cerling, D. Dearing, and J. Ehleringer. 2003. Digestion and passage rates of grass hays by llamas, alpacas, goats, rabbits and horses. Technical note. *Small Ruminant Research*. 48: 149-154.
- Swainson NM, Hoskin SO, Clark H, Pinares-Patiño CS, Brookes IM. Comparative methane production and yields from adult cattle, red deer and sheep. *GGAAC. New Zeland*.2007
- Tajima, K., T., Nagamine, H. Matsui, M. Nakamura, and R.I. Aminov. 2001. Phylogenetic analysis of archaeal 16s rRNA libraries from the rumen suggests the existence of a novel group of archaeas not associated with known methanogens. *Fems microbiology letters*. 200: 67-72.
- Turner, A. J., D. J. Jacob, K. J. Wecht, et al., 2015. Estimating global and North American methane emissions with high spatial resolution using GOSAT satellite data *Atmos. Chem. Phys.*, 15:7049-7069.
- Thauer, R.K., A.K. Kaster., H. Seedorf., W. Buckel., and R. Hedderich, R. 2008. Methanogenicarchaea: ecologically relevant differences in energy conservation. *Nature Reviews in Microbiology*. 6: 579-91.
- Thoney, M. L., D. J. Duhaime, P. W. Moe, and J. T. Reid. 1979. Acid insoluble ash and permanganate lignin as indicators to determine digestibility of cattle rations. *J. Anim. Sci.*, 49:1112-¿?.
- Tian, H., G. Chen, C. Lu, X. Xu, W. Ren, B. Zhang, K. Banger, B. Tao, S. Pan, M. Liu, C. Zhang, L. Bruhwiler, and S. Wofsy. 2015. Global methane and

nitrous oxide emissions from terrestrial ecosystems due to multiple environmental changes. *Ecosys. Health Sust.*, (1):4.

Trotsenko, Y. A., J. C. Murrell. 2008. Metabolic aspects of aerobic obligate methanotrophy. *Adv. Appl. Microb.*, 63:183-229. 2014.

Ulyatt, M. J., K. R. Lassey, I. D. Shelton, and C. F. Walker. 2002. "Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand." *New Zealand Journal of Agricultural Research* 45(4):227-34.

US EPA (United State Environmental Policy Agency). 1994. International Anthropogenic methane emissions: Estimates for 1990. US EPA 230-R-93-010. Washington, DC, USA.

Vallenas A, Cummings JF, Munnell JF. 1970. A gross study of the compartmentalized stomach of two new-world camelids, the llama and guanaco. *J Morphol* 134: 399-423.

Van Dyne, G. M., and D. T. Torell. 1964. Development and use of the esophageal fistula: a review. *J. Range Manage.*, 17:7-9

Van Keulen, J. V., and B. A. Young. 1977. Evaluation of acid insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.*, 44:282-290.

Van Nevel, C., and D. Demeyer. 1995. Feed additives and other interventions for decreasing methane emissions. Pages 329-349 in *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*. R. J. Wallace, and A. Chesson (Eds.). VCH, Germany.

Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.

- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant: ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fibers. O And B Books, Corvallis, Oregon.
- Vilca. G., 2014. Efecto del concentrado fibroso sobre las emisiones de metano entérico en vacas lecheras. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú.
- Waghorn G, Molano G, Cavanagh A. 2003. An Estimate of Whole Herd Methane Production from Cows at the Lincoln University Dairy Farm in October 2003. A report prepared for Land care Research, New Zealand. 23 p.
- West, J. B. 2004. The physiologic basis of high-altitude diseases. *Ann. Intern. Med.*, 141: 789-800
- Westberg H, Lamb B, Johnson K, Huyler M. 2001. Inventory of methane emissions from U.S. cattle. *Journal of Geophysical Research*. 106: 12633-12642.
- Wright, A.D.G., A.J Williams., B Winder. C.T Christophersen., S.L Rodgers., and K.D. Smith, 2004. Molecular Diversity of Rumen Methanogens from Sheep in Western Australia. *Applied and Environmental Microbiology*, 70: 1263.
- Wolin, M. J., and T. L. Miller. 1988. Microbe interactions in the rumen microbial ecosystem. Pages 343-359 In *The Rumen Microbial Ecosystem*. P. N. Hobson (Ed.). Elsevier Applied Science, New York, USA.
- Yiakoulaki, M. D., and A. S. Nastis. 1998. A modified faecal harness for grazing goats on Mediterranean shrublands. *J. Range Manage.*, 51:545-546.

VIII. ANEXOS

Composición química de heces y bolo alimenticio

Tabla A.1: Determinación de materia seca por animal en llamas macho:

Animal	Peso materia fresca (g)	Peso materia seca (g)	% MS	% H°	Peso heces frescas total	Materia seca total (g)
1	150	45.82	30.54	69.46	6480.10	1979.27
2	150	50.02	33.34	66.66	4600.80	1534.11
3	150	55.44	36.96	63.04	6260.10	2313.68
4	150	44.17	29.45	70.55	6109.90	1799.36
\bar{x}	150.00	49.88	33.25	66.75	5656.93	1882.38
DS	0.00	5.63	3.76	3.76	917.72	396.36
CV,%	0.00	11.29	11.29	5.63	16.22	21.06

Tabla A.2: Determinación de materia seca por animal en llamas hembras

Animal	Peso materia fresca (g)	Peso materia seca (g)	% MS	% H°	Peso heces frescas total	Materia seca total (g)
1	150	67.37	44.91	55.09	2626.00	1179.45
2	150	70.24	46.83	53.17	2802.30	1312.26
3	150	66.07	44.05	55.95	2522.40	1111.00
4	150	61.63	41.09	58.91	2733.00	1122.86
\bar{x}	150.00	65.98	43.99	56.01	2685.90	1182.04
DS	0.00	4.31	2.87	2.87	145.77	112.93
CV,%	0.00	6.53	6.53	5.13	5.43	9.55

FIBRA

Tabla B.1: Fibra detergente neutro en bolo alimenticio en llama macho

Día	Muestra	Crisol	Crisol+MS 72h estufa	Crisol+ceniza	Fibra perdida	%FDN
1	1.0004	34.61	35.32	34.64	0.68	67.68
2	1.0009	37.40	38.16	37.43	0.72	72.22
3	1.0009	39.00	39.75	39.03	0.72	71.86
\bar{x}	1.00	37.00	37.74	37.03	0.71	70.58
DS	0.00	2.22	2.24	2.22	0.03	2.52
CV,%	0.03	6.01	5.95	6.00	3.60	3.57

Tabla B.2: Fibra detergente neutro en bolo alimenticio en llama hembra

Día	Muestra	Crisol	Crisol+MS 72h estufa	Crisol+ceniza	Fibra perdida	%FDN
1	1.0002	22.22	22.98	22.26	0.72	72.05
2	1	31.81	32.57	31.85	0.72	71.99
3	1.0007	20.07	20.83	20.10	0.73	73.35
\bar{x}	1.00	24.70	25.46	24.74	0.72	72.46
DS	0.00	6.25	6.25	6.26	0.01	0.77
CV,%	0.04	25.32	24.55	25.29	1.10	1.06

Tabla B.3: Fibra detergente neutro en heces en llamas machos

Animal	Muestra	Crisol	Crisol+MS 72h estufa	Crisol+ceniza	Fibra perdida	%FDN
1	1.0007	19.92	20.55	19.99	0.55	55.37
2	1.0008	22.22	22.84	22.28	0.56	56.21
3	1.0005	21.46	22.12	21.55	0.57	57.23
4	1.0004	17.35	17.97	17.43	0.54	53.97
\bar{x}	1.00	21.20	21.84	21.27	0.56	56.27
DS	0.00	1.17	1.17	1.17	0.01	0.93
CV,%	0.02	5.52	5.37	5.49	1.65	1.66

Tabla B.4: Fibra detergente neutro en heces en llamas hembras

Día	Muestra	Crisol	Crisol+MS 72h estufa	Crisol+ceniza	Fibra perdida	%FDN
1	1.0004	21.36	21.92	21.43	0.50	49.73
2	1.0009	20.06	20.67	20.14	0.53	52.70
3	1.001	19.61	20.21	19.69	0.52	52.37
4	1.0008	17.37	18.00	17.45	0.56	55.46
\bar{x}	1.00	20.34	20.93	20.42	0.52	51.60
DS	0.00	0.91	0.89	0.90	0.02	1.63
CV,%	0.03	4.47	4.24	4.42	3.19	3.16

Tabla C.1: Peso de heces totales de 3 días en llamas machos

Animal	1			2			3			4		
	MAÑANA	TARDE	TOTAL	MAÑANA	TARDE	TOTAL	MAÑANA	TARDE	TOTAL	MAÑANA	TARDE	TOTAL
1	1123.5	1218.4	2341.9	492.1	660.7	1152.8	728.5	1115.7	1844.2	1101.8	1254.3	2356.1
2	721	1277.3	1998.3	664.2	890.9	1555.1	973.1	1162.4	2135.5	813.1	1089.6	1902.7
3	847.3	1292.6	2139.9	790.1	1102.8	1892.9	990.0	1290.4	2280.4	962.2	888.9	1851.1
\bar{x}	897.27	1262.77	2160.03	648.80	884.80	1533.60	897.20	1189.50	2086.70	959.03	1077.60	2036.63
DS	205.85	39.18	172.68	149.60	221.11	370.52	146.34	90.45	222.16	144.38	183.00	277.87
CV,%	22.94	3.10	7.99	23.06	24.99	24.16	16.31	7.60	10.65	15.05	16.98	13.64

Tabla C.2: Peso de heces totales de 3 días en llamas hembras

Animal	1			2			3			4		
	MAÑANA	TARDE	TOTAL									
1	484.5	358.5	843.0	399.4	587.6	987.0	458.1	373.6	831.7	322.7	440.1	762.8
2	563.6	309.1	872.7	491.4	502.2	993.6	581.6	354.4	936.0	438.9	517.8	956.7
3	529.9	380.4	910.3	350.1	471.6	821.7	392.2	362.5	754.7	419.4	594.1	1013.5
\bar{x}	526.00	349.33	875.33	413.63	520.47	934.10	477.30	363.50	840.80	393.67	517.33	911.00
DS	39.69	36.52	33.73	71.72	60.12	97.40	96.15	9.64	90.99	62.23	77.00	131.45
CV,%	7.55	10.46	3.85	17.34	11.55	10.43	20.14	2.65	10.82	15.81	14.88	14.43

Tabla D.1: Determinación de ceniza insoluble en dieta consumida en llama macho

Día	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar		MS - ceniza	Peso 2da incineración	Peso ceniza final	promedio	CIA%	promedio
	Peso crisol	Peso muestra		crisol + muestra	crisol + muestra						
1	34.602	5.0006	39.6026	35.0377	4.5649	34.7905	0.1885	3.770	0.178	3.698	3.564
2	37.3928	5.0006	42.3934	37.8482	4.5452	37.5777	0.1849	3.226			
3	38.9991	5.0001	43.9992	39.4429	4.5563	39.1604	0.1613	3.6			
Promedio	37.0	5.0	42.0	37.4	4.6	37.2	0.2	3.6			3.6
Desv.Est.	2.2	0.0	2.2	2.2	0.0	2.2	0.0	0.3			
CV, %	6.0	0.0	5.3	6.0	0.2	6.0	8.3	8.3			

Tabla D.2: Determinación de ceniza insoluble en dieta consumida en llama Hembra

Día	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar		MS - ceniza	Peso 2da incineración	Peso ceniza final	promedio	CIA%	promedio
	Peso crisol	Peso muestra		crisol + muestra	crisol + muestra						
1	31.8126	5.0001	36.8127	32.3065	4.5062	32.0536	0.241	4.820	0.234	4.688	4.7
2	19.6077	5.0005	24.6082	20.0526	4.5556	19.7928	0.1851	3.702			
3	18.3021	5.0002	23.3023	18.7286	4.5737	18.5793	0.2772	5.544			
Promedio	23.2	5.0	28.2	23.7	4.5	23.5	0.2	4.7			4.7
Desv.Est.	7.5	0.0	7.5	7.5	0.0	7.5	0.0	0.9			
CV, %	32.1	0.0	26.4	31.6	0.8	31.8	19.8	19.8			

Tabla D.3: Determinación de ceniza insoluble en heces en llama machos

Animal	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar crisol + muestra	MS - ceniza	Peso papel filtro	peso papel +ceniza insoluble	Peso ceniza final	CIA%	I. dieta/l.heces	DMS		MS heces		TRI	
	Peso crisol	Peso muestra									%	g	g/d	%		
♂ 1	31.8115	5.0019	36.8134	32.5948	4.2186	0.755	1.288	0.5328	10.652	0.33	66.54	659.76	1971.67	33.45		
♂ 2	37.3933	5.0022	42.3955	38.1235	4.272	0.751	1.259	0.5074	10.144	0.35	64.86	511.37	1455.27	35.13		
♂ 3	30.5472	5.0007	35.5479	31.2597	4.2882	0.755	1.265	0.5097	10.193	0.35	65.03	771.23	2205.39	34.97		
♂ 4	38.9984	5.0012	43.9996	39.7445	4.2551	0.774	1.286	0.5117	10.232	0.35	65.16	599.79	1721.70	34.83		
medio	34.7	5.0	39.7	35.4	4.3	0.8	1.3	0.5	10.3	0.3	65.4	635.5	1838.5	34.6		
s.v.Est.	4.1	0.0	4.1	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.8	109.1	322.9	0.8		
V, %	11.9	0.0	10.4	11.7	0.7	1.4	1.2	2.3	2.3	2.2	1.2	17.2	17.6	2.2		

Tabla D.4: Determinación de ceniza insoluble en heces en llama Hembras

Animal	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar crisol + muestra	MS -ceniza	Peso papel filtro	peso papel +ceniza insoluble	Peso ceniza final	CIA%	I. dieta/l.heces	DMS		MS heces		TRI	
	Peso crisol	Peso muestra									%	g	g/d	%		
♀ 1	37.2918	5.0003	42.2921	38.115	4.1771	0.712	1.290	0.5775	11.549	0.406	59.41	393.15	968.47	40.59		
♀ 2	34.6059	5.0011	39.607	35.3454	4.2616	0.701	1.288	0.5865	11.727	0.400	60.02	437.42	1094.14	39.97		
♀ 3	37.8052	5.0007	42.8059	38.6058	4.2001	0.762	1.379	0.6168	12.334	0.380	61.99	370.33	974.27	38.01		
♀ 4	28.7653	5.0007	33.766	29.4806	4.2854	0.725	1.290	0.5648	11.294	0.415	58.49	374.29	901.65	41.51		
medio	34.6	5.0	39.6	35.4	4.2	0.7	1.3	0.6	11.7	0.4	60.0	393.8	984.6	40.0		
s.v.Est.	4.1	0.0	4.1	4.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	1.5	30.7	80.1	1.5		
V, %	12.0	0.0	10.5	11.8	1.2	3.6	3.4	3.8	3.8	3.7	2.5	7.8	8.1	3.7		

Tabla E.1: Emisión de metano entérico en llamas machos al pastoreo

Machos																
Llama	N°	Arete	Peso	IMS	CIA bolo	FDN bolo	EMF	H°	EMS	CIA heces	FDN heces	DMS	Emisiones de CH ₄			
													g/d	%	g/d	g/d
	1	14LL124 E	128.8	1971.7	3.6	70.6	2160.0	69.5	659.8	10.7	55.4	66.6	58.1	37.6	91.8	46.6
	2	14LL148 E	108.4	1455.3	3.6	70.6	1533.6	66.7	511.4	10.1	56.2	64.9	53.8	34.7	84.8	58.3
	3	Crow	121.4	2205.4	3.6	70.6	2086.7	63.0	771.2	10.2	57.2	65.1	63.1	40.8	99.7	45.2
	4	14LL78 E	99.6	1721.7	3.6	70.6	2036.6	70.6	599.8	10.2	54.0	65.2	60.7	39.4	96.1	55.8
	Promedio		114.6	1838.5	3.6	70.6	1954.2	67.4	635.5	10.3	55.7	65.4	58.9	38.2	93.1	51.5
	Desv.Est.		13.1	322.9	0.0	0.0	285.0	3.4	109.1	0.2	1.4	0.8	4.0	2.6	6.4	6.6
	CV, %		11.4	17.6	0.0	0.0	14.6	5.0	17.2	2.3	2.5	1.2	6.8	6.9	6.9	12.7

Tabla E.2: Emisión de metano entérico en llamas hembras al pastoreo

Hembras																
Llama	N°	Arete	Peso	IMS	CIA bolo	FDN bolo	EMF	H°	EMS	CIA heces	FDN heces	DMS	Emisiones de CH ₄			
													g/d	%	g/d	g/d
	1	Lucero	85.0	968.5	4.7	72.5	875.3	55.1	393.2	11.5	49.7	59.5	49.2	33.0	80.5	83.2
	2	14LL93E	99.0	1094.1	4.7	72.5	934.1	53.2	437.4	11.7	52.7	60.1	57.8	38.7	94.5	86.4
	3	Negra	89.9	974.3	4.7	72.5	840.8	56.0	370.3	12.3	52.4	62.1	48.0	32.3	78.8	80.9
	4	Blanca	86.6	901.7	4.7	72.5	911.0	58.9	374.3	11.3	55.5	58.6	48.5	32.5	79.3	88.0
	Promedio		90.1	984.6	4.7	72.5	890.3	55.8	393.8	11.7	52.6	60.0	50.9	34.2	83.3	84.6
	Desv.Est.		6.3	80.1	0.0	0.0	40.9	2.4	30.7	0.4	2.3	1.5	4.6	3.1	7.5	3.2
	CV, %		6.9	8.1	0.0	0.0	4.6	4.3	7.8	3.8	4.5	2.5	9.1	9.0	9.0	3.7

Tabla E.3: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama macho 1

Día	Minuto	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	\bar{x} CH ₄ ppm	Ph, mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ ,mg/m ³ Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol. real m ³	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH ₄ , litros/d	L/AÑO
1	20	51.4	72.8	62.1	450.29	9.9	56	25.40	57.72	9.78	0.146	9.64	556.24	40049.62	40.05	2.50	97.92	33523.
2	20	41.9	73.8	57.9	450.29	7.1	58	23.90	56.90	9.78	0.146	9.64	548.28	39475.82	39.48	2.46	95.56	
3	20	36.9	71.9	54.4	450.29	11.4	54	22.13	48.11	9.78	0.146	9.64	463.63	33381.45	33.38	2.08	82.05	
\bar{x}		43.40	72.83	58.12	450.29	9.47	56.00	23.81	54.24	9.78	0.146	9.64	522.72	37635.63	37.64	2.35	91.85	
DS		7.37	0.95	3.86	0.00	2.18	2.00	1.64	5.33	0.00	0.000	0.00	51.32	3695.38	3.70	0.23	8.56	
CV %		16.97	1.30	6.64	0.00	23.05	3.57	6.87	9.82	0.00	0.000	0.00	9.82	9.82	9.82	9.82	9.32	

Tabla E.4: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama macho 2

Día	Minuto	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	\bar{x} CH ₄ ppm	Ph, mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ ,mg/m ³ Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol. real m ³	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH ₄ , litros/d	L/AÑO
1	20	26.2	66.9	46.55	450.29	9.9	56	19.04	43.27	9.78	0.123	9.66	417.93	30091.00	30.09	1.88	73.57	30960.
2	20	39.3	63.7	51.5	450.29	7.1	58	21.27	50.65	9.78	0.123	9.66	489.23	35224.53	35.22	2.20	85.27	
3	20	52.8	73.7	63.25	450.29	11.4	54	25.73	55.94	9.78	0.123	9.66	540.31	38902.45	38.90	2.42	95.62	
\bar{x}		39.43	68.10	53.77	450.29	9.47	56.00	22.01	49.95	9.78	0.123	9.66	482.49	34739.33	34.74	2.17	84.82	
DS		13.30	5.11	8.58	0.00	2.18	2.00	3.41	6.36	0.00	0.000	0.00	61.47	4425.71	4.43	0.28	11.03	
CV %		33.73	7.50	15.95	0.00	23.05	3.57	15.48	12.74	0.00	0.000	0.00	12.74	12.74	12.74	12.74	13.00	

Tabla E.5: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama macho 3

Día	Minuto	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	\bar{x} CH ₄ ppm	Ph mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ mg/m ³ Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol. real m ³	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH ₄ litros/d	L/AÑO
1	20	40.1	67.7	53.9	450.29	9.9	56	22.04	50.10	9.78	0.138	9.64	483.20	34790.63	34.79	2.17	85.06	36382.5
2	20	45	86.1	65.55	450.29	7.1	58	27.08	64.47	9.78	0.138	9.64	621.78	44767.94	44.77	2.79	108.38	
3	20	56	83.9	69.95	450.29	11.4	54	28.46	61.87	9.78	0.138	9.64	596.66	42959.64	42.96	2.68	105.59	
\bar{x}		47.03	79.23	63.13	450.29	9.47	56.00	25.86	58.81	9.78	0.138	9.64	567.21	40839.41	40.84	2.55	99.68	
DS		8.14	10.05	8.29	0.00	2.18	2.00	3.38	7.66	0.00	0.000	0.00	73.83	5315.85	5.32	0.33	12.73	
CV %		17.31	12.68	13.14	0.00	23.05	3.57	13.05	13.02	0.00	0.000	0.00	13.02	13.02	13.02	13.02	12.77	

Tabla E.6: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama macho 4

Día	Minuto	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	\bar{x} CH ₄ ppm	Ph mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ mg/m ³ Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol. real m ³	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH ₄ litros/d	L/AÑO
1	20	40.1	65.4	52.75	450.29	9.9	56	21.57	49.03	9.78	0.114	9.67	474.07	34133.00	34.13	2.13	83.46	35093.4
2	20	45.3	83.9	64.6	450.29	7.1	58	26.68	63.54	9.78	0.114	9.67	614.29	44228.83	44.23	2.76	107.07	
3	20	48.7	80.7	64.7	450.29	11.4	54	26.32	57.22	9.78	0.114	9.67	553.25	39834.17	39.83	2.48	97.91	
\bar{x}		44.70	76.67	60.68	450.29	9.47	56.00	24.86	56.60	9.78	0.114	9.67	547.20	39398.67	39.40	2.46	96.15	
DS		4.33	9.89	6.87	0.00	2.18	2.00	2.85	7.27	0.00	0.000	0.00	70.31	5061.98	5.06	0.32	11.91	
CV %		9.69	12.90	11.32	0.00	23.05	3.57	11.47	12.85	0.00	0.000	0.00	12.85	12.85	12.85	12.85	12.38	

Tabla E.7: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama hembra 1

Día	Minuto	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	\bar{x} CH ₄ ppm	Ph mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ mg/m ³ Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol. real m ³	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH ₄ , litros/d	L/AÑO
1	20	37.2	58	47.6	450.29	11.0	57	19.39	45.10	9.78	0.096	9.69	436.83	31451.89	31.45	1.96	77.20	29400.6
2	20	37.8	63.5	50.65	450.29	9.6	55	20.74	46.08	9.78	0.096	9.69	446.36	32138.10	32.14	2.00	78.50	
3	20	29.7	68.9	49.3	450.29	7.2	60	20.36	50.89	9.78	0.096	9.69	492.96	35492.97	35.49	2.21	85.95	
\bar{x}		34.90	63.47	49.18	450.29	9.27	57.33	20.16	47.36	9.78	0.096	9.69	458.72	33027.65	33.03	2.06	80.55	
DS		4.51	5.45	1.53	0.00	1.92	2.52	0.69	3.10	0.00	0.000	0.00	30.03	2162.42	2.16	0.13	4.72	
CV %		12.93	8.59	3.11	0.00	20.74	4.39	3.44	6.55	0.00	0.000	0.00	6.55	6.55	6.55	6.55	5.87	

Tabla E.8: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama hembra 2

Día	Minuto	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	\bar{x} CH ₄ ppm	Ph mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ mg/m ³ Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol. real m ³	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH ₄ , litros/d	L/AÑO
1	20	43.9	78.7	61.3	450.29	11.0	57	24.97	58.08	9.78	0.112	9.67	561.66	40439.82	40.44	2.52	99.26	34499.0
2	20	46.7	63.6	55.15	450.29	9.6	55	22.58	50.18	9.78	0.112	9.67	485.25	34937.78	34.94	2.18	85.33	
3	20	44.4	69.3	56.85	450.29	7.2	60	23.48	58.69	9.78	0.112	9.67	567.55	40863.43	40.86	2.55	98.96	
\bar{x}		45.00	70.53	57.77	450.29	9.27	57.33	23.68	55.65	9.78	0.112	9.67	538.15	38747.01	38.75	2.42	94.52	
DS		1.49	7.63	3.18	0.00	1.92	2.52	1.21	4.75	0.00	0.000	0.00	45.91	3305.68	3.31	0.21	7.96	
CV %		3.32	10.81	5.50	0.00	20.74	4.39	5.11	8.53	0.00	0.000	0.00	8.53	8.53	8.53	8.53	8.42	

Tabla E.9: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama hembra 3

a	Minuto	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	\bar{x} CH ₄ ppm	Ph mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ ,mg/m ³ Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol.realm ³	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH ₄ , litros/d	L/AÑO
	20	38.4	39.4	38.9	450.29	11.0	57	15.85	36.86	9.78	0.101	9.68	356.79	25689.03	25.69	1.60	63.05	28776.8
	20	40	61.7	50.85	450.29	9.6	55	20.82	46.27	9.78	0.101	9.68	447.88	32247.05	32.25	2.01	78.76	
	20	35.8	72.9	54.35	450.29	7.2	60	22.44	56.11	9.78	0.101	9.68	543.15	39106.88	39.11	2.44	94.71	
		38.07	58.00	48.03	450.29	9.27	57.33	19.70	46.41	9.78	0.101	9.68	449.27	32347.65	32.35	2.02	78.84	
S		2.12	17.05	8.10	0.00	1.92	2.52	3.44	9.63	0.00	0.000	0.00	93.19	6709.49	6.71	0.42	15.83	
V		5.57	29.40	16.87	0.00	20.74	4.39	17.44	20.74	0.00	0.000	0.00	20.74	20.74	20.74	20.74	20.07	

Tabla E.10: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en llama hembra 4

Día	Minuto	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	\bar{x} CH ₄ ppm	Ph mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ ,mg/m ³ Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol.real m ³	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH ₄ , litros/d	L/AÑO
1	20	33.3	53.6	43.45	450.29	11.0	57	17.70	41.17	9.78	0.098	9.68	398.67	28704.55	28.70	1.79	70.46	28954.7
2	20	37.9	69.1	53.5	450.29	9.6	55	21.90	48.68	9.78	0.098	9.68	471.39	33940.30	33.94	2.12	82.90	
3	20	39	58.1	48.55	450.29	7.2	60	20.05	50.12	9.78	0.098	9.68	485.37	34946.66	34.95	2.18	84.63	
\bar{x}		36.73	60.27	48.50	450.29	9.27	57.33	19.88	46.65	9.78	0.098	9.68	451.81	32530.50	32.53	2.03	79.33	
DS		3.02	7.97	5.03	0.00	1.92	2.52	2.11	4.81	0.00	0.000	0.00	46.55	3351.37	3.35	0.21	7.73	
CV %		8.23	13.23	10.36	0.00	20.74	4.39	10.59	10.30	0.00	0.000	0.00	10.30	10.30	10.30	10.30	9.75	

Tabla E.11: Producción de metano entérico en llamas machos.

Animal	Peso vivo kg	\bar{x} CH ₄ ppm	CH ₄ ,mg/m ³	CH ₄ ,mg/m ³ Base seca	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Volumen de CH ₄ , litros/d	L/AÑO
1	128.8	58.12	23.81	54.24	522.72	37635.63	37.64	2.35	91.85	33523.85
2	108.4	53.77	22.01	49.95	482.49	34739.33	34.74	2.17	84.82	30960.30
3	121.4	63.13	25.86	58.81	567.21	40839.41	40.84	2.55	99.68	36382.54
4	99.6	60.68	24.86	56.60	547.20	39398.67	39.40	2.46	96.15	35093.43
promedio	114.550	58.93	24.14	54.90	529.91	38153.26	38.15	2.38	93.12	33990.03
DS	13.055	4.00	1.64	3.79	36.47	2626.11	2.63	0.16	6.39	2333.68
CV	11.397	6.79	6.81	6.90	6.88	6.88	6.88	6.88	6.87	6.87

Tabla E.12: Producción de metano entérico en llamas hembras.

Animal	Peso vivo kg	\bar{x} CH ₄ ppm	CH ₄ ,mg/m ³	CH ₄ ,mg/m ³ Base seca	mg/20 min	CH ₄ mg/d	g/d	moles/d	Vol. CH ₄ , litros/d	L/AÑO
1	85	49.18	20.16	47.36	458.72	33027.65	33.03	2.06	80.55	29400.58
2	99	57.77	23.68	55.65	538.15	38747.01	38.75	2.42	94.52	34499.01
3	89.9	48.03	19.70	46.41	449.27	32347.65	32.35	2.02	78.84	28776.77
4	86.6	48.50	19.88	46.65	451.81	32530.50	32.53	2.03	79.33	28954.71
promedio	90.125	50.87	20.86	49.02	474.49	34163.20	34.16	2.13	83.31	30407.76
DS	6.259	4.62	1.89	4.44	42.63	3069.35	3.07	0.19	7.51	2740.08
CV	6.944	9.08	9.06	9.06	8.98	8.98	8.98	8.98	9.01	9.01

Selectividad la dieta consumida

Selectividad de la dieta consumida en llamas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas.

Tabla F.1: Selectividad de la dieta consumida en llamas machos

Espece	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Calamagrostis spp</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Bromus unioloides</i>	<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	otros	total
día 1	44	41	9	3	3	0	100
día2	39	48	10	1	1	1	100
día 3	43	35	15	6	1	0	100
Promedio	42.0	41.3	11.3	3.3	1.7	0.3	
Desv.Est.	2.6	6.5	3.2	2.5	1.2	0.6	
CV, %	6.3	15.7	28.4	75.5	69.3	173.2	

Tabla F.2: Selectividad de la dieta consumida en llamas hembras

Espece	<i>Calamagrostis spp</i>	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Bromus unioloides</i>	<i>Mulembergia Fastigiata</i>	<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	total
día 1	57	40	2	1	0	0	100
día2	33	30	9	20	6	2	100
día 3	55	35	8	1	0	1	100
Promedio	48	35	6	7	2	1	
Desv.Est.	13.3	5.0	3.8	11.0	3.5	1.0	
CV, %	27.6	14.3	59.8	149.6	173.2	100.0	

IMAGENES



Figura A.1: cámara de respiración de policarbonato



Figura A.2: bolsa de lona para colección de bolo



Figura A.3: bolsa de lona para colección fecal



Figura A.4: colector de heces adaptado para hembras



Figura A.5: Equipo GasmeterDX-4030



Figura A.6: Cánulas esofágicas tipo canaleta



Figura A.7: Cánula colocada en el esófago



Figura A.8: cuidados pos-operatorios de la fistula



Figura A.9: animales en pastos cultivados



Figura A.10: acostumbramiento al ingreso de cámara

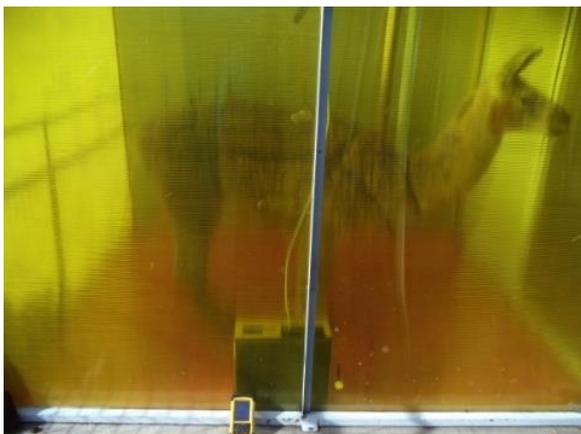


Figura A.11: Medición de Metano entérico



Figura A.12: Ventilación mecánica



Figura A.13: Medidas corporales para determinar Volumen



Figura A.14: Llama fistulada comiendo



Figura A.15: Captura de los animales fistulados



Figura A.16: Colección de alimento por fistula esofágica



Figura A.17: alimento recolectado en bolsa de lona



Figura A.18: Secado de muestras a temperatura ambiente



Figura A.19: Muestras en estufa a 60°C



Figura A.20: Molido de muestras



Figura A.21: Pesado de Muestras para análisis



Figura A.22: Colocación de muestras a horno MUFLA

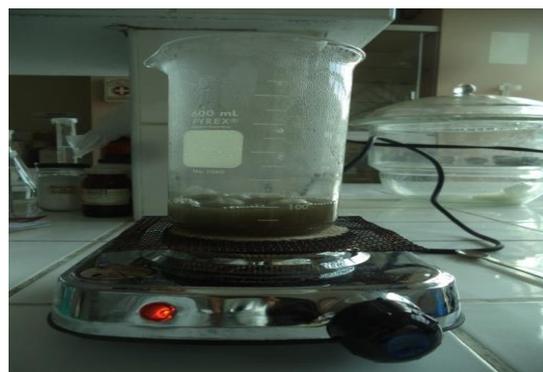


Figura A.23: ebullición de muestra



Figura A.24: Filtrado del hidrolizado



Figura A.25: distribución al azar de los fragmentos



Figura A.26: Fragmento más cercano al centro de la planta



Figura A.27: Observación en el estereoscopio



Figura A.28: Fragmentos de tallos y hojas

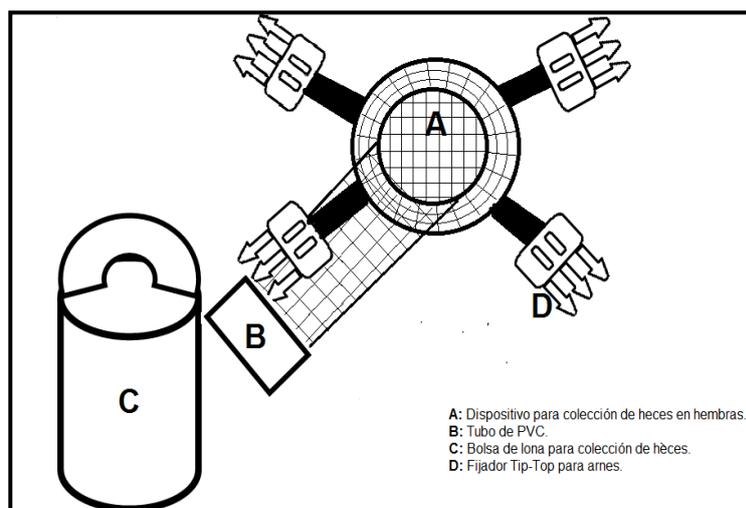


Figura A.29: Dispositivo para colección de heces en hembras (Diseño propio)