

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



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

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. NURY FÁTIMA ANTONIETA QUISPE CHACÓN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO 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 alpacas al pastoreo en praderas andinas”

PRESENTADA POR:

Bach. NURY FÁTIMA ANTONIETA QUISPE CHACÓN

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA



APROBADA POR:

PRESIDENTE:

Ph. D. José Luis Bautista Pampa

PRIMER MIEMBRO:

Dr. Natalio Luque Mamani

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 alpacas.

DEDICATORIA

Se lo dedico primero a él, a mi Dios de la vida, que estuvo siempre ahí, cuando más lo necesitaba, ofreciéndome amor y fuerza para continuar cuando mas lo necesitaba.

A mis padres que los amo mucho, Lorgio Quispe Aragón y Carmen Chacón Enriquez, que me apoyaron en los buenos y malos momentos de mi vida como estudiante, ya que si en ellos, culminar mis estudios, no hubiera sido posible. Gracias papito y mamita por haber tenido mucha paciencia, darme todo el amor del mundo y haberme apoyado en los tristes momentos de mi vida.

A mis hermanos queridos, Gustavo y Ángeles que por ellos sigo adelante y en un futuro no muy lejano, sean mejores que yo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios se lo debo todo, por darme una familia tan maravillosa, que a través de ellos me dio la oportunidad de realizar mis sueños, ser una profesional.

A la Universidad Nacional del Altiplano y a los docentes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por haberme impartido conocimientos en toda mi formación profesional.

Al Ph. D Bernardo Roque Huanca, director del presente trabajo de investigación, por haberme apoyado y guiado durante todo el tiempo de ejecución y presentación del trabajo.

Al M. Sc. Uriel Marca Choque, asesor del presente trabajo de investigación, que nos brindo su tiempo y apoyo, dándonos aliento para seguir adelante. A los miembros del jurado calificador: Ph. D. José Luis Bautista Pampa, Dr. Natalio Luque Mamani y MVZ. Marino Francisco Ávila Felipe, que con sus aportes ayudaron a mejorar el presente trabajo.

Al Dr. Juan Guido Medina, director del CIP La Raya, por su colaboración en mis prácticas profesionales y apoyar en lo que fuera necesario para este proyecto de investigación.

Al personal del CIP La Raya, Sr. Hugo, Marcos, Esteban, Eduardo, Cirilo, Cesar; por colaborar en la ejecución del trabajo.

A mis compañeros que me ayudaron cuando mas lo necesitaba para ejecutar el proyecto: Max, Joel, Ángel, Katy, Richard, Roger y Abad.

Y a mis amigos que durante todos estos años estuvieron apoyandome moralmente: Max, Grecia, Wendy, Paul y Margoth.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	8
RESUMEN	10
I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
2.1 La alpaca	15
2.2 Consumo de alimento en alpacas	16
2.3 Fisiología digestiva de la alpaca.....	20
2.3.1 Digestión en la boca.....	20
2.3.2 Digestión en el estómago	20
2.4 Digestibilidad de los alimentos en la alpaca.	23
2.5 Arqueas del rumen	23
2.6 Metano entérico	25
2.7 Factores que afectan la producción de metano	26
2.7.1 Factor dieta:.....	26
2.7.2 Factor ambiente:	27
2.7.3 Factor producción:.....	28
2.7.4 Factor fisiológico:	28
2.8 Ganadería y contaminación ambiental	29
2.9 Metano atmosférico	32
2.10 Metodologías para medir las emisiones de metano en rumiantes.....	34
2.11 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).....	34
2.12 Antecedentes de uso del equipo Gasmeter DX – 4030.....	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1 Lugar de estudio	36
3.2 Instalaciones	36
3.3 Animales	37
3.4 Alimentación	37
3.5 Materiales y equipos	37
3.5.1 Materiales	37
3.6 Metodología.....	39
3.6.1 Etapa pre-experimental.....	39
3.6.2 Etapa experimental.....	42

3.7 Análisis estadístico	53
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1 Emisión de metano entérico en alpacas al pastoreo en praderas andinas.....	54
4.2 Selectividad de la dieta consumida	57
V. CONCLUSIONES.....	61
VI. RECOMENDACIONES.....	62
VII. REFERENCIAS	63
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desvío de alambrado para colección de heces en hembras.....	43
Figura 2: Medición corporal.....	48
Figura A.1: Medición del largo del cuerpo.....	76
Figura A.2: Medición del perímetro torácico.....	76
Figura A.3: Registro de peso.....	76
Figura A.4: Arnese colocados en alpacas	76
Figura A.5: Ingresando a la cámara de acumulación de gases por la mañana.....	76
Figura A.6: Ingresando a la cámara de acumulación de gases por la noche.....	76
Figura A.7: Saliendo de la cámara de acumulación de gases por la mañana.....	77
Figura A.8: Saliendo de la cámara de acumulación de gases por la noche.....	77
Figura A.9: Medición de metano entérico.....	77
Figura A.10: Ventilación mecánica forzada	77
Figura A.11: Colección de heces en machos.....	77
Figura A.12: Colección de heces en hembras.....	77
Figura A.13: Macho fistulado consumiendo pastos naturales.....	78
Figura A.14: Hembras consumiendo pastos naturales	78
Figura A.15: Colección de dieta consumida.....	78
Figura A.16: Secado de dieta consumida.....	78

Figura A.17: Pesado de heces frescas.....	78
Figura A.18: Muestreo de heces (50g).....	78
Figura B.1: Secado en estufa (60°C).....	78
Figura B.2: Molido de muestra.....	78
Figura B.3: Prueba de cuadrante	79
Figura B.4: Análisis de selectividad	79
Figura B.5: Comparación de sillu sillu en estereoscopio.....	79
Figura B.6: Comparación de pilly en estereoscopio.....	79
Figura B.7: Pesado de muestras.....	80
Figura B.8: Ebullición en HCl 2N.....	80
Figura B.9: Filtrado y lavado de muestras.....	80
Figura B.10: Filtrado y secado de muestras en estufa (60°C).....	80
Figura B.11: Muestras incineradas.....	80
Figura B.12: Ceniza insoluble en ácido en campana de desecación.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de ingesta por alpacas pastoreadas en bofedales por época (%).....	17
Tabla 2: Análisis químico de la <i>Festuca dolichophylla</i>	18
Tabla 3: Análisis químico del <i>Calamagrostis sp.</i>	18
Tabla 4: Emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica (FAO 2004)	31
Tabla 5: Poblaciones globales de especies animales domésticas y emisiones de metano en 1990 (US EPA, 1994)	31
Tabla 6: Distribución muestral de alpacas para medición de metano y colección de ingesta.....	37
Tabla 7: Emisión de metano entérico en alpaca.....	55
Tabla 8: Selectividad de dieta consumida % en alpacas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas.....	58
Tabla A.1: Determinación de materia seca por animal en alpacas machos.....	81
Tabla A.2: Determinación de materia seca por animal en alpacas hembras...	81
Tabla A.3: Determinación de fibra detergente neutro (FDN) en heces de alpacas machos.....	81
Tabla A.4: Determinación de fibra detergente neutro (FDN) en heces de alpacas hembras.....	82
Tabla A.5: Determinación de fibra detergente neutro (FDN) en dieta consumida en alpacas machos.....	82
Tabla A.6: Determinación de fibra detergente neutro (FDN) en dieta consumida en alpacas hembras.....	82
Tabla A.7: Peso de heces totales de 3 días en alpacas machos.....	83
Tabla A.8: Peso de heces totales de 3 días en alpacas hembras.....	83

Tabla A.9: Determinación de ceniza insoluble en dieta consumida en alpaca macho.....	84
Tabla A.10: Determinación de ceniza insoluble en dieta consumida en alpaca hembra.....	84
Tabla A.11: Determinación de ceniza insoluble en heces en alpacas machos.....	85
Tabla A.12: Determinación de ceniza insoluble en heces en alpacas hembras.....	85
Tabla B.1: Emisión de metano entérico en alpacas Huacaya macho.....	86
Tabla B.2: Emisión de metano entérico en alpacas Huacaya hembras.....	86
Tabla B.3: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca macho 1.....	87
Tabla B.4: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca macho 2.....	87
Tabla B.5: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca macho 3.....	88
Tabla B.6: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca macho 4.....	88
Tabla B.7: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca hembra 1.....	89
Tabla B.8: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca hembra 2.....	90
Tabla B.9: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca hembra 3.....	90
Tabla B.10: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca hembra 4.....	90
Tabla B.11: Promedio de producción de metano entérico en alpacas machos.....	91



Tabla B.12: Producción de metano entérico en alpacas hembra.....**91**

Tabla B.13: Selectividad de especies vegetales (%) por alpaca macho al
pastoreo en praderas andinas.....**92**

Tabla B.14: Selectividad de especies vegetales (%) por alpaca hembra al
pastoreo en praderas andinas.....**92**

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AGVs: Ácidos grasos volátiles.

C₁: Compartimento 1.

C₂: Compartimento 2.

CH₄: Metano

CIA: Ceniza insoluble en acido.

CO₂: Dióxido de carbono

CSA: Camélidos sudamericanos

DMS: Digestión de materia seca.

FDA: Fibra detergente neutro.

FTIR: Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

GEI: Gases de efecto invernadero

GOSAT: Greenhouse Gases Observing Satellite

H°: Humedad

H₂: Hidrógeno.

HCL: Ácido clorhídrico.

IMS: Insumo de materia seca

MF: Materia fresca

MmHg: Milímetro de mercurio

MS: Materia seca

N₂O: Óxido nitroso

OH: radical hidroxilo

PDA: Asistente personal digital

pH: Potencial hidrógeno

Ph: Presión atmosférica

ppmv: Volumen partes por millón

ppb: Partes por billón

R: Constante universal de los gases.

SF₆: Hexafluoruro de Azufre

T°: Temperatura

Tg: Teragramos

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el Centro de Investigación y Producción La Raya de la Universidad Nacional del Altiplano Puno ubicado a más de 4200 msnm. Los objetivos fueron determinar metano entérico de alpacas al pastoreo en praderas naturales, selectividad e IMS entre machos y hembras, esto se logró utilizando el Gasmeter DX-4030, a través de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), donde se determinó por monitoreo de las concentraciones de metano emitido por los animales dentro de una cámara de acumulación de gases donde permanecieron las alpacas durante un período de tiempo determinado (20min). Se utilizó un total de 10 alpacas adultas de la raza Huacaya procedentes del mismo centro; 4 machos y 4 hembras fueron utilizados para la medición de este gas (CH₄) y la recolección de heces para determinar la digestibilidad de la dieta consumida, y en los animales restantes (1 macho y 1 hembra) se realizaron fístulas en el esófago para saber qué tipo de pastos son los más deseados en esta época de lluvias que son los responsables en la emisión de CH₄, donde se realizó el método indirecto con ceniza insoluble para determinar IMS. Los resultados indican que las alpacas al pastoreo emiten metano a la atmósfera con un promedio de 17.7 ± 1.3 CH₄ g/d/alpaca con un consumo de materia seca de 1114.5 ± 291.4 g/d/alpaca y la selectividad de pastos fue de la especie *Festuca dolichophylla* 25.3% y *Calamagrostis spp* 25.0% donde los machos emiten un promedio de 18.6 ± 1.2 CH₄ g/d y las hembras 16.8 ± 2.1 CH₄ g/d. El consumo de materia seca fue de 1320.6 ± 263.4 g/d/macho y 908.5 ± 160.7 g/d/hembra. Donde se concluye que los machos emiten similar cantidad de CH₄ entérico y selectividad de pastos naturales que las hembras, aunque éstas consumieron

mas *Bromus unioloides* 21.7% no existe diferencia significativa entre machos y hembras; sin embargo, si existe diferencia sinificativa en el consumo de materia seca entre ambos sexos

PALABRAS CLAVE: Alpaca, fístula, Gasmeter DX 4030, IMS, metano.

ABSTRACT

The present work was developed in the Research and Production Center La Raya of the National University of the Puno Altiplano located at more than 4200 masl. The objectives were to determine the enteric methane of the alpacas to grazing in natural grasslands, selectivity and IMS between males and females, this was achieved using the Gasmeter DX-4030, through Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), where it was determined by monitoring the concentrations of methane emitted by the animals within a gas accumulation chamber where the alpacas remained for a certain period of time (20min). A total of 10 adult alpacas from the Huacaya breed were used from the same center; 4 males and 4 females were used for the measurement of this gas (CH₄) and the collection of feces to determine the digestibility of the diet consumed, and in the remaining animals (1 male and 1 female) fistulas were made in the esophagus to know What kind of pastures are the most desired in this rainy season that are responsible for the emission of CH₄, where the indirect method was performed with insoluble ash to determine IMS. The results indicate that alpha grazing emits methane into the atmosphere with an average of 17.7 ± 1.3 CH₄ g / d / alpaca with a dry matter consumption of 1114.5 ± 291.4 g / d / alpaca and the pasture selectivity was of the species *Festuca dolichophylla* 25.3% and *Calamagrostis* spp 25.0% where males emit an average of 18.6 ± 1.2 CH₄ g / d and females 16.8 ± 2.1 CH₄ g / d. Dry matter intake was 1320.6 ± 263.4 g / d / male and 908.5 ± 160.7 g / d / female. Where it is concluded that males emit similar amounts of enteric CH₄ and selectivity of natural grasses than females, although they consumed more *Bromus unioloides* 21.7% there is no significant difference between males and

females; however, if there is a significant difference in dry matter intake between the sexes

Key Words: Alpaca, fistula, Gasmeter DX 4030, DMI, methane

I.INTRODUCCIÓN

El metano (CH_4), después del dióxido de carbono (CO_2), es el gas carbonado de efecto invernadero más potente 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). Y la fibra constituye el substrato metanogénico por excelencia (Moe y Tyrell, 1979), cuyo contenido en dieta y digestión del animal están positivamente correlacionados con la producción de metano (Pedreira et al., 2013).

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 varían en relación inversa con la altitud, siendo mayor el volumen de las emisiones.

El trabajo tuvo como objetivo determinar las emisiones entérico en alpacas alimentados al pastoreo en praderas naturales del CIP- La Raya, sobre los 4 mil metros de altitud, además de determinar la selectividad de pastos naturales e insumo de materia seca (IMS), comparando entre machos y hembras.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La alpaca

La alpaca, conocida como miembro del género *Lama* (*Lama pacos*), y renombrada como integrante del género *Vicugna* (*Vicugna pacos*), es una especie de camélidos adaptada a ambientes de tierras altas de los andes con una conducta alimenticia, estructura y función de su tracto digestivo adaptado a pastizales, capaz de seleccionar una dieta de alta calidad cuando sea disponible y de sobrevivir sobre forrajes fibrosos de baja calidad, remarcable productora de fibra y carne, que contribuye efectivamente al bienestar y subsistencia de las poblaciones de esos ambientes duros y difíciles (Engelhardt *et al.*, 1986 a,b).

Existe confusión si los camélidos son rumiantes o pseudo-rumiantes. La confusión deriva de la comparación de su estómago con el del vacuno, ovino o caprino (Vallenas *et al.*, 1971). Por lo general, consideran rumiante al vacuno, ovino y caprino, por tener estómago de cuatro cámaras (Hofmann, 1989) y pseudo-rumiante al camello, llama y alpaca, por tener estómago de tres cámaras (Bello *et al.*, 2012). La confusión se complica cuando consideran también pseudo-rumiante al hipopótamo enano (Liggenstoffer *et al.*, 2010), pecarí de collar (Langer 1979), conejo (Etim *et al.*, 2014) y hámster (Williams y Taylor, 1985).

Por definición, el rumiante es un animal mamífero que obtiene sus nutrientes a partir de alimentos vegetales por fermentación microbiana en su estómago, después de remasticar el alimento consumido. Los camélidos, al margen de su estómago de tres cámaras (Bello *et al.*, 2012),

remastican el alimento ingerido, por tanto, realizan la función rumia, similar a como lo hacen los vacunos, ovinos y caprinos.

Si el concepto de pseudo-rumiante fuera correcto para los camélidos, estos deberían tener limitaciones para la digestión de los forrajes y el uso de los productos de la digestión; sin embargo, los estudios han mostrado que estas especies tienen similar (Liu et al., 2009) o mejor capacidad digestiva que los ovinos (Pinares et al., 2003; San Martín y Bryant, 1989; Warmington et al., 1989; Dulphy et al., 1994).

La población de alpacas se encuentra distribuida en la región sur y centro del Perú, teniendo a Puno como la primera en orden de importancia con un millón 459,903 ejemplares. Y con 3 millones 685,516 cabezas de alpaca, distribuidas en todo el territorio nacional. Perú posee en la actualidad el 87% de la población mundial de este camélido sudamericano (INEI, 2012).

2.2 Consumo de alimento en alpacas

La alpaca en pastoreo, es altamente selectiva y consume los alimentos de su preferencia de acuerdo a la época del año. En época seca, prefiere dietas de *Eleocharis albibracteata* (Quemillo), *Poa spp.* (K'acho), *Calamagrostis heterophylla* (Crespillo), *Calamagrostis vicunarum* (Ñapha pasto), *Alchemilla pinnata* (Sillu sillu), *Muhlebergia fastigiata* (Grama dulce), y *Carex spp.* (Qoran qoran); las especies de menor abundancia, pero de alta preferencia son *Poa gymnantha* (Q'acho), *Muhlebergia peruviana* (Ñapha), *Stipa brachiphylla* (Grano ichu), *Ranunculus limoselloides* (Isidro), y *Trifolium amabile* (Layo); mientras que *Festuca*

dolichophylla (Chilliwa), a pesar de su abundancia en las praderas, tiene un bajo índice de preferencia; y más bien consumen considerables cantidades de semillas de gramíneas (Bryant y Farfán, 1984).

La composición botánica y la calidad de la dieta, varía de acuerdo a la estación del año y el sitio de pastizal (bofedal o altiplano). A medida que la estación seca progresa, las dietas de bofedales están formadas mayormente por juncáceas y ciperáceas (78%), mientras que las dietas de altiplano, son predominantemente gramíneas (68%).

Tabla 1: Composición química de ingesta por alpacas pastoreadas en bofedales por época (%).

Composición	n	Lluviosa	Seca	Signific.
Materia seca	6	9.04±0.27	10.65±0.63	**
Materia orgánica	6	89.34±1.67	88.25±1.45	ns
Proteína	6	17.41±2.55	12.75±1.93	**
Extracto etéreo	6	7.29±0.76	7.47±1.09	ns
Fibra cruda	6	25.16±5.34	29.86±5.48	ns
ELN ¹	6	39.46±8.85	38.16±8.67	ns
FDN ²	6	60.57±7.22	62.66±4.52	**

Mayta (2005).

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

Fuente 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

Fuente 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.

El consumo de materia seca en pastoreo, estimado a través de cánulas esofágicas de alpacas al pastoreo en *Festuca dolichophylla/Muhlenbergia fastigiata*, en La Raya, Perú, a 4200 metros de altitud, varía entre las

estaciones del año. En la estación seca (Octubre), el consumo fue de 60.5 $g/W_{kg}^{0.75}$, mientras que en la estación húmeda (Febrero) fue de 53.7 $g/W_{kg}^{0.75}$ (Reiner et al., 1987). El nivel de consumo de alimento expresado en kg de materia seca por día es de 2% en alpacas lo que expresando en relación al peso metabólico sería entre 35 a 38 gramos de materia seca por kg ($P^{0.75}$) (San Martín, 1991)

El consumo de materia seca varía de 1.08 a 2.40% del peso vivo, con un promedio de 1.83%, el cual es similar al de la llama cuando el consumo se ajusta al peso corporal metabólico, y 20% menor que la capacidad de consumo del ovino (San Martín y Bryant, 1989).

El consumo de materia seca en alpacas, depende de la composición, disponibilidad y digestibilidad del forraje (López et al., 1998; Trabalza et al., 2001); depende también, del contenido de proteína (San Martín y Bryant, 1989), y fibra detergente neutra.

En el caso de las crías depende de la alimentación láctea materna, en forma exclusiva hasta los 3-4 meses y mixta ingiriendo leche y pasturas hasta los 6 meses de edad, por lo que la capacidad de crecimiento de ellas depende, en los primeros momentos de su vida neonatal, de la cantidad y calidad nutricional de la leche materna (Raggi et al., 1995).

2.3 Fisiología digestiva de la alpaca

2.3.1 Digestión en la boca

Utilizan los labios delgados y móviles el propio que sus incisivos mandibulares y el rodete dentario superior bastante duro para la prehensión de los alimentos. Cada lado del labio tiene movimiento de forma independiente, los alimentos son sometidos luego a la división y trituración por acción de los premolares, molares y de los movimientos de la mandíbula tanto en sentido vertical, como horizontal (San Martín, 1991).

2.3.2 Digestión en el estómago

La rápida absorción es facilitada por la periódica protrusión de los sacos glandulares, cambiando de este modo la consistencia del semifluido presente en estas regiones, el contenido de la porción dorsal de C₁ es relativamente seco, la parte ventral del C₁ y C₂ contienen una ingesta semifluida y acuosa con respecto en el omaso del ovino y cabras aun considerando las diferencias en peso corporal (Engelhardt y Rubsamen, 1979).

La función principal de esta regio glandular en el estómago de los CSA, es permitir una rápida absorción de solutos, agua y también indican que la absorción es de 2 a 3 veces mayor a lo observado en el rumen del ovino (Cumming 1972).

La alpaca a nivel de los compartimentos C₁ y C₂ de su estómago posee un mayor tamponamiento, debido a la relación entre el flujo

de saliva y el tamaño de estos compartimentos que permiten una mayor contracción de elementos y compuestos tampones por unidad de volumen del contenido estomacal (Ortiz, 1971).

2.3.3 Motilidad

Los ciclos de rumia de los primeros son más frecuentes y las funciones de secreción, absorción y mezcla de los alimentos asignados de las bolsas glandulares están ausentes en los rumiantes, donde el epitelio del rumen, retículo y omaso no tienen funciones secretoras (Van Soest, 1982).

2.3.4 Fermentación

La alpaca está prevista por mecanismos tamponantes más eficientes que el ovino, y además se basan en el hecho de que el ovino y la alpaca a similares concentraciones de AGV tuvieron diferentes valores de pH siendo el pH en ovinos más bajo que en la alpaca (Vallenas, 1973). Este factor permitiría a los CSA, tener una mayor producción bacteriana debido a que las condiciones ácidas incrementan los requerimientos energéticos de mantenimiento de las bacterias presentes en el estómago y además las bacterias celulolíticas son más sensitivas y tienen una menor producción a un bajo pH (Russell, 1985).

Con respecto a la concentración de los diferentes AGV, no existen mayores diferencias en las concentraciones de estos ácidos como se observaron en un estudio de la producción de AGV producidos por la fermentación bacteriana en el C₁ y C₂ en llamas y guanacos,

encontrando altos niveles de concentración de AGV, entre 1.5 y 2 horas después de la ingesta, luego de 5 horas la concentración de AGV permanecía todavía por encima de los niveles de pre-ingestión de alimento, como los observados en los rumiantes avanzados (Vallenas y Stevens, 1971).

2.3.5 Tiempo de retención

El tiempo de retención del alimento en alpacas es de 50.3 horas en comparación a ovinos que fue de 43 horas (Florez, 1973). La más rápida tasa de pasaje de la fase líquida en CSA comparada con la de rumiantes avanzados, puede ser producto de la dieta en relación entre el flujo salival y el tamaño de C_1 y C_2 en los CSA (Ortiz, 1971).

La principal determinante de la tasa de pasaje de la fase líquida parecería ser la cantidad de saliva deglutida, el menor tiempo de retención de la fase líquida en CSA, que podría traducirse en una mayor eficiencia del crecimiento microbial, en el C_1 y C_2 asegurando que solo una mínima cantidad de energía sea destinada para mantenimiento de la población microbial (Owens y Issacson, 1977).

2.4 Digestibilidad de los alimentos en la alpaca.

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). La alpaca necesita una cantidad similar de alimento que el ovino, sin embargo, es 37% más eficiente en la extracción de energía y proteína del alimento de baja calidad, debido a un menor tiempo de pasaje (63 h vs 41 h) por el canal alimentario, que es 50% más largo que el de ovino y el doble que el de vacuno (Lawrie, 2004).

La tasa de contracciones de los pre estómagos es mayor a la observada en otros rumiantes, sin embargo, la velocidad de tránsito por el digestivo es menor, estos dos hechos fisiológicos favorecen una mezcla eficiente con un mayor tiempo de retención, lo que sumado a una fermentación en un ambiente favorable a microorganismos celulolíticos hace a estas especies más eficientes en fermentación de pastos toscos y marginales que otros rumiantes como la oveja y la cabra (Raggi y Crossley, 1990).

2.5 Arqueas del rumen

Se han identificado varias especies de metanógenos en los animales rumiantes, siendo *Methanobrevibacter millerae* la especie predominante en el estómago de la alpaca (St-Pierre y Wright, 2012). Las archaeas 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 (H_2) (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; Liu y Whitman, 2008; Ferry, 2011).

Las arqueas metanógenas son beneficiarias directas del hidrógeno (H_2) que genera la fermentación de los alimentos por los otros microbios del rumen. La mayoría de especies de metanógenos puede crecer utilizando H_2 y a menudo formato como sus fuentes de energía. Su metabolismo les permite obtener energía por reducción de dióxido de carbono (CO_2) con los electrones que derivan de la oxidación de H_2 , (o formato) produciendo CH_4 (Janssen y Kirs, 2008). 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).

2.6 Metano entérico

El metano entérico (por fermentación del tubo digestivo) es el gas digestivo más abundante que eliminan los animales rumiantes, como producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos del dominio Archaea que viven en el rumen, con predominio del género *Methanobrevibacter*, un grupo anaerobio estricto, capaz de crecer utilizando H_2 como fuente de energía y electrones que derivan del H_2 para reducir CO_2 a CH_4 (Janssen y Kirs, 2008). En el rumen, la formación de metano es la principal forma de eliminación de hidrógeno (Moss *et al.*, 2000). La metanogénesis (biometanación) es el paso final de la descomposición de la biomasa. Los Archaea son un grupo filogenético distinto a los eucariotas y bacterias, a pesar de vivir en estrecha asociación con bacterias anaeróbicas (Hook *et al.*, 2010; Min *et al.*, 2014).

Las archaeas metanógenas no utilizan oxígeno para respirar (el oxígeno inhibe su crecimiento), carbono usa 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: (a) a partir de la reducción de dióxido de carbono (CO_2) con hidrógeno (H_2) (ruta hidrogenotrópica), (b) a partir de compuestos metilados tales como el metanol y aminas metiladas (ruta metilotrópica), y (c) a partir de la escisión del acetato (ruta acetoclástica) (Thauer *et al.*, 2008).

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. En el rumen hay dos grupos grandes 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 las digestores de almidón prefieren un ambiente más ácido a pH de 5,2 a 6 (Ishler *et al.*, 1994).

El pH más bajo se registra 1 hora después de la alimentación (Richter *et al.*, 2010). En rumiantes, un 90% de la producción de metano ocurre en el tracto anterior, con la tasa más alta de producción después de la alimentación (Kebreab *et al.*, 2006). El 90% del metano producido en el tracto posterior es absorbido y espirado a través de los pulmones, mientras que el 10% restante se excreta a través del recto (Murray *et al.*, 1976). La pérdida rectal de metano es de 7% en vacas (Grainger *et al.*, 2007) comparado al 1% en ovinos (Murray *et al.*, 1976).

La mayor producción de metano (19 g/h) ocurre después de la alimentación, mientras que la menor producción (8 g/h) ocurre justo antes de la alimentación en vacas lecheras alimentadas con raigrás fresco y grano de cebada (Grainger *et al.*, 2007).

2.7 Factores que afectan la producción de metano

2.7.1 Factor dieta:

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, son los factores que influyen la producción de metano. Los dos principales factores responsables de las variaciones en la producción de metano son la cantidad de glúcidos fermentados en el rumen, lo cual implica diversas interacciones dieta-animal, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos glúcidos 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; Ominski y Wittenberg, 2004). 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). 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. (Demeyer y Hendrickx, 1967).

2.7.2 Factor ambiente:

La emisión 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).

En conclusión, las emisiones de metano entérico son las más altas cuando los animales son sometidos a forrajes de baja calidad y con

limitadas oportunidades para la selección, es decir, forraje escaso y de pobre calidad (Ominski y Wittenberg, 2004).

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).

2.7.4 Factor fisiológico:

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 (McAllister *et al.*, 1996).

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 CH₄ 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 CH₄ producido (Janssen, 2010).

2.7.5 Factor genético:

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). 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 ingesta en el rumen (Hegarty, 2002).

2.8 Ganadería y contaminación ambiental

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 (Jha *et al.*, 2011). 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 y 298 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 (NOAA, 2013). 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).

Tabla 4: Emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica (FAO 2004)

Región/pais	Emisiones (millones de toneladas de CH ₄ , por año y fuente)					Total
	Ganado de leche	Otro ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	
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	0,48	8,85
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	0,98	0,20	5,70
Oceanía y Japón	0,71	1,80	0,00	0,73	0,02	3,26
Europa oriental 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	85,63
Sistemas de producción pecuaria						
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

Tabla 5: Poblaciones globales de especies animales domésticas y emisiones de metano en 1990 (US EPA, 1994).

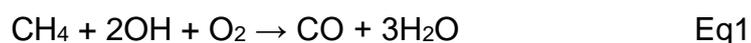
Especie	Población (en miles)	Emisiones (Tg/año)
Bovinos	1.279.257	58,1 (72,8 %)
Bubalinos	140.758	7,7 (9,6 %)
Ovinos	1.190.500	7,6 (9,5 %)
Caprinos	557.03	2,8 (3,5 %)
Camellos	19.45	0,9 (1,1 %)
Cerdos	856.763	1 (1,2 %)
Equinos	60.92	1,1 (1,4 %)
Mulas/Burros	58.396	0,6 (0,8 %)
Totales	N/A	79,8

Estimaciones recientes hechas por medio del modelo ISM, desarrollado en la UAE-Toluca, estado de México, citado por Ku (2012) han estimado un valor de 2.02 Tg/año, para las emisiones de metano ruminal proveniente de los bovinos en México.

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 (CH_4) 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 539Tg 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 CO_2 y agua (Seiler, 1974). La tasa de remoción de metano atmosférico es de 500Tg/año. El radical OH se forma por foto disociación del ozono troposférico (O_3) por la luz ultravioleta en presencia de vapor de agua (Fiore, 2014). A diferencia del CO_2 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 CH₄ resulta de la diferencia entre la tasa de emisión y la tasa de remoción en el mismo período.

2.10 Metodologías para medir las emisiones de metano en rumiantes

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).

Para las mediciones como tal de metano se han utilizado técnicas y/o equipos tales como: a) la cromatografía de gases; b) los analizadores de gases infrarrojos con detección fotoacústica; c) la espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR); d) la 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).

2.11 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 n de infrarrojos única 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)

2.12 Antecedentes de uso del equipo Gasmeter DX – 4030

El efecto del nitrato y azufre adicional en la dieta sobre la producción de metano en el ganado.

El método utilizado para la medición de la producción de metano fue la técnica CO₂, que se basa con CO₂ como gas trazador. La cantidad de metano producido se puede calcular mediante la concentración de CO₂, CH₄ y relación de CH₄ entre CO₂, 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 DX4030 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).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

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 coordenadas 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, en el mes de diciembre del 2016. El clima fué variado, registrándose una temperatura promedio de 10.0°C, con una mínima promedio de 1.1°C y una máxima promedio de 18.0°C., y con un promedio de humedad relativa de 54% (SENAMHI, 2016).

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 febrero y marzo 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 (SENAMHI, 2009).

3.2 Instalaciones

La instalación básica estuvo conformada por una cámara de respiración de circuito cerrado de 2 m (ancho) x 2.0 m (altura) x 2.5 m (longitud), de material policarbonato totalmente sellada (Goopy et al., 2011).

3.3 Animales

El experimento utilizó 5 machos y 5 hembras adultas, las mismas que fueron distribuidas según la tabla 6.

Tabla 6. Distribución muestral de alpacas para medición de metano y colección de ingesta.

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

3.4 Alimentación

La alimentación de las alpacas estuvo conformada por pastos naturales de la asociación (Fedo-Cavi) del CIP La Raya (Bryant y Farfan, 1984). El consumo de alimento fue al pastoreo libre durante todo el día (8-16h), sujeto al sistema de alimentación del CIP La Raya.

3.5 Materiales y equipos

3.5.1 Materiales

Para el experimento se utilizará un conjunto de materiales para la fase de campo y laboratorio tales como:

- Silicona y cinta de embalaje para sellar la cámara de respiración
- Cánula esofágica
- Bolsas colectoras

- Sogas, soguillas.
- Cuaderno de apuntes
- Material fotográfico
- Tablero de vidrio (cuadrante) de 50cm²
- Materiales de vidrio y reactivos de laboratorio (laboratorio de Nutrición y alimentación animal).

3.5.2 Equipos

- Balanza electrónica analítica de precisión con capacidad de 200/0.0001 g para pesar muestras de heces y dieta del animal.
- Balanza electrónica digital con plataforma con capacidad de 500/0.1 kg para pesar animales.
- Estufa para desecar las muestras
- Ablandador de agua (para obtener agua des ionizada)
- Mufla
- Digestor de fibra
- Estereoscopio Leica S8 APO
- Analizador de gases (Gasmeter DX-3040)

3.6 Metodología

El trabajo consistió en realizar las mediciones de las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas al pastoreo en praderas nativas de los andes de Puno en un ámbito de extrema altitud (4200m), en un enfoque de investigación experimental. Donde hubo dos etapas: pre-experimental y experimental.

3.6.1 Etapa pre-experimental

3.6.1.1 Fístula esofágica

El insumo de alimento se determinó a partir de cánulas esofágicas instaladas quirúrgicamente en un macho y una hembra.

Esta técnica fue descrita por Van Dine y Torell (1964), modificado por Bautista (2008).

- Se acondicionó un lugar para realizar la intervención quirúrgica, siendo al aire libre para mejor visión por la luz natural
- Se sujeta al animal y se coloca de decúbito lateral derecho en la mesa de operación.
- Limpieza de la piel a nivel de la parte media del cuello ya un día antes rasurada de un área de 20 x 10 cm aproximadamente.
- Desinfección con alcohol yodado a nivel tópica.

- Administración local y subcutánea del anestésico por infiltración en forma de “L” (lidocaína al 2%) en dosis suficiente hasta la pérdida reversible de sensibilidad de la región (15-25 ml)
- Una vez perdida la sensibilidad (10 a 15 minutos), se realizó la incisión de la piel hasta localizar el esófago, teniendo cuidado con lesionar 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 cáñamo en el cuello del animal para evitar que se extravíe.
- Las curaciones fueron en forma diaria administrándoles antibióticos, analgésicos, antipiréticos, antiinflamatorios y curaciones topicales con violeta de genciana.
- Durante la recuperación, se les introdujo en un corral de pastos cultivados (rye grass y trébol blanco), para evitar obstrucción de la ingesta; y un riachuelo con agua fresca.

La recuperación de estos dos animales tardó aproximadamente un mes e inmediatamente se pudo empezar con el periodo de acostumbramiento.

3.6.1.2 Periodo de acostumbramiento

Esta fase se realizó durante 3 días con la finalidad de no producir estrés ni inconvenientes a la hora de realizar la etapa experimental, esto se hizo con los siguientes procedimientos:

- Ingreso a la cámara de acumulación de gases.
- Colocación de arnés y bolsas de colección de heces
- Colocación y colección de bolsas de ingesta en animales fistulados (Van Dyne y Torell, 1964; Booyse et al., 2009)

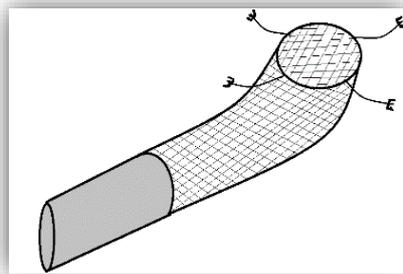
3.6.2 Etapa experimental

3.6.2.1 Fase de campo:

➤ Colección de heces

Para la medición de la excreción de heces, se les colocaron los arneses una noche antes y su bolsa de colección a cada uno (Pfister, 1985; Yiakoulaki y Nastis, 1998), para luego ser retiradas por la mañana (6 h) para registrar el peso de hece tal cual y empezar con la medición de metano e inmediatamente volverlas a poner para retirarlas por la noche (18 h) antes de la medición de metano. Todo este procedimiento por 3 días consecutivos. Las heces fueron pesadas, mezcladas y muestreadas (50 g) por animal, secadas al medio ambiente, embolsadas en papel y rotuladas.

Sabemos que la anatomía del sistema urinario de hembras y machos no es igual, si bien se utilizaron en ambos sexos bolsas de lona, la colección en hembras no fue la misma, ya que se debe impedir que las heces se contaminen con la orina. Por lo que fue necesario diseñar un desvío de la orina con alambrado y tubo de PBC que conectaba a la bolsa de colección, donde e tuvo éxito.



Elaboración propia

Figura 1. Desvío de alambrado para colección de heces en hembras

➤ **Colección de la ingesta**

Durante el período de colección fecal, se muestreó también la dieta consumida, mediante cánula esofágica instalada quirúrgicamente a los animales. 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), por unos 15 minutos, durante tres días consecutivos (Van Dyne y Heady, 1965). Las muestras fueron secadas al medio ambiente, mezcladas y rotuladas para su posterior análisis (selectividad, composición de FDN y CIA).

Para todo esto, se construyó un corral de paneles metálicos en medio del campo para un mejor manejo, donde introducíamos a los animales en la mañana y tarde para colocar y retirar sus bolsas de colección.

➤ **Determinación de las emisiones de metano entérico (CH₄)**

Los animales ingresaron a la cámara de respiración uno por uno, a partir de las 6:00 horas (2h antes del pastoreo) y a las 18:00 horas (2h después del pastoreo), dado que la mayor producción de CH₄ ocurre entre 2 a 4 horas después del consumo (Johnson et al. 1994) y permanecieron en el interior dentro de la cámara durante 20 minutos. El aparato, previa calibración con el aire atmosférico, fué colocado en el interior de la cámara de respiración con el sensor ubicado a 1.20m, de altura. El control del aparato se realizó desde el exterior por sistema inalámbrico (Bluetooth) de un PDA (personal digital assistant). La masa de aire contenida en la cámara de respiración se analizó cada 5 minutos, 3 veces por alpaca y por sesión, tomándose como dato final la medición del minuto 20, con la asunción de que el animal es la única fuente de metano (Broucek, 2014b), que el metano (como lo establece la primera ley de Fick), fluye desde una región de alta concentración hacia una región de baja concentración (Jaynes y Rogowski, 1983), con un coeficiente de difusión de 0.2168 m²/s en el aire, a 298.2°K y 1 atm de presión (Cowie y Watt, 1971). Luego de retirar al animal, los gases fueron expulsados de la cámara por ventilación mecánica forzada durante 10 minutos, hasta disipación total. El manejo de los animales se realizó con arreglo al protocolo de medición de las emisiones de metano en ovinos (Williams et al., 2007). 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 (EPA, 1978), 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:

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

Donde: P_h = presión atmosférica en altitud (mm Hg)

m^3 = volumen de la cámara de medición.

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.

➤ **Determinación del volúmen corporal**

El volumen corporal de los animales se estimó mediante la fórmula adaptada para camélidos, la fórmula del cilindro (Paputungan 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), 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. Al mismo tiempo se registraron los pesos vivos de los animales (Kg) con una balanza electrónica.

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

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

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

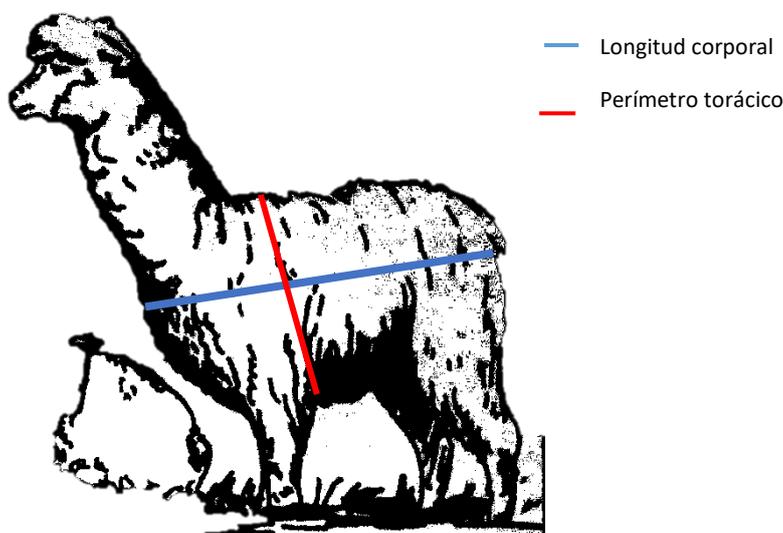


Figura 2. Medición corporal

Donde

Y = volumen corporal (m^3)

x = peso corporal (Kg).

3.6.2.2 Fase de laboratorio:

Las muestras de la dieta colectada de la cánula esofágica fueron analizadas por la prueba del cuadrante 10x10 para así sacar un porcentaje de la selectividad de pastos consumidos por el animal. Luego fueron molidas y filtradas en un tamiz de 1 mm 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).

Las muestras de dieta y heces fueron analizadas para determinar FDN y contenido de ceniza insoluble en ácido. La

materia seca se determinó por secado en horno de convección a 60°C hasta peso constante; la fibra detergente neutro, por el método de Van Soest et al. (1991); y la ceniza insoluble en ácido, por tratamiento de las cenizas con una solución de HCl 2N (Van Keulen y Young, 1977).

➤ **Determinación del consumo de materia seca en pastoreo**

El insumo de materia seca (IMS) 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).

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

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).

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

Donde:

DMS= Digestibilidad de materia seca

➤ **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 con agua destilada caliente y la re-incineración final (Van Keulen y Young, 1977).

Procedimiento:

- Pesar 5g de muestra seca y molida en crisol tarado de 50 ml.
- Secar toda la noche a 100°C, enfriar los crisoles en desecador.
- Incinerar la muestra a 600°C por 6 horas.
- Transferir la ceniza al vaso Berzelius de 600ml, adicionar 100ml de HCl 2N.
- Hervir durante 5 minutos sobre una rejilla de fibra.
- Filtrar el hidrolizado caliente a través de un papel filtro Whatman 41.
- 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:

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

➤ 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.*, 1991), 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 insumo de materia seca y el tiempo de rumia, además de la producción de metano.

El método del Peter Van Soest**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. Cuide que la solución no rebalse.
- 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.

Cálculo:

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

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.):

$$\text{CH}_4 \frac{\text{mg}}{20 \text{ min}} = \text{Vol. Real cámara} * \text{mg/m}^3 \text{ base seca}$$

$$\text{CH}_4 \frac{\text{mg}}{\text{día}} = \text{mg}/20 \text{ min} * 72$$

Ya que una hora tiene 3 veces 20 minutos, en 24 horas habrá “72” 20 minutos, para que la representación sea por día, los resultados de CH₄ mg en 20 minutos se multiplicaron por 72.

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 (760mmHg y 273.15°K); sin embargo, ese volumen varía cuando la presión y temperatura varíen por efecto de la altitud (Scott, 2011), de manera que el

volumen de la emisión de CH₄ se estimará de acuerdo a la siguiente fórmula.

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

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)

3.7 Análisis estadístico

Los datos del consumo de materia seca y emisiones de metano entérico (CH₄) fueron evaluados mediante la prueba de diferencia de medias, la prueba de "t" (student).

$$T_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{Sp \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Donde:

\bar{X}_1 = Promedio de machos

\bar{X}_2 = Promedio de hembras

Sp = Varianza ponderada

n₁ = Número de machos

n₂ = Número de hembra

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Emisión de metano entérico en alpacas al pastoreo en praderas andinas

Los resultados en la emisión de metano en alpaca se muestran en la tabla 07.

Tabla 07: Emisión de metano entérico en alpacas macho y hembra.

Variables	Machos				\bar{X}	Hembras				\bar{X}	\bar{X} general
	1	2	3	4		1	2	3	4		
Animal											
P.V Kg	55.8	58.6	62.2	64.6	60.3	42.4	50.6	51.4	53	49.4	54.8
ppm/20min	27.9	29.6	31.5	32.2	30.3	27.6	25.4	23.6	31.4	27	28.7
mg/d	17120.1	18181.2	19368.4	19814.7	18621.1	17120.5	15809	14609.9	19540.3	16769.9	17695.5
g/d	17.1	18.2	19.4	19.8	18.6	17.1	15.8	14.6	19.5	16.8	17.7
moles/d	1.1	1.1	1.2	1.2	1.15	1.1	1	0.9	1.2	1.1	1.1
Vol, L/d	41.8	44.4	47.3	48.4	45.5	41.8	38.6	35.7	47.7	41	43.2
L/kg IMS	38.4	26.1	43.1	31.6	34.8	40.6	47.5	50	49.5	46.9	40.8
L/W^{0.75}	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.5	2.0	1.9	2.4	2.2	2.1

En la tabla podemos observar que los machos con un promedio de 60.3 \pm 3.0 Kg P.V emiten metano al medio ambiente 30.3 \pm 2.0 ppm/20min/macho equivalente a 18621.1 mg/d, 18.62 g/d, 1.16 moles/d, 45.5 L/d y 35.4 L/Kg IMS, y las hembras con un promedio de 49.4 \pm 4.7 Kg P.V emiten 27.0 ppm/20min, que representa a 16769.92 mg/d, 16.8 g/d, 1.05 moles/d, 41 L/d y 45.4 L/Kg IMS, y 2.1 L/W^{0.75}, no habiendo diferencia significativa entre ambos sexos (P>0.05).

Las alpacas al pastoreo en praderas andinas a más de 4200 msnm, entre machos y hembras, con un peso promedio general de 54.8 \pm 7.1 Kg P.V.,

sí tienen aporte al banco de metano atmosférico con un promedio de 28.7 ± 3.1 CH₄ ppm/20min/alpaca, que es equivalente a 17695.5 ± 1877.3 CH₄ mg/d/alpaca, 17.7 ± 1.9 g/d/alpaca, 1.1 ± 0.1 moles/d/alpaca, 43.2 ± 4.6 CH₄ L/d/alpaca y 40.8 ± 8.6 CH₄ L/Kg IMS/ alpaca.

Datos que son similares con Machaca (2015), donde reporta 44.2 ± 1.2 CH₄ L/d en alpacas alimentadas con forraje entero. Estos datos se asemejarían por el mismo método y equipo de medición utilizado y la altitud similar donde se midieron este gas.

(Pinares-Patiño et al., 2003) mediante trazador hexafluoruro de azufre (SF₆), Determinaron la emisión de metano (CH₄) con forrajes en alpacas y ovejas, comparando con los resultados encontrados en el presente trabajo (17.7 g/d), ligeramente menor fueron los resultados alimentados con heno de alfalfa 14.9 g/d en alpacas, y casi similar en ovejas 18.8 g/d, los datos fueron mucho mayores cuando fueron alimentados con trébol blanco, obteniendo 22.6 g/d en alpacas y 31.1 g/d en ovejas; y ligeramente mayor en pastos de Lotus 19.1 g/d en alpacas y 22.0 g/d en ovejas. La variación se debería a la metodología de medición utilizada y la alimentación.

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 408m 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 los tres valores encontrados en el presente trabajo a 4200 metros de altitud 40.8

L/Kg IMS. Las diferencias podrían atribuirse al efecto que ejerce la altitud sobre la presión atmosférica y el volumen de los gases.

Así mismo Swainson (2007) reportó una producción de metano de 18.3 g/d en ovinos adultos (mayores de un año) que fueron alimentados con ensilado, siendo ligeramente mayor que lo encontrado.

(McAllister *et al.*, 1996^a, Czerkawski, 1969; Holter y Young, 1992;) reportaron 25 a 55 litros por día en ovejas, estando los datos encontrados dentro del rango 43.2 L/d. Y mucho menores que los encontrados en ganado bovino donde producen 150 a 420 Lt de CH₄ /d.

Según Johnson y Johnson (1995), los animales producen entre 250 y 500 litros de metano al día, muy superiores a los de este trabajo.

Un estudio realizado en Uruguay por Dini (2014) en vacas lecheras al pastoreo con leguminosas y gramíneas reportó una emisión de metano con un promedio de 368 g/d. 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. Datos muy superiores a los reportados, debido a la especie de animal, ya que los vacunos son de mayor tamaño, por lo tanto, consumen más alimento.

4.2 selectividad e insumo de materia seca de la dieta consumida

Tabla 08: selectividad de dieta consumida % en alpacas de ambos sexos al pastoreo en praderas andinas

Especie	Machos	Hembras	\bar{x}
<i>Festuca dolichophylla</i>	31.0	19.7	25.3
<i>Calamagrostis spp</i>	30.3	19.7	25.0
<i>Bromus unioloides</i>	16.3	21.7	19.0
<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	13.7	18.0	15.8
<i>Eleocharis albibracteata</i>	6.0	14.7	10.3
<i>Alchemilla pinnata</i>	1.3	3.7	2.5
Otros	1.3	2.7	2.0
total %	100.0	100.0	100.0
IMS g/d	1320.58	908.472	1114.5
IMS Kg/W⁷⁵	61.0	48.8	54.9

En la tabla 08 se muestra los porcentajes de selectividad que se obtuvieron de las muestras obtenidas de la colección de la fistula esofágica realizadas a un macho y una hembra, utilizando la prueba del cuadrante de 10x10 donde, los machos consumieron en mayor cantidad *Festuca dolichophylla* 31% y *Calamagrostis spp* 30.3%, en regular cantidad *Bromus unioloides* 16.3% e *Hipochoeris taraxacoides* 13.7%, por último, *Eleocharis albibracteata* 6% y *Alchemilla pinnata* 1.3% entre otros 1.3%.

Las hembras consumieron en mayor cantidad *Bromus unioloides* 21.7%, *Festuca dolichophylla* y *Calamagrostis spp* ambos con un 19.7%, seguido de *Hipochoeris taraxacoides* 18% y *Eleocharis albibracteata* 14.7, por último, *Alchemilla pinnata* con un 3.7% entre otros 2.7%.

Entre ambos sexos, las especies: *Festuca dolichophylla* con un 25.4% y *Calamagrostis* spp con un 25% fueron seleccionados en mayor proporción y otros como *Bromus unioloides*, *Hipochoeris taraxacoides* y *Eleocharis albibracteata* con un 19%, 15.9% y 10.4% respectivamente, fueron seleccionados regularmente y por último, *Alchemilla pinnata* 2.5% y otros 2% tuvieron baja selectividad por los animales en estudio. No habiendo diferencia significativa ($P>0.05$) entre ambos sexos.

La alta selectividad de la Asociación FEDO/CAVI se debería porque fueron las especies más abundantes en el lugar de estudio.

Un estudio similar en el CIP- La Raya, Cauna (1999), con fistula esofágica, reporta resultados similares en cuanto a la selectividad de estas especies como son *Festuca dolichophylla* 48.19% y *Calamagrostis crysanta* 14.08%, mas no así el porcentaje obtenido.

Otro estudio en el CIP- La Raya, Dino (2009). Refieren datos en la cual indican que el consumo de *Festuca dolichophylla* fue de 7.98% y *Calamagrostis spp* 9.03%, siendo en menor porcentaje, al igual que la selectividad de *Bromus unioloides* 10.00%, *Hipochoeris taraxacoides* 8.44% y *Eleocharis Albibracteata* 4.78%, donde la selectividad de éstos son menor a los encontrados en el presente estudio. En cambio, *Alchemilla pinnata* 4.8% fueron los menos consumidos de entre las especies. Esta diferencia tal vez se debe a la diferente época del año que se realizó el estudio, siendo la selectividad de estos animales diferente.

Mayta (2005) con alpacas fistuladas determinó la selectividad de diferentes especies de pastos por las alpacas, donde la mayor proporción

de selección fueron *Hipochoeris stenocephala* 30.37%, *Eleocharis albibracteata* 22.19% y *Calamagrostis rigescens* 14.28%, en menor cantidad *Festuca dolichophylla* 4.82% datos muy diferentes a los encontrados, esto se debería por el diferente lugar de estudio, por lo tanto diferentes tipos de pastizales encontradas en el lugar, donde las alpacas escogen los pastos encontrados en mayor cantidad y gustosidad de estos.

El IMS fué determinado mediante la digestibilidad de CIA de la dieta consumida y heces (Anexo, Tabla A11 y A12) en machos y hembras, ya que los animales fueron pastoreados en pastos naturales, y es difícil saber a ciencia cierta cuanto de alimento consumieron, los resultados fueron presentados en g/d, donde los machos tuvieron un IMS de 1320.58 ± 263.4 g/d y las hembras 908.472 ± 160.7 g/d. Entre ambos sexos el IMS fué de 1114.5 ± 298.86 g/d. Habiendo diferencia estadística entre ambos sexos. La diferencia se debería al tamaño y peso vivo entre ambos sexos, ya que a mayor peso el consumo es mayor (Church y Pond, 1977). Y en el presente trabajo hay diferencia significativa entre los pesos de ambos sexos (Anexo, Tabla B1 y B2).

Estos datos son similares con los encontrados por Clavo (1985), donde indica que el IMS en alpacas fue de 1190 g/d, la ligera variación se debería por que las alpacas fueron alimentadas con pastos mejorados durante la época seca, por lo tanto, su consumo fue mayor.

Trabajo de investigación realizado por Mayta (2005), con alpacas fistuladas pastoreados exclusivamente en bofedal, también reporta resultados similares con un IMS de 1123 g/alpaca/d.

Otro trabajo realizado en el CIP La Raya, por Loayza (2006), durante los meses de febrero y marzo, utilizaron alpacas machos de 3.5 años de edad, encontraron valores menores a los del presente trabajo 1207.87 g/alpaca/día que, a pesar de la edad, consumieron menos que los que los animales del presente estudio, esto se debería a la época del año realizado, ya que fueron en la época de lluvia, por lo tanto, el IMS es menor.

(Ravillet y col, 1985) en IVITA La Raya en el Cusco, determinó que el IMS en pastos nativos es de 1.2 ± 0.28 Kg/d, ligeramente mayor a lo reportado en este trabajo, donde el consumo de MS fue de 1.114 Kg/d, esto podría deberse a que los pastos son similares en esta zona, y realizado en la misma época del año.

(Paredes et al 2014) indican el IMS que varió de 36.34 a 45.67 del peso metabólico, resultados que son menores a los encontrados en este trabajo, esto debido al tipo de alimentación, ya que fueron alimentados con mayor cantidad de fibra y por lo tanto estos animales consumieron menor cantidad de alimento.

V. CONCLUSIONES

- Las alpacas al pastoreo en praderas naturales contribuyen al banco de metano con un promedio de $17.7 \pm 1.3 \text{ CH}_4 \text{ g/d/alpaca}$. No se encontró diferencia significativa, habiendo similitud en la emisión de metano entre ambos sexos con: machos $18.2 \pm 1.2 \text{ CH}_4 \text{ g/d}$ y en hembras de $16.8 \pm 2.1 \text{ CH}_4 \text{ g/d}$.
- Las especies de pastos naturales más consumidas por las alpacas al pastoreo que contribuyeron a la producción de metano fueron: en machos *Festuca dolichophylla* con un 31% seguido de *Calamagrostis spp* con un 30.3% y en hembras las especies más consumidas fueron *Bromus uniolooides* con un 21.7% seguido de *Festuca dolichophylla* y *Calamagrostis spp* con 19.7% no habiendo diferencia significativa entre ambos sexos.
- El IMS en machos fue de $1320.6 \pm 263.4 \text{ g/d}$ y en hembras con un IMS de $908.5 \pm 160.7 \text{ g/d}$, exstiendo diferencia significativa entre ambos sexos.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar trabajos similares en alpacas por clase: crías, tuis 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 su habitat natural (bofedal) en diferentes épocas del año.
- Se recomienda realizar trabajos en la raza Suri, ya que estos animales consumen mas alimento que la raza Huacaya y obtener la información completa para esta especie que es la alpaca.
- Se recomienda realizar trabajos para la mitigación del gas metano en alpacas ya que el presente trabajo reporta datos base en metano entérico en alpacas al pastoreo en praderas naturales.

VII. REFERENCIAS

- Appeddu, L. A., and 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 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.
- Barriga, D. 2009. "Composición química y hábitos de consumo del alimento al pastoreo en alpacas del CIP La Raya". Tesis, Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Bautista, J. L., 2008. Desarrollo de cánulas en animales fistulados en el sistema digestivo. XIX Congreso nacional en ciencias veterinarias Puno. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional de Altiplano Puno, Perú.
- Bello, A., B. I. Onyeanusi, M. L. Sonfada, J. B. Adeyanju, and M. A. Umaru. 2012. A biometric study of the digestive tract of one-humped camel (*Camelus dromedarius*) fetuses. *Scient. J. Zool.*, 1:11-16.
- Beychok, M. 2005. *Fundamentals of spack gas dispersion*. 4th ed. Milton R. Beychok, California, 609 UEA.
- Bhatta, R., O. Enishi, and M. Kurihara, 2007. Measurement of Methane Production from Ruminants, *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* Vol. 20, No. 8 : 1305 – 1318

- Block, E., L. H. Kitmer, 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-
- 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):151-57.
- Boadi DA, and Wittenberg KM. 2002, Methane production from dairy cattle and beef heifers feed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF6) technique. *Can J Anim Sci*; 82:201-206
- 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 measurement in ruminants. Review. *Slovak J. Anim. Sci.*, 47:51-60.
- Bryant, F.C., and R.D. Farfan. 1984. Dry season forage selection by alpaca (*Lama pacos* L.) in Southern Peru. *J. Range Manage.* 37:330:333.
- Cauna, R. 1999 Composición Botánica y Calidad de la dieta de alpacas (*Lama pacos*) y llama (*Lama glama*) al pastoreo en el Centro Experimental La Raya-Puno. Tesis Ing. Agrónomo, Puno-Perú.
- Chang, R., R. Álvarez, S. Ponce y R. Zugazagoitia. 2012. Química. 7ma edición. McGraw-Hill interamericana editores, S.A. de C.V. México.
- Church, D. y Pond, W. 1977. Bases Cientificas para la nutrición y Alimentacion de los animales Donesticos 1ra Edición, Acribia, Zaragoza.

- Clavo, N y Perez, H, 1985. Consumo y nutrición comparativa entre alpacas y llamas en pasturas mejoradas durante la época seca "Revista de camélidos sudamericanos N°1"
- Cochran, R. C., D. C. Adams, J. D. Wallace, and 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.
- Cowie, M., and H. Watt. 1971. Diffusion of methane and chloromethanes in air. *Canad. J. Chem.*, 49:74-77. 641
- Cumming, J. F., Munnell, J. y A. Vallenas, 1972. The mucigenous glandular mucosa in the complex stomach of two new worl camelids. The llama and guanaco. *J. Marphol* 137:71-110
- Demeyer, D. I., and H. K. Hendrickx. 1967. "Methane production from glucose in vitro by mixed rumen bacteria." *Biochem. J* 105:271-77.
- Diedier, A. 1995. "Valores Nutritivos de Especies".
- Dittmann MT, U. Runge, R.A. Lang, D. Moser, C. Galeffi, et al. 2014. Methane Emission by Camelids.
- Engelhardt, W. y K. Rubsamen, 1979. Digestive physiology of camelids the workshop of camels. Khortoum Sudan p. 307-356.
- Engelhardt, W., Lechner-Doll, M., Heller, R., Schwartz, H.J., Ruagwenda, T., and W., Schuktka, 1986^a. Physiology of fore stomach of camelids with particular reference to adaptation to extreme dietary contions. *Zoologische Beitrage N. F.* 30: 1-15

- Engelhardt, W., Weyreter, H. Heller, R., Lechener-Doll, M., Schwartz, H.J., Rutagwenda, R., and W., Schultka, 1986b. Adaptation of indigenous sheep, goats and camels in harsh grazing conditions. International Atomic Energy Agency: Vienna. Pp. 105-113
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2015. The National Institute of Standards and Technology, atomic Weights.
- Etim, N. A. N., E. E. A. Offiong, and M. E. Williams. 2014. Growth stimulating effects of *Aspilia africana* fed to female pseudo-ruminant herbivores (rabbits) at different physiological states. *Europ. Scient. J.*, 3:1857-7881.
- FAO. 2006. World Agriculture towards 2030/2050. Interim report. Global Perspective Studies Unit. FAO, Rome.
- FAO. 2009. How to 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.
- Florez, A. y E. Malpartida, 1973. Informe de investigación años 1970-1972 Programa de Forrajes. Universidad Agraria La Molina Lima-Perú
- Forster, P., et al. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- GasmetMR, 2012, Gasmet DX-4030 USER MANUALFTIR Gas Analyser On-site Series Instruction and Operating Manual Version E1.18 (5.12.2012)
- Goopy, J. P., R. Woodgate, A. Donaldson, D. L. Robinson, R. S. Hegarty. 2011. Validation of a short-term methane measurement using portable static chambers to estimate daily methane production in sheep. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 166-167:219-226.

- Grainger, C., T. Clarke, S. M. McGinn, M. J. Auldist, K. A. Beauchemin, M. C. Hannah, G. C. Waghorn, H. Clark, and R. J. Eckard. 2007. Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF6) tracer and chamber techniques. *J. Dairy Sci.*, 90:2755-2766.
- 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".
- Hofmann, R. R. 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecolog.*, 78:443-457.
- 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.
- INEI, 2012. 4to Censo Nacional Agropecuario. Perú.
- 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. Disponible En: [Http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/ec422.pdf](http://pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/ec422.pdf).
- Janssen, P.H., and M. Kirs, 2008. Structure of the archaeal community of the rumen. *Applied and environmental microbiology*. 74:3619-3625.
- Jaynes, D. B., and A. S. Rogowski. 1983. Applicability of Ficks Law to gas-diffusion. *Soil Science Society of America Journal*. 47:425-430.
- Jha, A. K., K. Singh, C. Sharma, S. K. Singh, and P. K. Gupta. 2011. Assessment of methane and nitrous oxide emissions from livestock in India. *J. Earth Sci. Climat. Change*. 2:1.

- Johnson, K.A., and D.E. Johnson, 1995. Methane Emissions. *J. Anim. Sci.* 73: 2483-2492.
- Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. and Zimmerman, P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. *Environmental Science and Technology* 28, 359-362.
- 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. Biotechnol.*, 6(24):1-6.
- Kebreab, E., K. Clark, C. Wagner-Riddle, and J. France. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. *Can. J. Anim. Sci.*, 86:135-158.
- 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, and 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, V. J.C., A. J. Ayala B., C. A. Perez A., J. Herrera C., y O. A. O. Castelán 2012. Emisiones de metano por rumiantes, implicaciones para el calentamiento global. Universidad de Yucat

- Langer, P. 1979. Adaptation significance of the fore-stomach of the collared peccary, *Dictoyles tajacu* (L.1758) (Mammalia: Artiodactyle). *Mammalia*, 43: 235-245.
- Liggenstoffer, A. S., N. H. Youssef, M. B. Couger, and M. S. Elshahed. 2010. Phylogenetic diversity and community structure of anaerobic gut fungi (phylum Neocallimastigomycota) in ruminant and non-ruminant herbivores. *Int. Soc. Microb. Ecol. J.*, 4:1225-1235.
- Liu, Q., C. S. Dong, H. Q. Li, W. Z. Yang, J. B. Jiang, W. J. Gao, C. X. Pei, Z. Q. Liang. 2009. Forestomach fermentation characteristics and diet digestibility in alpacas (*Lama pacos*) and sheep (*Ovis aries*) fed two forage diets. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 154:151-159.
- Loaysa, D. 2006. Valor nutritivo de la asociación Trébol Rye grass en alpacas suri y huacaya en estabulación, tesis de Médico Veterinario y Zootecnista, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- López, S., M.D. Carro, J.S. Gonzales, and F.J. Ovejero. 1998. "Comparison of different in vitro and in situ methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen." *Animal Feed Science and Technology* 73:99-113.
- Lawrie, J. 2004. Nutrient requirements of alpacas. Pastures for alpacas in Southern Australia. Bonnie Vale Alpacas.
- Machaca, M. C. Quispe, A. Castro, G. Arroyo, T. Huanca, B. Roque, W. Huanca. 2015. Efecto de Dos Dietas Fibrosas en la Producción de Metano en Alpacas. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú.

- 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.
- Mayta, M. J. C. 2005, Selectividad, consumo y composición química de dieta de alpacas pastoreadas en bofedales de las comunidades de Nuñoa. Tesis, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad nacional del altiplano. Puno-Perú.
- McAllister TA, Okine EK, Mathison GW, Cheng KJ (1996) Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Can J Anim Sci* 76:231–243
- Mc Geough, 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 J. Agric. Food Res.*, 49: 159-164.
- 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.
- Moss, A. R., J. Jouany, and J. Newbold. 2000. "Methane production by ruminants: its contribution to global warming." *Ann. Zootech.* 49(3):231-53.
- Murray, R. M., A. M. Bryant, and R. A. Leng. 1976. Rate of production of methane in the rumen and the large intestine of sheep. *Brit. J. Nut.*, 36:1-14.
- NOAA. 2013. The methane bomb, clathrates, and arctic tundra. *Life in a world at 1830 parts per billion and rising.*
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle.* National academy press. Washington, Dc.

- Ortiz, C.F. 1971. Contribucion al estudio de la saliva parotídea de la alpca pH, Na, K y Ca. Tesis Prog. Acad. Med Vet. UNMSM Lima-Perú
- Owens, F. N. e H. R. Isaacson, 1977. Ruminal microbial yields. Factors influencing synthesis and bypass Fed. Proc 36:198-202.
- 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, M. Dos Santos, O. Primavesi, M. Aparecida, R. Frighetto, S. Gisele de oliveira, and T. T. Berchielli. 2013 "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, C. S., M. J. Ulyatt, G. C. Waghorn, K. R. Lassey, T. N. Barry, C. W. Holmes, and D. E. Johnson. 2003. Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. J. Agric. Sci. 140(2):215- 226.
- 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.
- Raggi, I y Col. 1995: Estudio de la variación estacional del pastizal y de la conducta de pastoreo de alpacas en el altiplano chileno durante las épocas secas y lluviosas "Revista de Medicina Veterinaria Universidad de Chile Vol 17 N! 1 y 2.

- Raggi, L; J Crossley, 1990 "Desarrollo De Un Sistema De Registro Automático Del Tiempo De Pastoreo En Rumiantes, Monografías De Medicina Veterinaria, Vol. 12, N°2, Diciembre 1990".
- 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.
- Ravillet, V., Rosales, A, Clavo, N. y H. Acuña, 1985 "Evaluación nutritiva de pasturas naturales mejoradas con gramíneas y leguminosas V convención internacional sobre camélidos sudamericanos Cusco-Perú.
- Reiner, R. J., and F. C. Bryant. 1986. Botanical composition and nutritional quality of alpaca diets in two Andean rangeland communities. *J. Range Manag.*, 39:424-427.
- Richter, M., L. Křížová, J. Třináctý. 2010. The effect of individuality of animal on diurnal pattern of pH and redox potential in the rumen of dry cows. *Czech J. Anim. Sci.*, 55:401-407.
- Russell, J. B., 1985. Factors influencing competition and composition of the rumen bacterial flora in: *Hervivore nutrition in the subtropic and tropic* (ed) E.M.C. Gillchrist and R.I. Mackie. The science press. 222-243.
- 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 Martín, F., and F.C. Bryant. 1989. Nutrition of domesticated South American llamas and sheep. *Small Ruminant Res.* 2:191-216.
- San Martín, F. 1991. Alimentación y nutrición en avances y perspectivas del conocimiento de los CSA. Edit. Fernández, B. FAO Santiago-Chile.

- Seiler, W. 1974. The cycle of atmospheric CO. *Tellus*, 26:116-135.
- SENAMHI., Servicio Nacional De Meteorología e Hidrología SENAMHI-PUNO, (2009). "Órgano Oficial y Rector del Sistema Hidrometeorológico Nacional al Servicio del Desarrollo Socio económico del País" Puno-Perú.
- SENAMHI., Servicio Nacional De Meteorología e Hidrología SENAMHI-PUNO, (2016). "Órgano Oficial y Rector del Sistema Hidrometeorológico Nacional al Servicio del Desarrollo Socio económico del País" Puno-Perú.
- 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.
- St-Pierre, B., and A. D. G. Wright. 2012. Molecular analysis of methanogenic archaea in the forestomach of the alpaca (*Vicugna pacos*). *BMC Microb.*, 12:1
- Swainson, N. M., I. M. Brookes, S. O. Hoskin, and H. Clark. 2011. Post-experiment correction for release rate in permeation tubes improves the accuracy of the sulphur hexafluoride (SF 6) tracer technique in deer. *Anim. Feed Sci. Tech.* 166-167:192-197 797
- Swainson NM, Hoskin SO, Clark H, Pinares-Patiño CS, Brookes IM. 2007, Comparative methane production and yields from adult cattle, red deer and sheep. GGAAC. New Zeland.:
- Thauer, R.K., A.K. Kaster., H. Seedorf., W. Buckel., and R. Hedderich, R. 2008. Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. *Nature Reviews in Microbiology.* 6: 579-91.

- Thonney, 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.
- 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.
- 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 States Environmental Policy Agency). 1994. International Anthropogenic methane emissions: Estimates for 1990. US EPA 230-R-93-010. Washington, DC, USA.
- Vallenas, A., 1973. Ácidos grasos volátiles y pH en los dos primeros compartimentos del estómago de la alpaca y del ovino. *Rev. Inv. Pec Ivita UNMSM Lim-Perú*.
- Vallenas, A. y Stevens, E., 1971. Motility of the llama and guanaco stomach am *J. Physiol* 220: 275-282

- 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 Dyne, G. M., and H. F. Heady. 1965. Botanical composition of sheep and cattle diets on a mature annual range. *Hilgardia*, 36:465-492.
- 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 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.
- West, J. B. 2004. The physiologic basis of high-altitude diseases. *Ann. Intern. Med.*, 141: 789-800.
- Williams, Y. J., L. Klein, and A. D. G. Wright. 2007. A protocol for the operation of open-circuit chambers for measuring methane output in sheep. In: H. P. S. Makkar and P. E. Vercoe, editors, measuring methane production from ruminants. Springer, Dordrecht, the Netherlands. p. 111–123.
- Yiakoulaki, M. D., and A. S. Nastis. 1998. A modified faecal harness for grazing goats on mediterranean shrublands. *J. Range Manage.* 51:545-546.

ANEXOS

Registro de fotos del experimento

A. Fase de campo



Figura A.1 Medición del largo del cuerpo



Figura A.2 Medición del perímetro torácico



Figura A.3 Registro de peso



Figura A.4. Arnese colocados en alpacas



Figura A.5 Ingresando a la cámara de acumulación de gases por la mañana



Figura A.6 Ingresando a la cámara de acumulación de gases por la noche



Figura A.7 Saliendo de la cámara de acumulación de gases por la mañana



Figura A.8 Saliendo de la cámara de acumulación de gases por la noche

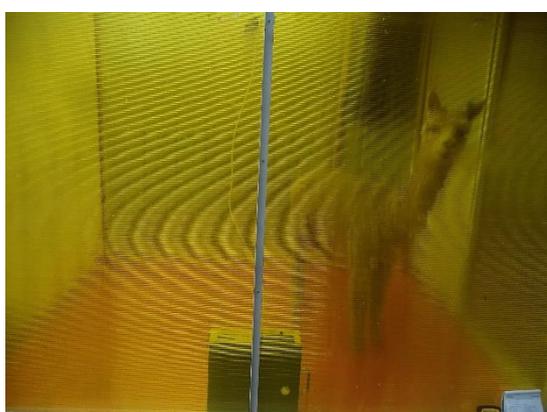


Figura A.9 Medición de metano entérico



Figura A.10 Ventilación mecánica forzada



Figura A.11. Colección de heces en machos



Figura A.12 Colección de heces en hembras



Figura A.13 Macho fistulado consumiendo pastos naturales



Figura A.14 Hembras consumiendo pastos naturales



Figura A.15 Colección de dieta consumida en bolsas de lona



Figura A.16 Secado de dieta consumida



Figura A.17 Pesado de heces frescas



Figura A.18 Muestreo de heces (50g)

B. Fase de laboratorio



Figura B.1 Secado en estufa (60°C)



Figura B.2 Molido de muestra



Figura B.3 Prueba de cuadrante



Figura B.4 Análisis de selectividad



Figura B.5 Comparación en estereoscopio de sillu sillu



Figura B.6 Comparación en estereoscopio de pilly

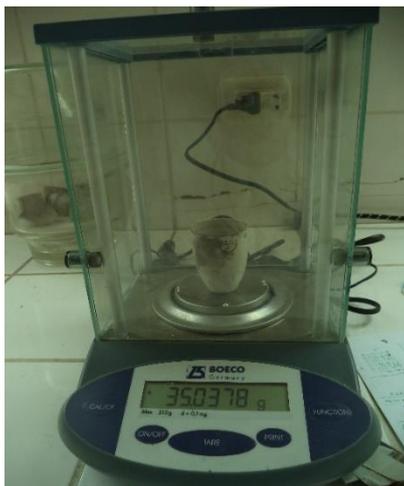


Figura B.7. Pesado de muestras



Figura B.8 Ebullición en HCl 2N



Figura B.9 Filtrado y lavado



Figura B.10 Filtrado secado en estufa (60°C)



Figura B.11 Muestras incineradas



Figura B.12 Ceniza insoluble en ácido

A. Composición química de heces y bolo alimenticio

Tabla A.1 Determinación de materia seca por animal en alpacas machos

Animal	Peso MF (g)	Peso MS (g)	% MS	% H°	Peso heces FRESCAS total	MS total (g)
1	150	46.54	31.03	68.97	3579.10	1110.55
2	150	46.00	30.67	69.33	4557.10	1397.48
3	150	43.61	29.07	70.93	3689.30	1072.61
4	150	42.56	28.37	71.63	5593.80	1587.03
\bar{x}	150.0	44.06	29.37	70.63	4613.40	1352.37
DS	0.00	1.76	1.18	1.18	953.50	260.16
CV,%	0.00	4.00	4.00	1.66	20.67	19.24

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

Animal	Peso MF (g)	Peso MS (g)	% MS	% H°	Peso heces FRESCAS total	MS total (g)
1	150	62.57	41.71	58.29	2100.90	876.30
2	150	53.98	35.99	64.01	2301.00	828.03
3	150	54.67	36.45	63.55	1827.10	665.94
4	150	69.57	46.38	53.62	2194.80	1017.93
\bar{x}	150.0	59.41	39.60	60.40	2107.63	837.30
DS	0.00	8.81	5.87	5.87	248.68	176.18
CV,%	0.00	14.83	14.83	9.72	11.80	21.04

Tabla A.3 Determinación de fibra detergente neutro (FDN) en heces de alpacas machos

Animal	Muestra	Crisol	Crisol+MS 72h estufa	Crisol+ceniza	Fibra perdida	%FDN
1	1.0007	23.15	23.77	23.23	0.54	53.58
2	1.0009	19.67	20.25	19.76	0.49	49.47
3	1.0003	17.42	18.02	17.49	0.53	53.22
4	1.0004	26.54	27.19	26.61	0.58	58.31
\bar{x}	1.00	20.08	20.68	20.16	0.52	52.09
DS	0.00	2.89	2.89	2.89	0.02	2.28
CV,%	0.03	14.39	14.00	14.34	4.37	4.37

Tabla A.4 Determinación de fibra detergente neutro (FDN) en heces de alpacas hembras

Día	Muestra	Crisol	Crisol+MS 72h estufa	Crisol+ceni za	Fibra perdida	%FDN
1	1.0002	39.00	39.58	39.09	0.49	48.75
2	1.0009	34.61	35.13	34.69	0.44	44.28
3	1.0007	37.39	37.95	37.49	0.46	46.37
4	1.0003	31.81	32.35	31.90	0.45	45.13
\bar{x}	1.00	37.00	37.55	37.09	0.46	46.47
DS	0.00	2.22	2.25	2.23	0.02	2.24
CV,%	0.04	6.01	6.00	6.01	4.81	4.81

Tabla A.5 Determinación de fibra detergente neutro (FDN) en dieta consumida en alpacas machos

Día	Muestra	P. Crisol	Crisol+MS 72h estufa	Crisol+ceni za	Fibra perdida	%FDN
1	1	24.00	24.74	24.04	0.70	70.45
2	1.0007	19.61	20.32	19.72	0.60	60.3
3	1.0006	23.16	23.89	23.19	0.71	70.54
\bar{x}	1.00	22.25	22.98	22.31	0.67	67.10
DS	0.00	2.33	2.35	2.29	0.06	5.89
CV,%	0.04	10.47	10.21	10.26	8.77	8.77

Tabla A.6 Determinación de fibra detergente neutro (FDN) en dieta consumida en alpacas hembras

Día	Muestra	Crisol	Crisol+MS 72h estufa	Crisol+ceni za	Fibra perdida	%FDN
1	1	19.92	20.62	19.95	0.67	66.9
2	1.0007	21.46	22.13	21.49	0.64	64.11
3	1.0007	21.36	22.08	21.39	0.69	69.09
\bar{x}	1.00	20.92	21.61	20.94	0.67	66.70
DS	0.00	0.86	0.86	0.86	0.02	2.50
CV,%	0.04	4.12	3.99	4.13	3.74	3.74

Tabla A.7 Peso de heces totales de 3 días en alpacas machos

Animal	1			2			3			4		
	MAÑANA	TARDE	TOTAL									
1	647.2	660.2	1307.4	889.7	699.0	1588.7	585.4	540.4	1125.8	857.6	972.9	1830.5
2	578.5	586.6	1165.1	444.3	962.5	1406.8	721.6	606.2	1327.8	964.7	1072.9	2037.6
3	428.0	678.6	1106.6	543.7	1017.9	1561.6	653.4	582.3	1235.7	816.4	909.3	1725.7
\bar{x}	551.23	641.80	1193.03	625.90	893.13	1519.03	653.47	576.30	1229.77	879.57	985.03	1864.60
DS	112.11	48.68	103.27	233.80	170.39	98.14	68.10	33.31	101.13	76.55	82.47	158.72
CV,%	20.34	7.59	8.66	37.35	19.08	6.46	10.42	5.78	8.22	8.70	8.37	8.51

Tabla A.8 Peso de heces totales de 3 días en alpacas hembras

Animal	1			2			3			4		
	MAÑANA	TARDE	TOTAL									
1	264.7	455.3	720.0	296.4	546.0	842.4	245.6	295.9	541.5	289.4	449.0	738.4
2	267.1	477.7	744.8	280.3	434.4	714.7	255.7	411.1	666.8	279.0	459.9	738.9
3	214.0	464.1	678.1	287.3	456.6	743.9	232.5	386.3	618.8	246.5	471.0	717.5
\bar{x}	248.60	465.70	714.30	288.00	479.00	767.00	244.60	364.43	609.03	271.63	459.97	731.60
DS	29.99	11.29	33.71	8.07	59.08	66.91	11.63	60.63	63.22	22.38	11.00	12.21
CV,%	12.06	2.42	4.72	2.80	12.33	8.72	4.76	16.64	10.38	8.24	2.39	1.67

Tabla A.9 Determinación de ceniza insoluble en dieta consumida en alpaca macho

Día	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar		MS - ceniza	Peso 2da incineración	Peso ceniza final	promedio	CIA%	promedio
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra	crisol + muestra						
1	19.203	5.0001	24.2031	19.7001	4.503	19.34	0.14	2.72	0.16	3.15	
2	30.0539	5.0009	35.0548	30.6199	4.4349	30.23	0.18	3.54			
3	30.5417	5.0003	35.542	31.001	4.541	30.70	0.16	3.21			
Promedio	26.6	5.0	31.6	27.1	4.5	26.8	0.2	3.2			3.2
Desv.Est.	6.4	0.0	6.4	6.4	0.1	6.4	0.0	0.4			
CV, %	24.1	0.0	20.3	23.7	1.2	24.0	13.1	13.1			

Tabla A.10 Determinación de ceniza insoluble en dieta consumida en alpaca hembra

Día	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar		MS - ceniza	Peso 2da incineración	Peso ceniza final	promedio	CIA%	promedio
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra	crisol + muestra						
1	37.8033	5.0002	42.8035	38.281	4.5225	38.03	0.23	4.54	0.17	3.39	
2	37.2878	5.0004	42.2882	37.7591	4.5291	37.39	0.11	2.13			
3	28.7631	5.0006	33.7637	29.206	4.5577	28.94	0.18	3.51			
Promedio	34.6	5.0	39.6	35.1	4.5	34.8	0.2	3.4			3.4
Desv.Est.	5.1	0.0	5.1	5.1	0.0	5.1	0.1	1.2			
CV, %	14.7	0.0	12.8	14.5	0.4	14.6	35.5	35.5			

Tabla A.11 Determinación de ceniza insoluble en heces en alpacas machos

Animal	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar		MS - ceniza	Peso papel filtro	peso papel + ceniza insoluble	Peso ceniza final	CIA%	I. dieta/l.heces	DMS		MS heces		IMS	
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra	crisol + muestra							%	g/d	g/d	g/d	g/d	
♂ 1	34.602	5.0008	39.6028	35.37	4.23	0.77	1.23	0.46	9.26	0.34	65.96	370.18	1087.47				
♂ 2	30.0505	5.0007	35.0512	30.89	4.16	0.77	1.29	0.52	10.36	0.30	69.57	465.83	1530.92				
♂ 3	38.985	5.0004	43.9854	39.80	4.18	0.80	1.28	0.48	9.69	0.33	67.44	357.54	1098.25				
♂ 4	28.7619	5.0012	33.7631	29.45	4.31	0.78	1.25	0.47	9.33	0.34	66.21	529.01	1565.67				
Promedio	33.1	5.0	38.1	33.9	4.2	0.8	1.3	0.5	9.7	0.3	67.3	430.6	1320.6				
Desv.Est.	4.7	0.0	4.7	4.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.6	81.5	263.4				
CV, %	14.1	0.0	12.2	13.8	1.6	1.8	2.2	5.2	5.2	5.0	2.5	18.9	19.9				

Tabla A.12 Determinación de ceniza insoluble en heces en alpacas hembras

Animal	Peso antes de incinerar		crisol + muestra	Peso después de incinerar		MS - ceniza	Peso papel filtro	peso papel + ceniza insoluble	Peso ceniza final	CIA%	I. dieta/l.heces	DMS		MS heces		IMS	
	P. crisol	P. muestra		crisol + muestra	crisol + muestra							%	g/d	g/d	g/d	g/d	
♀ 1	30.5453	5.0007	35.546	31.49	4.06	0.78	1.34	0.56	11.178	0.30	69.65	297.94	981.75				
♀ 2	37.3945	5.0012	42.3957	38.32	4.08	0.77	1.27	0.51	10.12	0.34	66.46	276.01	823.01				
♀ 3	31.8112	5.0004	36.8116	32.80	4.02	0.79	1.35	0.56	11.23	0.30	69.78	221.98	734.64				
♀ 4	37.8031	5.0015	42.8046	38.48	4.32	0.77	1.32	0.55	10.94	0.31	69.00	339.31	1094.49				
Promedio	34.4	5.0	39.4	35.3	4.1	0.8	1.3	0.5	10.9	0.3	68.7	283.8	908.5				
Desv.Est.	3.7	0.0	3.7	3.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.5	48.9	160.7				
CV, %	10.9	0.0	9.5	10.4	3.4	1.4	2.6	4.7	4.7	4.9	2.2	17.2	17.7				

B. Emisión de metano entérico (CH₄).

Tabla B.1: Emisión de metano entérico en alpacas Huacaya machos.

Alpaca	Arete	Peso	IMS	FDN bolo	CIA bolo	EMF	H°	EMS	FDN heces	CIA heces	DMS	Emisiones de CH ₄					
												g/d	%	g/d	%	g/d	ppm
1	14H093 E	55.8	1087.5	67.1	3.1	1193.0	69.0	370.2	53.6	9.3	66.0	27.9	17120.1	17.1	1.1	41.8	38.4
2	13H213 F	58.6	1530.9	67.1	3.1	1519.0	69.3	465.8	49.5	10.4	69.6	32.2	18181.2	19.8	1.2	48.4	31.6
3	Sin Arete	62.2	1098.2	67.1	3.1	1229.8	70.9	357.5	53.2	9.7	67.5	31.5	19368.4	19.4	1.2	47.3	43.1
4	14H117 E	64.6	1565.7	67.1	3.1	1864.6	71.6	529.0	58.3	9.3	66.3	29.6	19814.7	18.2	1.1	44.4	26.1
Promedio		60.3	1320.6	67.1	3.2	1451.6	70.2	430.6	52.1	9.7	67.3	30.3	18.6	18.6	1.2	45.5	34.8
Desv.Est.		3.9	263.4	0.0	0.0	311.5	1.3	81.5	2.3	0.5	1.6	2.0	1.2	1.2	0.1	3.0	7.5
CV, %		6.4	19.9	0.0	0.0	21.5	1.8	18.9	4.4	5.2	2.4	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	21.5

Tabla B.2: Emisión de metano entérico en alpacas Huacaya hembras.

Alpaca	Arete	Peso	IMS	FDN bolo	CIA bolo	EMF	H°	EMS	FDN heces	CIA heces	DMS	Emisiones de CH ₄					
												g/d	%	g/d	%	g/d	ppm
1	14H056E	42.4	981.7	66.70	3.39	714.3	58.3	297.9	48.75	11.2	69.7	27.6	17120.47	17.1	1.07	41.8	40.6
2	Sin Arete	50.6	823.0	66.70	3.39	767.0	64.0	276.0	44.28	10.1	66.5	25.4	15808.98	15.8	0.99	38.6	47.5
3	Sin Arete	51.4	734.6	66.70	3.39	609.0	63.6	222.0	46.37	11.2	69.8	23.6	14609.92	14.6	0.91	35.7	50.0
4	13H196F	53.0	1094.5	66.70	3.39	731.6	53.6	339.3	45.13	10.9	69.0	31.4	19540.32	19.5	1.22	47.7	49.5
Promedio		49.4	880.1	66.70	3.4	705.5	59.9	283.8	46.47	10.9	68.7	27.0	16769.92	16.8	1.05	41.0	46.9
Desv.Est.		4.7	143.4	0.0	0.0	67.9	4.9	48.9	2.24	0.5	1.5	3.4	2112.43	2.1	0.13	5.2	4.3
CV, %		9.6	16.3	0.0	0.0	9.6	8.2	17.2	4.81	4.7	2.2	12.5	12.60	12.6	12.60	12.6	9.2

Tabla B.3: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca macho 1.

Día	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	14.80	38.20	26.50	450.29	9.50	54.00	10.85	23.59	9.78	0.07	9.72	229.26	16506.91	16.51	1.03	40.30	15256.785
2	11.10	45.60	28.35	450.29	8.50	51.00	11.65	23.78	9.78	0.07	9.72	231.07	16636.96	16.64	1.04	40.48	
3	18.70	38.70	28.70	450.29	10.40	55.00	11.72	26.04	9.78	0.07	9.72	253.01	18216.56	18.22	1.14	44.62	
\bar{x}	14.87	40.83	27.85	450.29	9.47	53.33	11.41	24.47	9.78	0.07	9.72	237.78	17120.14	17.12	1.07	41.80	
DS	3.80	4.14	1.18	0.00	0.95	2.08	0.48	1.36	0.00	0.00	0.00	13.22	951.75	0.95	0.06	2.44	
CV %	25.56	10.13	4.24	0.00	10.04	3.90	4.22	5.56	0.00	0.00	0.00	5.56	5.56	5.56	5.56	5.84	

Tabla B.4: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca macho 2.

Día	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	15.01	52.20	33.61	450.29	9.50	54.00	13.76	29.92	9.78	0.07	9.71	290.64	20925.99	20.93	1.30	51.09	17658.32
2	14.70	47.50	31.10	450.29	8.50	51.00	12.78	26.09	9.78	0.07	9.71	253.40	18244.99	18.24	1.14	44.39	
3	25.60	38.30	31.95	450.29	10.40	55.00	13.04	28.99	9.78	0.07	9.71	281.57	20272.98	20.27	1.26	49.66	
\bar{x}	18.44	46.00	32.22	450.29	9.47	53.33	13.20	28.33	9.78	0.07	9.71	275.20	19814.65	19.81	1.24	48.38	
DS	6.21	7.07	1.27	0.00	0.95	2.08	0.51	2.00	0.00	0.00	0.00	19.42	1398.03	1.40	0.09	3.53	
CV %	33.66	15.37	3.95	0.00	10.04	3.90	3.85	7.06	0.00	0.00	0.00	7.06	7.06	7.06	7.06	7.30	

Tabla B.5: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca macho 3.

Día	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	CH ₄ ppm T	Ph, mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ ,mg/m ³ Base seca	vol. cámara 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	14.70	40.60	27.65	450.29	9.50	54.00	11.32	24.62	9.78	9.71	239.04	17210.77	17.21	1.07	42.02	
2	17.10	43.20	30.15	450.29	8.50	51.00	12.39	25.29	9.78	9.71	245.56	17680.45	17.68	1.10	43.02	17264.02
3	32.20	41.00	36.60	450.29	10.40	55.00	14.94	33.21	9.78	9.71	322.42	23214.05	23.21	1.45	56.86	
̄	21.33	41.60	31.47	450.29	9.47	53.33	12.89	27.71	9.78	9.71	269.01	19368.42	19.37	1.21	47.30	
DS	9.49	1.40	4.62	0.00	0.95	2.08	1.86	4.78	0.00	0.00	46.37	3338.68	3.34	0.21	8.29	
CV %	44.47	3.37	14.68	0.00	10.04	3.90	14.43	17.24	0.00	0.00	17.24	17.24	17.24	17.24	17.54	

Tabla B.6: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca macho 4.

Día	CH ₄ ppm M	CH ₄ ppm T	CH ₄ ppm T	Ph, mmHg	T°	H°	CH ₄ mg/m ³	CH ₄ ,mg/m ³ Base seca	vol. cámara 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	14.89	37.60	26.25	450.29	9.50	54.00	10.75	23.37	9.78	9.71	226.83	16331.78	16.33	1.02	39.88	
2	15.50	47.80	31.65	450.29	8.50	51.00	13.01	26.55	9.78	9.71	257.71	18555.03	18.56	1.16	45.14	16201.73
3	20.10	41.90	31.00	450.29	10.40	55.00	12.66	28.13	9.78	9.71	273.01	19656.82	19.66	1.23	48.15	
̄	16.83	42.43	29.63	450.29	9.47	53.33	12.14	26.01	9.78	9.71	252.52	18181.21	18.18	1.13	44.39	
DS	2.85	5.12	2.95	0.00	0.95	2.08	1.22	2.42	0.00	0.00	23.52	1693.75	1.69	0.11	4.19	
CV %	16.92	12.07	9.96	0.00	10.04	3.90	10.02	9.32	0.00	0.00	9.32	9.32	9.32	9.32	9.43	

Tabla B.7: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca hembra 1.

Día	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	18.90	34.00	26.45	450.29	10.00	53.00	10.81	23.01	9.78	0.05	9.73	223.94	16123.64	16.12	1.01	39.44	15260.23
2	21.80	37.20	29.50	450.29	9.10	52.00	12.10	25.21	9.78	0.05	9.73	245.34	17664.39	17.66	1.10	43.07	
3	14.50	39.40	26.95	450.29	9.60	56.00	11.03	25.08	9.78	0.05	9.73	244.07	17573.38	17.57	1.10	42.92	
\bar{x}	18.40	36.87	27.63	450.29	9.57	53.67	11.32	24.43	9.78	0.05	9.73	237.78	17120.47	17.12	1.07	41.81	
DS	3.68	2.72	1.64	0.00	0.45	2.08	0.69	1.23	0.00	0.00	0.00	12.01	864.48	0.86	0.05	2.06	
CV %	19.98	7.37	5.92	0.00	4.71	3.88	6.08	5.05	0.00	0.00	0.00	5.05	5.05	5.05	5.05	4.92	

Tabla B.8: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca hembra 2.

Día	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	16.10	25.50	20.80	450.29	10.00	53.00	8.50	18.09	9.78	0.06	9.72	175.94	12667.71	12.67	0.79	30.98	14090.62
2	17.20	35.30	26.25	450.29	9.10	52.00	10.77	22.43	9.78	0.06	9.72	218.11	15703.75	15.70	0.98	38.29	
3	16.30	42.20	29.25	450.29	9.60	56.00	11.98	27.22	9.78	0.06	9.72	264.66	19055.48	19.06	1.19	46.54	
\bar{x}	16.53	34.33	25.43	450.29	9.57	53.67	10.42	22.58	9.78	0.06	9.72	219.57	15808.98	15.81	0.99	38.60	
DS	0.59	8.39	4.28	0.00	0.45	2.08	1.76	4.56	0.00	0.00	0.00	44.38	3195.18	3.20	0.20	7.78	
CV %	3.54	24.44	16.84	0.00	4.71	3.88	16.92	20.21	0.00	0.00	0.00	20.21	20.21	20.21	20.21	20.16	

Tabla B.9: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca hembra 3.

Día	CH4 ppm M	CH4 ppm T	\bar{x} CH4 ppm	Ph, mmHg	T°	H°	CH4 mg/m3	CH4,mg/m3 Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol. real m3	mg/20 min	CH4 mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH4,litros/d	L/AÑO
1	9.30	28.80	19.05	450.29	10.00	53.00	7.79	16.57	9.78	0.06	9.72	161.12	11600.87	11.60	0.72	28.37	13021.30
2	14.90	37.10	26.00	450.29	9.10	52.00	10.66	22.22	9.78	0.06	9.72	216.01	15552.78	15.55	0.97	37.92	
3	15.50	35.70	25.60	450.29	9.60	56.00	10.48	23.82	9.78	0.06	9.72	231.61	16676.11	16.68	1.04	40.73	
\bar{x}	13.23	33.87	23.55	450.29	9.57	53.67	9.64	20.87	9.78	0.06	9.72	202.92	14609.92	14.61	0.91	35.67	
DS	3.42	4.44	3.90	0.00	0.45	2.08	1.61	3.81	0.00	0.00	0.00	37.02	2665.76	2.67	0.17	6.48	
CV %	25.84	13.12	16.57	0.00	4.71	3.88	16.69	18.25	0.00	0.00	0.00	18.25	18.25	18.25	18.25	18.15	

Tabla B.10: Promedio de emisión de metano entérico al minuto 20 en alpaca hembra 4.

Día	CH4 ppm M	CH4 ppm T	\bar{x} CH4 ppm	Ph, mmHg	T°	H°	CH4 mg/m3	CH4,mg/m3 Base seca	vol. cámara	vol. animal	vol. real m3	mg/20 min	CH4 mg/d	g/d	moles/d	Vol. de CH4,litros/d	L/AÑO
1	12.00	35.00	23.50	450.29	10.00	53.00	9.61	20.44	9.78	0.06	9.72	198.72	14308.19	14.31	0.89	35.00	17415.40
2	28.60	39.00	33.80	450.29	9.10	52.00	13.86	28.88	9.78	0.06	9.72	280.76	20214.96	20.21	1.26	49.29	
3	20.70	53.30	37.00	450.29	9.60	56.00	15.15	34.43	9.78	0.06	9.72	334.69	24097.82	24.10	1.50	58.86	
\bar{x}	20.43	42.43	31.43	450.29	9.57	53.67	12.87	27.92	9.78	0.06	9.72	271.39	19540.32	19.54	1.22	47.71	
DS	8.30	9.62	7.05	0.00	0.45	2.08	2.90	7.04	0.00	0.00	0.00	68.47	4929.56	4.93	0.31	12.01	
CV %	40.64	22.67	22.44	0.00	4.71	3.88	22.53	25.23	0.00	0.00	0.00	25.23	25.23	25.23	25.23	25.17	

Tabla B.11: Promedio de producción de metano entérico en alpacas 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	Vol. CH ₄ ,litros/d	L/AÑO
1	55.8	27.85	11.41	24.47	237.78	17120.14	17.12	1.07	41.80	15256.79
2	58.6	32.22	13.20	28.33	275.20	19814.65	19.81	1.24	48.38	17658.32
3	62.2	31.47	12.89	27.71	269.01	19368.42	19.37	1.21	47.30	17264.03
4	64.6	29.63	12.14	26.01	252.52	18181.21	18.18	1.13	44.39	16201.73
promedio	60.300	30.29	12.41	26.63	258.63	18621.11	18.62	1.16	45.47	16595.22
DS	3.883	1.96	0.80	1.74	16.88	1215.10	1.22	0.08	2.97	1083.78
CV	6.440	6.46	6.46	6.54	6.53	6.53	6.53	6.53	6.53	6.53

Tabla B.12: Producción de metano entérico en alpacas hembra

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	42.4	27.63	11.32	24.43	237.78	17120.47	17.12	1.07	41.81	15260.23
2	50.6	25.43	10.42	22.58	219.57	15808.98	15.81	0.99	38.60	14090.62
3	51.4	23.55	9.64	20.87	202.92	14609.92	14.61	0.91	35.68	13021.30
4	53	31.43	12.87	27.92	271.39	19540.32	19.54	1.22	47.71	17415.40
promedio	49.350	27.01	11.06	23.95	232.92	16769.92	16.77	1.05	40.95	14946.89
DS	4.740	3.39	1.39	3.02	29.34	2112.43	2.11	0.13	5.16	1882.62
CV	9.604	12.54	12.54	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60

Tabla B.13: Selectividad de especies vegetales (%) por alpaca macho al pastoreo en praderas andinas

Especie	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Calamagrostis spp</i>	<i>Bromus unioloides</i>	<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Alchemilla pinnata</i>	Otros
Día 1	34	11	17	28	4	4	2
Día 2	28	45	12	9	5	0	1
Día 3	31	35	20	4	9	0	1
Promedio	31.0	30.3	16.3	13.7	6.0	1.3	1.3
Desv.Est.	3.0	17.5	4.0	12.7	2.6	2.3	0.6
CV, %	9.7	57.6	24.7	92.7	44.1	173.2	43.3

Tabla B.14: Selectividad de especies vegetales (%) por alpaca hembra al pastoreo en praderas andinas.

Especie	<i>bromus unioloides</i>	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Calamagrostis spp</i>	<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	<i>Eleocharis albibracteata</i>	<i>Alchemilla pinnata</i>	otros
Día 1	9	21	23	37	6	3	1
Día 2	16	26	23	6	22	5	2
Día 3	40	12	13	11	16	3	5
Promedio	21.7	19.7	19.7	18.0	14.7	3.7	2.7
Desv.Est.	16.3	7.1	5.8	16.6	8.1	1.2	2.1
CV, %	75.0	36.1	29.4	92.5	55.1	31.5	78.1